

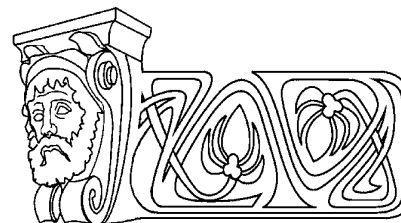


УДК 543:547

ТЕСТ-МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ТОКСИКАНТОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ (обзор)

Р.К. Чернова, Л.М. Козлова, Н.Б. Шестопалова, Ю.О. Рьянова

Саратовский государственный университет,
кафедра аналитической химии и химической экологии
E-mail: ChernovaRK@info.sgu.ru



Обобщены сведения о тест-методах обнаружения и количественного определения пестицидов, полициклических ароматических углеводородов, углеводородов нефти, фенола и его производных, галоген- и азотсодержащих органических соединений, поверхностно-активных веществ в водных средах. Для оценки содержания анализируемых компонентов приведены различные методы индикации аналитического сигнала, а также диапазоны и нижние границы определяемых содержаний. Представлены различные тест-средства, применяемые для экспресс-контроля указанных органических соединений в различных объектах.

Ключевые слова: тест-методы, органические токсиканты, водная среда.

Test-methods Determination Organic Substances in Water Environment (Review)

R.K. Chernova, L.M. Kozlova, N.B. Shestopalova, Yu.O. Ryanova

Information about test-methods discovering and quality determination pesticides, polycyclic aromatic hydrocarbons, hydrocarbons of oil, phenol and it's derivative, halogen- and nitrogen-containing organic substances, surfactants in water environment. There are different methods indication analytical signal for appreciation of containing analyzing components and ranges and low levels determining containing. Different test ways are presented used for express test indicated mentioned organic substances in some object.

Key words: test-methods, toxic organic substances, water environment.

В настоящее время в объектах окружающей среды находится большое количество органических соединений как антропогенного, так и природного происхождения, многие из которых имеют высокую канцерогенность и мутагенность, устойчивы к химическому и биологическому разложению и способны накапливаться в живых организмах [1]. Более 5000 химических соединений нормируется.

Среди загрязняющих веществ можно выделить наиболее опасные, к которым относятся пестициды, полихлорированные бифенилы (ПХБ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), фенол и его производные, ароматические amino- и хлорсодержащие соединения [1].

Для осуществления постоянного аналитического контроля за их содержанием в воде, воздухе и почвах наряду с высокоточ-

вительными современными физическими и физико-химическими методами (спектроскопией, хроматографией, масс-спектрометрией и др.) все шире применяют тест-методы анализа. Последние позволяют быстро и надежно оценить содержание компонентов на месте отбора проб без длительной пробоподготовки с целью оперативного принятия решения [2–5].

В качестве тест-средств используют индикаторные бумаги и полоски, индикаторные трубки, таблетки и порошки, аэрозольные упаковки, растворы в ампулах и капельницах, которые содержат специально подобранные реагенты. По интенсивности или тону окраски, по длине окрашенной зоны в трубке можно количественно определить содержание нужного компонента. Метод индикации аналитического сигнала может быть как визуальным, так и инструментальным [4, 5].

По принципам действия тест-системы можно разделить на химические, биохимические и биологические. Химические используют различные типы реакций (комплексобразования, окисления-восстановления, осаждения и др.). Биохимические включают ферментные и иммунологические, биологические основаны на использовании микроорганизмов, насекомых [5, 6].

Цель настоящей работы заключалась в обобщении и анализе имеющихся данных по тест-методам определения некоторых органических соединений.

ПЕСТИЦИДЫ. В табл.1 представлен обзор известных тест-методов [5, 7–11] определения пестицидов в воде и вытяжках из почв. Тест-системы разработаны для различных соединений как по химическому составу (фосфорорганические, хлорорганические, производные карбаминовой кислоты и др.), так и по объектам применения (гербициды, инсектициды, фунгициды и др.).



