

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-7-22-27>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ АМИНОВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ МЕТОДОМ КАПИЛЛЯРНОГО ЭЛЕКТРОФОРЕЗА

© **Екатерина Николаевна Аликина,**
Эдуард Владимирович Погорельцев*

Пермский государственный национальный исследовательский университет; Россия, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15;

*e-mail: pogorelcev1995@gmail.com

*Статья поступила 25 декабря 2018 г. Поступила после доработки 30 апреля 2019 г.
Принята к публикации 29 мая 2019 г.*

Исследована возможность определения ароматических аминов методом капиллярного электрофореза с использованием прибора «Капель-105М». Вследствие высокой токсичности ароматические амины относят к группе приоритетных загрязнителей окружающей среды, содержание которых в атмосфере и водах различных типов не должно превышать ПДК. Поэтому актуальной задачей являются совершенствование и оптимизация инструментальных методов определения аминов, что позволяет минимизировать пробоподготовку, уменьшить время анализа, повысить точность определения, а также автоматизировать анализ. Разработан способ разделения и определения ароматических аминов (анилин, бензидин, 2-аминофенол, 1- и 2-нафтиламины, 2,6-диаминопиридин) методом капиллярного электрофореза с использованием прибора «Капель-105М» с УФ-детектором. Установлены оптимальные условия определения ароматических аминов (длина волны, давление, время ввода пробы, напряжение), выявлен наиболее подходящий рабочий электролит. Показано влияние природы и концентрации рабочего электролита на определение аминов. Разработанный способ характеризуется хорошей воспроизводимостью, точностью, селективностью определения, отсутствием мешающего влияния основы пробы сточных вод. Разработанный способ определения ароматических аминов проверен при анализе модельных растворов и реальных образцов сточной воды, правильность подтверждена методом «введено – найдено». При прямом спектрофотометрическом детектировании ($\lambda = 215$ нм) пределы обнаружения составили 0,1 мг/дм³ для 1- и 2-нафтиламинов, 0,5 мг/дм³ — для анилина, 2-аминофенола и бензидина и 1,0 мг/дм³ — для 2,6-диаминопиридина.

Ключевые слова: ароматические амины; капиллярный электрофорез, сточные воды, нафтиламин.

DETERMINATION OF AROMATIC AMINES IN WASTEWATER BY CAPILLARY ELECTROPHORESIS

© **Ekaterina N. Alikina, Eduard V. Pogorelcev***

Perm State University, 15, Bukireva ul., Perm, 614990 Russia; *e-mail: pogorelcev1995@gmail.com

Received December 25, 2018. Revised April 30, 2019. Accepted May 29, 2019.

The possibility of aromatic amine determination using capillary electrophoresis on a “KAPEL-105M” device is studied. Due to their high toxicity, aromatic amines are rated as top-priority environmental pollutants and their content in the atmosphere and water in no way should not exceed MAC. Therefore, improvement and optimization of the instrumental methods of their determination, which can shorten the sample preparation, reduce analysis time, increase accuracy of determination, and also enable automation of analysis becomes an urgent goal of the study. A method for the separation and determination of aromatic amines (aniline, benzidine, 2-aminophenol, 1- and 2-naphthylamines, 2,6-diaminopyridine) by capillary electrophoresis on a “KAPEL-105M” device with a UV detector was developed. We have specified optimal conditions for the determination of aromatic amines (wavelength, pressure, time of sample introduction, voltage) and selected the most suitable electrolyte. The effect of the nature and concentration of the electrolyte on the determination of amines was analyzed. The developed method exhibited good reproducibility, accuracy, selectivity of determination, and the absence of the interfering influence of the basis of the wastewater sample. The developed method for determination of the aromatic amines was tested on model solutions and real samples of waste water, whereas the correctness of the procedure was proved in spike tests. Direct spectrophotometric detection ($\lambda = 215$ nm) revealed the following detection limits: 0.1 mg/dm³ for 1- and 2-naphthylamines, 0.5 mg/dm³ for aniline, 2-aminophenol and benzidine, and 1.0 mg/dm³ — for 2,6-diaminopyridine.

Keywords: aromatic amines; capillary electrophoresis, wastewater, naphthylamine.