Таблица 1

Тест-методы определения пестицидов

№ п/п	Определяемый компонент	Реагент или тип реакции	Тест-средство/метод индикации	ДОС/НГОС/ПрО	Объект	Фирма-производитель	Источник
1	ФОП, ХОП, триазины	ИФА	ИП/колориметрический	ПрО: 0,01–1,4 млрд ⁻¹	Вода	Ohmicron (США)	[5]
2	ФОП, карбаматы, эфиры фосфорорганических кислот	ИФА	ИП/колориметрический	0,5–35 мкг/л РОЕ	Вода	Macherey-Nagel (США)	[8]
3	ФОП, ХОП, карбаматы, триазины	ИФА	Намагнитенные частицы/СФ	ПрО: 0,01–0,3 млрд ⁻¹	Вода	Millipore (США)	[5, 9]
4	Триазины	ИФА	ИП/колориметрический	ПрО: 0,01–0,3 млрд ⁻¹	Вода, почва	Supelco, Inc. (США)	[5, 9]
5	ФОП	ИФА	ИБ/визуальный		Вода		[10]
6	ФОП	Диметиламинобензальдегид и трихлоруксусная кислота	Капиллярный/визуальный		Вода, почва		[5]
7	Малатион	Спиртовой раствор КОН	Капельный тест	1 мг/л	Вода		[5]
8	Карбарил	2,6-дихлорхинолин-4-хлорамин	ИБ/визуальный	1 млн ⁻¹	Вода		[5]
9	Атразин, симазин, цианазин	Ингибирование фотосинтеза активности thylakoid мембран	Пластины	$1 \cdot 10^{-10}$ – $2 \cdot 10^{-5}$ М	Вода		[5]
10	Карбарил, манкоцеб	8-гидроксихинолин, гексацианоферрат, нитрит натрия и сульфаниловая кислота	Визуальный		Вода, почва		[11]
11	2,4-Д, симазин, атразин	ИФА	СФ	0,1–0,2 нг/мл	Вода		[7]

Примечание. ФОП – фосфорорганические пестициды; ХОП – хлорорганические пестициды; ИП – индикаторная полоса; ИБ – индикаторная бумага; СФ – спектрофотометрия.

Принцип действия большинства из описанных тест-систем основан на иммуноферментном анализе (ИФА). Индикацию и количественное определение анализируемых веществ проводят путем регистрации интенсивности реакции антиген-антитело с использованием связанных с антителами меток-ферментов, а также флуоресцентных и люминесцентных реагентов [7].

Для определения фосфорорганических пестицидов используют индикаторные полоски с иммобилизованными на них ферментом холинэстеразой, субстратом ацетилхолина и кислотно-основным индикатором [5].

В качестве тест-средств применяют индикаторные полоски [5, 8], пластинки [5], намагнитенные частицы [5, 9, 10] и др. с визуальным и инструментальным способом индикации сигнала. Нижние границы опреде-

ляемых содержаний изменяются в зависимости от анализируемого компонента (табл. 1). Из данных табл. 1 следует, что наиболее чувствительными являются тест-методы, основанные на иммуноферментных реакциях.

Ряд зарубежных производителей разработали и выпускают разнообразные тест-наборы для определения пестицидов: Ohmicron (США), Millipore (США), EnSys Environment Products Inc. (США), Strategic Diagnostics Inc. (США), Supelco Inc. (США) [5].

ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ (ПАУ). Экспресс-контроль за их содержанием простыми, высокочувствительными, недорогими методами осуществляют с помощью тест-систем, основанных на принципах иммуноферментного анализа (табл. 2) [5, 12–15].



Таблица 2

Тест-методы определения ПАУ и углеводородов нефти

№ п/п	Определяемый компонент	Реагент или тип реакции	Тест-средство/метод индикации	ДОС/НГОС/ПрО	Объект	Фирма-производитель	Источник
1	ПАУ	ИФА	Тест-набор/мини-СФ	8–250 мкг/л 0,6–25 мг/л	Вода, почва	Е. Merck, Supelco (США)	[5]
2	ПАУ	ИФА	Визуальный	5–500 нг/мл	Вода		[12]
3	Общее содержание нефтепродуктов	Алкилирование по Фриделю–Крафтсу	Тест-набор/колориметрия		Почва	AZUR Environmental, Ltd (США).	[13]
4	Бензол и его производные, бензин, дизельное топливо	Алкилирование по Фриделю–Крафтсу	Тест-набор/визуальный	1–1000 мг/кг 0,1–100 мг/л	Почва, вода	HNU Systems Inc., (США)	[5, 14]
5	Углеводороды нефти	ИФА	Тест-набор/мини-СФ	3–100 мг/кг	Почва	DEXSIL Co.(США)	[15]
6	Углеводороды нефти	ИФА	Тест-набор/мини-СФ	10–100 мг/кг	Почва	Millipore (США)	[5]
7	Нефтепродукты	ИФА	ИТ/визуальный	0,05–50 мг/л	Вода	КБ машиностроения (Москва, РФ)	[5]
8	Бензол и его производные	ИФА	Тест-набор/визуальный	2,5–35 мг/кг 0,6–10 мг/л	Почва, вода	Е. Merck, Supelco (США)	[5]

Примечание. ИТ – индикаторные трубки; мини-СФ – миниспектрофотометр.

Зарубежными фирмами-производителями (Е. Merck, Supelco) предложены тест-системы для полуколичественного определения 16 приоритетных ПАУ, в присутствии бензола, этилбензола, толуола, ксилола, пентахлорфенола, смеси полихлорированных дифенилов. Диапазон определяемых содержаний ПАУ 8–250 мкг/л для воды и 0,6–25 мг/л для почвы. Нижняя граница определяемых содержаний (НГОС) для бенз(а)пирена составляет 10 мкг/л [5].

Для тест-определения некоторых представителей ПАУ разработана методика поляризационного флуоресцентного иммуноанализа, которая позволяет определять бенз(а)пирен, хризен, бенз(а)антрацен, пирен и индено[1,2,3-сд]пирен в присутствии высоких концентраций флуорена, нафталина и антрацена. Диапазон определяемых содержаний ПАУ 5–500 нг/мл в воде [12].

Методом твердофазного иммуноферментного анализа возможно определение до 1 нг/мл бенз(а)пирена в воде [7].

УГЛЕВОДОРОДЫ НЕФТИ. Для определения содержания углеводородов сырой нефти, горючего топлива, отработанного масла и других нефтепродуктов в водах и почве описаны тест-наборы, основные характеристики которых представлены в табл. 2. Принцип действия рассматриваемых тест-средств ос-

нован на реакции алкилирования по Фриделю–Крафтсу ароматических углеводородов или на иммуоферментных реакциях.

Тест-определение по реакции алкилирования возможно в интервале концентраций 0,1–100 мг/л, с помощью иммуометодов диапазон определяемых концентраций шире и НГОС меньше: от 0,05 мг/л до 50 мг/л [5]. Описанные тест-системы позволяют определять как суммарное содержание нефтепродуктов в воде, так и содержание отдельных компонентов.

Способ индикации аналитического сигнала может быть как визуальный, так инструментальный.

Тест-наборы для количественного определения нефтепродуктов производятся не только за рубежом, но и российскими производителями (табл. 2) [5].

ФЕНОЛ И ЕГО ПРОИЗВОДНЫЕ. В табл. 3 представлен обзор тест-систем для экспресс-определения фенола и его производных в водных средах [4, 6, 13, 16–18].

В основе представленных тест-методов преимущественно применяется реакция образования азокрасителей в щелочной среде (рН 8–11) [8, 16]. Определению не мешают замещенные фенола, 1- и 2-нафтолов и 50-кратные количества анилина.



Таблица 3

Тест-методы определения фенола и его производных

№ п/п	Определяемый компонент	Реагент или тип реакции	Тест-средство/метод индикации	ДОС/НГОС/ПрО	Объект	Фирма-производитель	Источник
1	Фенол	Комплексная соль тетрафторбората 4-фенилдиазония	ИБ/визуальный	0,05–5 мг/л	Вода		[16]
2	Фенол	4-Нитроанилин	Тест-наборы	0,01–7,0 мг/л	Вода	Macherey-Nagel (США)	[8]
3	Фенол	4-Аминоантипирин в присутствии гексацианоферрата (III)	ИТ	0,01–0,1 мг/л	Вода		[4]
4	Фенол	4-Аминоантипирин в присутствии гексацианоферрата (III)	Тест-наборы	0,1–5,0 мг/л	Вода	Macherey-Nagel, Hach Co., CHEMetrics (США)	[8, 13, 17]
5	Фенол	4-Диазобензол-(1-азо-1')-бензол-(4'-азо-1'')-бензол-(4''-азо-2''')-феноксиглюкоза, тетраборат натрия	ИП/визуальный	0,1–2,0 мг/л	Вода	–	[6]
6	Фенол	Тетрафторборат	ППУ	0,01–0,8 мг/л	Вода	–	[4]
7	Нитрофенилазопроизводные фенола	Катион цетилтриметиламмония	Таблетка ППУ	0,1–0,8 мг/л	Вода	–	[5, 18]
8	Нитрофенолы	Сорбция из водного раствора	Таблетка ППУ/визуальный	0,005–0,05 мг/л	Вода	–	[5]

Примечание. ИБ – индикаторная бумага; ИТ – индикаторная трубка; ИП – индикаторный порошок; ППУ – пенополиуретан.

В работах [8, 13, 17] предложены тест-системы, основанные на реакции окислительной конденсации фенола с 4-аминоантипирином в присутствии гексацианоферрата железа(III) при pH 10.

Реакция образования окрашенного в красно-лиловый цвет ассоциата 4-нитрофенилазопроизводных фенолов с катионом цетилтриметиламмония лежит в основе тест-метода, описанного в работах [5, 18].

В качестве тест-средств используют индикаторные полоски, фильтровальную бумагу

[16], таблетки из пенополиуретана, индикаторные трубки с гидрофобизированным силикагелем, нековалентно модифицированным реагентом [4]. Диапазоны определяемых содержаний представлены в табл. 3 и колеблются в интервале от 0,005 до 7,0 мг/л [5, 8].

ГАЛОГЕНСОДЕРЖАЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ. Для проведения экспресс-контроля хлорсодержащих органических соединений в различных средах предложен ряд тест-наборов различных производителей [5], представленных в табл. 4.

Таблица 4

Тест-методы определения галогенсодержащих органических соединений [5]

№ п/п	Определяемый компонент	Тест-средство/метод индикации	ДОС/НГОС/ПрО	Объект	Фирма-производитель
1	Галогенсодержащие растворители	–	0,5 млрд ⁻¹ – 100 млн ⁻¹	Вода, почва	HNU-Henby (США)
2	Хлорорганические соединения	Колориметрический тест	200–4000 мг/л	Вода	DEXSIL Co. (США)
3	Трихлорэтилен, перхлорэтилен, четыреххлористый углерод, тригалогенметаны	–	5–2000 млрд ⁻¹	Вода	Enviro Inc. (США)
4	Пентахлорэтилен, трихлорэтилен	Специальная посуда		Вода	Dräger (Германия)
5	Полихлорированные дифенилы (ПХД)	Визуальный микрофотометр	0,5 мг/л 0,05 мг/л	Вода, почва	HNU-Systems, DEXSIL Co. (США)
6	Полихлорированные дифенилы (ПХД)	Визуальный микрофотометр	1,0–25 мг/л 0,5–25 мг/л	Почва	E. Merck, Supelco (США), Dräger (Германия)



При использовании тест-систем фирмы EnviroI Inc.(США) предварительно необходимо экстрагировать летучие галогенорганические соединения из воды, для чего используется тефлоновая лента. Далее экстракт перемешивают с реагентом и подвергают воздействию ультрафиолетового излучения.

Тест-метод фирмы Dräger отличается экспрессностью, но для прямого количественного определения загрязнителей в воде невозможен. При использовании этого тест-средства определяемый компонент следует перевести в газообразное состояние.

Для определения полихлорированных бифенилов (ПХБ) в воде и почве предложены два типа тест-систем. Первый тип основан на визуальной и инструментальной оценке интенсивности окраски соединения, образующегося при алкилировании ПХБ галогенал-

килом по реакции Фриделя–Крафтса. Такие тест-системы предлагают фирмы HNU Systems Inc., DEXSIL Co. (США). Нижние границы определяемых содержаний составляют $0,5 \text{ млрд}^{-1}$ или $0,05 \text{ мг/л}$ [5].

Принцип действия тест-систем фирм E. Merck, Supelco, Dräger основан на иммуноферментных реакциях. Индикация аналитического сигнала может быть как визуальной, так и инструментальной. Предварительная экстракция метанолом необходима при использовании тест-наборов Dräger [5].

ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА. Для определения анионных (аПАВ), катионных (кПАВ) и неионных (нПАВ) в водных средах предложены тест-системы для определения суммарного их содержания и отдельных представителей (табл. 5) [5, 6, 19–25].

Таблица 5

Тест-методы определения поверхностно-активных веществ в воде

№ п/п	Определяемый компонент	Реагент или тип реакции	Тест-средство/метод индикации	ДОС/НГОС/ПрО	Источник
1	аПАВ	Метиленовый синий, толуидиновый синий	Визуальный/микрофотометр	0,02–5,0 мг/л	[5]
2	аПАВ	Катион фенантролинового комплекса Fe(III) [Fe(Phen) ₃](аПАВ) ₂	Таблетка ППУ/визуальный	1–30 мг/л	[19, 20]
3	аПАВ	3,3'-Бисметил-4,4'-бисэтиламино-2''-хлортрифенилметанол	ИБ/визуальный	1–100 мг/л	[6]
4	ДДС	Метиловый оранжевый, хлорид дидециламиноэтил-β-тридециламмония	ИП/визуальный	1,5–150 мкг	[6]
5	ДДС	Метиловый оранжевый, N-метил-п,п',п'',п'-пентадецилэтилдидаммония хлорид	ИП/визуальный	5–500 мкг	[6]
6	ДДС	2,6-дифенил-4-(4-диметил аминотирил)пирилия хлорид	ИБ, СГ, полимерная триацетатная пленка	20 мг/л	[21]
7	ДДС	Кристаллический фиолетовый	Ткань/визуальный	0,1–10 мг/л	[22]
8	кПАВ	БФС	Визуальный/микрофотометр	0,05–5,0 мг/л	[5]
9	кПАВ	БФС, бромкрезоловый зелёный	ИБ/визуальный	5–2000 мг/л	[5]
10	кПАВ	БФС	Таблетка ППУ/визуальный	0,4–10 мг/л	[23]
11	кПАВ	Молибден-тиазолил, пирокатехин	ИП/визуальный	1–1000 мг/л	[24]
12	ЦПХ	Комплекс алюминия с сульфохромом и эриохром цианином R	Ткань, ИП	0,01–1 мг/л 1–1000 мг/л	[25]
13	ЦПХ	Сурьма-фенилфлуорон	ИБ/визуальный	0,01–0,5 мг/л; 0,01 мг/л	[24]
14	ЦПХ	2,7-дибром-4,5,6-тригидрокси-9-(2-сульфофенил)-3Н-ксантен-3-онил целлюлоза	ИБ/визуальный	0,1–5,0 мг/л	[6]
15	нПАВ	Комплекс алюминия, лантана или циркония с 2-аминонафталин-(1-азо)бензол-2-натриевая соль карбоновой кислоты	ИБ/визуальный	30–5000 мг/л	[5]

Примечание. ДДС – додецилсульфат; ЦПХ – хлорид цетилпиридиния; БФС – бромфеноловый синий; ИБ – индикаторная бумага; ИП – индикаторные полосы; СГ – силикагель.



В основу тест-систем, предлагаемых фирмами Macherey-Nagel, Nach Co., СНЕМетрикс, Hellige Co., положена реакция образования ассоциатов аПАВ с метиленовым синим или толудиновым синим, растворимых в хлороформе [5].

Предложен метод, основанный на адсорбции таблеткой пенополиуретана (ППУ), окрашенного в красный цвет ассоциата аПАВ с катионом фенантролинового комплекса железа (II), интенсивность окраски пенополиуретана сравнивают со шкалой визуально [19, 20]. Для тест-определения предложены также бумага, индикаторные порошки [6, 21], ткань [22], полимерная триацетатная пленка [21].

Реакция образования ассоциатов кислотных красителей с кПАВ положена в основу тест-систем для их определения. Органические реагенты иммобилизуют на поверхности бумаги [5, 6, 24], таблеток пенополиуретана [23], на ткани [25]. Диапазон определяемых содержаний варьируется от 0,01 до 5000 мг/л [5, 24, 25].

АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ. Из всего многообразия азотсодержащих соединений особое внимание уделяется разработке тест-систем для определения анилина, гидразина и их производных, первичных ароматических аминов. Анилин трудно подвергается биоразложению, является высокотоксичным соединением [1].

Гидразин и его производные чрезвычайно токсичны для животных и человека, они оказывают отрицательное воздействие на центральную нервную, сердечно-сосудистую, выделительную, кроветворную системы [1].

Для экспресс-контроля за содержанием этих загрязнителей предложен ряд тест-систем, представленных в табл. 6, действие их основано на химических реакциях: окислительной конденсации [26, 27], образования азокрасителя [6, 28]. Иммобилизация аналитического реагента проводится на силихроме-120 [26], силикагеле [27], ксерогеле [28], бумаге [6, 29]. Диапазон определяемых содержаний для различных систем приведен в табл. 6.

Таблица 6

Тест-методы определения азотсодержащих органических соединений

№ п/п	Определяемый компонент	Реагент или тип реакции	Тест-средство/метод индикации	ДОС/НГОС	Объект	Источник
1	Анилин	N,N-Диэтил-п-фенилендиамин и дихромат калия	ИТ/колориметрия	0,02–2,5 мг/л; 0,015 мг/л	Вода	[26]
2	Анилин	N,N-Диэтил-п-фенилендиамин	Твердофазная спектрофотометрия	0,02–0,6 мг/л	—/—	[27]
3	Анилин	1-Нафтол	ИП/визуальный	0,5 мг/л	—/—	[28]
4	Анилин	4-Диазобензол(1-азо)-1'-бензол-(4''-азо-2''')-феноксидцеллюлоза, тетраборат Na	ИБ/визуальный	0,1–5,0 мг/л	—/—	[6]
5	Ароматические амины и анилин	1-Нафтиламин	ИБ	0,5–1000 мг/л	—/—	[29]
6	ПАА	ДМАКА в присутствии ДДС	Таблетка/визуальный	0,5–5,0 мкг/мл	—/—	[30]
7	М-фенилендиамин	ДМАКА, ДМАБА	ИБ/визуальный	10^{-4} М	—/—	[31]
8	П-фенилендиамин	ДМАКА, ДМАБА	ИБ/визуальный	10^{-5} М	—/—	[31]
9	Гидразин	1,2,3,4-Тетрагидро-12-молибдосиликат-целлюлоза	ИБ/визуальный	0,01–500 мг/л	—/—	[6]
10	Гидразин	Реактив Вавеле	ИТ/визуальный	0,02–1 мг/л; 0,007 мг/л	—/—	[32]
11	Гидразин	Реактив Вавеле + Cu (II)	ИП/визуальный, твердофазная спектрофотометрия	0,3–3,0 мг/л 0,2–2 мг/л	—/—	[33]



Окончание табл. 6

№ п/п	Определяемый компонент	Реагент или тип реакции	Тест-средство/метод индикации	ДОС/НГОС	Объект	Источник
12	1,1-Диметил-гидразин	3,3',5,5'-Тетраметил бензин в присутствии персульфата калия	ИБ/визуальный	10^{-4} мг/кг	Почва	[34]
13	N,N-Диметил-гидразин	Молибдофосфорные гетерополисоединения	ИП/визуальный	0,2–20 мг/л	Вода	[35]
14	Ариламины, гидразины	Хлординитрозамещенные бенз-2,1,3-оксадиазола	Нитроцеллюлозные пленки/спектрофотометрия	0,01 мг/л	—/—	[36]

Примечание. ПАА – первичные ароматические амины; ДМАКА – диметиламинокоричный альдегид; ДМАБА – диметиламинобензальдегид; ДДС – додецилсульфат; ИТ – индикаторные трубки; ИП – индикаторный порошок; ИБ – индикаторная бумага.

Описан тест-метод определения первичных ароматических аминов по реакции с иммобилизованными *n*-диметиламинокоричным альдегидом, диметилминобензальдегидом, в качестве носителя предложены ксерогели кремниевой кислоты или бумага [30, 31].

Для определения гидразина в воде предложены индикаторные бумаги [6], индикаторные трубки [32], индикаторные порошки [33], модифицированные органическими реагентами.

Метод индикации аналитического сигнала при определении гидразина и его производных может быть как визуальным [6, 32, 34, 35], так и инструментальным [33, 36].

Нами разработан тест-метод определения первичных ароматических аминов (ПАА) в водных средах и лекарственных препаратах. В качестве аналитического реагента предложены диметиламинокоричный альдегид (ДМАКА) или диметиламинобензальдегид (ДМАБА), иммобилизованные на поверхности ксерогеля кремниевой кислоты (КГ), полученного из жидкого стекла или силикатного клея. Модификацию КГ проводили по оригинальной меланж-гель технологии, разработанной авторами [37]. Меланж-ксерогель применен в варианте индикаторных порошков или наполнителей индикаторных трубок.

Определение ПАА можно проводить в интервале концентраций 10^{-2} – 10^{-6} М. НГОС составляет $1 \cdot 10^{-6}$ М и находится на уровне лучших из известных аналитических реакций на эту группу соединений.

Описанные тест-системы нашли применение в анализе различных типов вод. В слу-

чае пестицидов, ПАУ, углеводородов нефти, галогенсодержащих органических соединений разработанные тест-методы применимы и для анализа водных вытяжек из почв.

Библиографический список

1. Грушко Я.М. Вредные органические соединения в промышленных сточных водах. Л.: Химия, 1982. 215 с.
2. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг суперэкоотоксикантов. М.: Химия, 1996. 319 с.
3. Майстренко В.Н., Клюев Н.А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 323 с.
4. Золотов Ю.А. Химический анализ без лабораторий: тест-методы // Вестн. РАН. 1997. Т.67, №6. С.508–513.
5. Золотов Ю.А., Иванов В.М., Амелин В.Г. Химические тест-методы анализа. М.: Едиториал УРСС, 2002. 304 с.
6. Островская В.М., Запорожец О.А., Будников Г.К., Чернавская Н.М. Вода. Индикаторные системы. М.: ВИНТИ РАН, 2002. 265с.
7. Зырянов В.В., Гольдфейн М.Д. Иммунохимические и биосенсорные методы анализа экотоксикантов окружающей среды // Экологическая химия. 2002. № 11(1). С.45–53.
8. Macherey-Nagel. Rapid Tests. Catalog. 2000. 118 p.
9. Leavitt R.A., Kells J.J., J.R. Bunkelmann, R.M. Hollingworth Assessing atrazine persistence in soil following a severe drought // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1991. Vol.46. P.22–29.
10. Вашкевич О.В., Устинова А.И. Способ изготовления индикаторной бумаги для определения фосфорорганических пестицидов: Пат. 1709824 Российская Федерация. МПК G01N33/43, G01N33/18.
11. Rathore U.S., Sharma S.R., Mital S. Spot test analysis of pesticides: detection of carbaryl and mancozeb in water // Water, Air and Soil Pollut. 1997. Vol.97. P.431–441.
12. Горячева И.Ю. Люминесцентные и тест-методы определения токсикантов, основанные на концентрировании в организованных средах: Автореф. дис. ...д-ра хим. наук. Саратов, 2007. 42 с.



13. CHEMetrics, Inc. Perfecting Simplicity in Water Analysis. Catalog. 2000. 40 pp.
14. Roe V.D., Lacy M.J., Stuart J.D., Robbins G.A. Manual headspace method to analyze for the volatile aromatics of gasoline in groundwater soil samples // *Anal. Chem.* 1989. Vol.61. P.2584–2585.
15. DEXSIL Co. Environmental Field test Kits. Catalog. 28p.
16. Амелин В.Г. Модифицированные поверхностно-активными веществами органические реагенты и реактивные индикаторные бумаги в фотометрических и тест-методах определения микрокомпонентов: Автореф. дис. ... д-ра хим. наук. М., 1998.
17. HACH Co. Test Kits and Portable Laboratories. Catalog. 56 p.
18. Дмитриенко С.Г., Логинова Е.В., Мышак Е.Н., Рунов В.К. Способ определения ароматических гидроксипроизводных: Пат. 2078333 Российская Федерация. МПК G01N31/22.
19. Дмитриенко С.Г., Золотов Ю.А., Пяткова Л.Н., Рунов В.К. Способ определения анионных поверхностно-активных веществ: Пат. 2041460 Российская Федерация. МПК G01N31/22.
20. Дмитриенко С.Г., Пяткова Л.Н., Рунов В.К. Оптические сорбционно-молекулярно-спектроскопические методы анализа. Сорбция ионных ассоциатов трис-(1,10-фенантролин)железа(II) пенополиуретанами и ее аналитическое применение // *Журн. аналит. химии.* 1996. Т.51, №6. С.600–604.
21. Ястребова Н.И., Чернова Р.К., Севостьянов А.А., Иванова М.А. Тестовые методы определения анионных ПАВ // Тест-методы химического анализа: Тез. докл. II Всерос. симп. Саратов, 22–25 июня 2004 г. Саратов: Научная книга, 2004. С.53.
22. Амелин В.Г. Ди- и триаминотриарилметановые реагенты, иммобилизованные на тканях из искусственных и натуральных волокон, в химических тест-методах анализа // *Журн. аналит. химии.* 2008. Т.63, №3. С.327–329.
23. Дмитриенко С.Г., Пяткова Л.Н., Бахаев Л.П. и др. Оптические сорбционно-молекулярно-спектроскопические методы анализа. Применение пенополиуретанов и сульфоталеиновых красителей для определения катионных поверхностно-активных веществ // *Журн. аналит. химии.* 1996. Т.51, №5. С.493–497.
24. Амелин В.Г., Иванов В.М. Тест-метод анализа с применением иммобилизованных на бумаге ассоциатов азопроизводных пирокатехина, триоксифлуоронов с цетилпиридинием и их хелатов с ионами металлов // *Журн. аналит. химии.* 2000. Т.55, №4. С.411–418.
25. Амелин В.Г. Фенолкарбоновые кислоты трифенилметанового ряда, иммобилизованные на тканях из искусственных и натуральных волокон, для тест-определения алюминия, бериллия и катионных ПАВ // *Журн. аналит. химии.* 2007. Т.62, №3. С.318–324.
26. Марченко Д.Ю., Морозкин И.А., Моросанова Е.И. и др. Индикаторные трубки для определения анилина в растворе // *Журн. аналит. химии.* 1997. Т.52, №12. С.1292–1295.
27. Марченко Д.Ю., Моросанова Е.И., Кузьмин Н.М., Золотов Ю.А. Индикаторные трубки для определения восстановителей в растворе // *Журн. аналит. химии.* 1997. Т.52, №12. С.1287–1291.
28. Великородный А.А., Моросанова Е.И., Золотов Ю.А. Тест-определение анилина в растворах на основе реакции азосочетания с аналитическими реагентами, включенными в ксерогели кремниевой кислоты // *Журн. аналит. химии.* 2000. Т.55, №10. С.1105–1110.
29. Амелин В.Г., Колодкин И.С. Целлюлозная бумага с химически иммобилизованным 1-нафтиламином для экспрессного тест-определения нитритов, нитратов и ароматических аминов // *Журн. аналит. химии.* 2001. Т.56, №2. С.206–212.
30. Доронин С.Ю., Чернова Р.К., Мызникова И.В., Гусакова Н.Н. Тест-методы определения первичных ароматических аминов и лекарственных производных на их основе // Тест-методы химического анализа: Тез. докл. II Всерос. симп. Саратов, 22–25 июня 2004 г. Саратов: Научная книга, 2004. С.30.
31. Мызникова И.В., Сударушкина А.К., Чернова Р.К. Индикаторные бумаги с иммобилизованным п-диметил-аминокоричным альдегидом // Тест-методы химического анализа: Тез. докл. II Всерос. симп. Саратов, 22–25 июня 2004 г. Саратов: Научная книга, 2004. С.15.
32. Моросанова Е.И., Великородный А.А., Резникова Е.А., Кузьмин Н.М. Ксерогели, модифицированные фосфорномолибденовыми гетерополисоединениями. Индикаторные трубки и индикаторные порошки для определения гидразинов и олова(II) в растворах // *Журн. аналит. химии.* 2000. Т.55, №4. С.423–430.
33. Моросанова Е.И., Резникова Е.А., Великородный А.А. Индикаторные порошки на основе модифицированных ксерогелей для твердофазно-спектрофотометрического и тест-определения аскорбиновой кислоты и гидразинов // *Журн. аналит. химии.* 2001. Т.56, №2. С.195–200.
34. Беклемишев М.К., Беляева Л.Ю., Долманова И.Ф. Тест-определение 1,1-диметилгидразина каталитическим методом // Тест-методы химического анализа: Тез. докл. II Всерос. симп. Саратов, 22–25 июня 2004 г. Саратов: Научная книга, 2004. С.22.
35. Моросанова Е.И., Логинова К.А. Тест-система для определения несимметричного N,N-диметилгидразина // Тест-методы химического анализа: Тез. докл. II Всерос. симп. Саратов, 22–25 июня 2004 г. Саратов: Научная книга, 2004. С.42.
36. Евгеньев М.И., Гармонов С.Ю., Евгеньева И.И. Тест-методы для определения токсичных аминов и гидразинов в воздушных и водных средах // Тест-методы химического анализа: Тез. докл. II Всерос. симп. Саратов, 22–25 июня 2004 г. Саратов: Научная книга, 2004. С.36.
37. Чернова Р.К., Козлова Л.М., Мызникова И.В. Способ получения ксерогеля кремниевой кислоты, модифицированного хромазуролом С: Пат. 2256612 Российская Федерация. МПК⁷ C01B33/16, B 01 J 20/30, 20/10.