Введение

Объекты окружающей среды содержат большое количество органических соединений как антропогенного, так и природного происхождения, многие из которых проявляют высокую канцерогенность и мутагенность, устойчивы к химическому и биологическому разложению и способны накапливаться в живых организмах [1]. Одними из них являются ароматические амины (АА). Вследствие высокой токсичности ароматические амины относят к группе приоритетных загрязнителей окружающей среды, содержание которых в атмосфере и водах различных типов не должно превышать ПДК.

1-Нафтиламин имеет важное значение для синтеза азокрасителей, производства аминанафталинсульфокислот, 1-нафтола, некоторых гербицидов и пигментов [1]. Нарушение технологических процессов в текстильной промышленности или в химических производствах, недостаточная очистка сточных вод предприятий приводят к загрязнению этим веществом объектов окружающей среды. Другой источник его поступления — метаболизм пестицидов, используемых в сельском хозяйстве, например нафталама, в результате чего 1-нафтиламин накапливается в почвах, откуда попадает либо в воду природных водоемов, либо в воздушную среду вследствие ветровой эрозии почвы. Кроме того, 1-нафтиламин содержится в выбросах автотранспорта и металлургических производств. 2-Нафтиламин очень токсичен для людей и теплокровных животных и оказывает канцерогенное действие на человека. Бензидин содержится в сточных водах производств красителей, предприятий органического синтеза. 2,6-Диаминопиридин используют в синтезе лекарственных препаратов, а также применяют при различных биохимических исследованиях в медицине и т.д. Анилин содержится в сточных водах производств красителей, лаков и красок, пластмасс, капролактама, бензола, аммиака, предприятий газификации угля, органического синтеза и др. Аминофенолы содержатся в сточных водах предприятий органического синтеза, синтетического каучука, анилинокрасочных и химико-фармацевтических производств.

Таким образом, источников и путей поступления ароматических аминов в окружающую среду — огромное количество. Многие ароматические амины оказывают канцерогенное, мутагенное действие на живые организмы. Поэтому актуальной задачей являются совершенствование и оптимизация инструментальных методов определения этих соединений, что позволяет минимизировать пробоподготовку, уменьшить время анализа, повысить точность определения, а также автоматизировать анализ.

Описаны различные способы определения ароматических аминов: титриметрические [2], спектрофотометрические [3], электрохимические [4], хроматографические [5, 6], электрофоретические [7–9]. Титриметрические методы определения являются неселективными, кроме этого, часто требуется использование неводных органических растворителей. Для спектрофотометрического определения необходимо проведение реакции азосочетания. В процессе образования азосоединений ароматический амин может быть использован в качестве диазо- или азосоставляющей и, следовательно, возможны два варианта определения. Следует отметить, что спектрофотометрический метод также является неселективным. Хроматографические методы определения аминов селективны и высокочувствительны: методом газовой хроматографии при правильном выборе колонки, детектора и условий разделения можно определить любые ароматические амины, которые испаряются без разложения или с воспроизводимым разложением. Мешающие определению вещества можно предварительно удалить с помощью жидкостно-жидкостной экстракции, жидкостной хроматографии, тонкослойной хроматографии или какого-либо другого метода. Метод жидкостной хроматографии пригоден для определения термически нестойких, нелетучих и очень полярных ароматических аминов. В последние годы ароматические амины все чаще определяют методами капиллярного зонного электрофореза и электрокинетической мицеллярной хроматографии. В большинстве случаев используют спектрофотометрическое детектирование в УФ-области [7], а также флуоресцентный [8] и амперометрический детекторы [9]. В качестве фоновых электролитов при определении ароматических аминов применяют фосфатный, боратный и ацетатный буферные растворы. Эти методы отличаются селективностью и относительной простотой.

Цель данной работы — разработка экспрессного, достаточно чувствительного и не требующего длительной пробоподготовки способа определения ароматических аминов в сточных водах методом капиллярного электрофореза (КЭ) с использованием прибора «Капель-105М». Метод капиллярного электрофореза относится к простым, экспрессным методам анализа и обладает определенными преимуществами: 1) он более экономичен в плане инструментального оснащения и расходных материалов по сравнению с методом ВЭЖХ; 2) метод более прост и эффективен по сравнению со спектрофотометрическим методом, так как позволяет селективно определять ароматические амины из одной пробы.

Экспериментальная часть

Растворы и реагенты. Растворы ароматических аминов (1-нафтиламина, 2-нафтиламина, анилина, бензидина, 2-аминофенола (чистота — 98 %), 2,6-диаминопиридина (чистота — 98 %) с концентрацией 1,00 г/дм³ готовили растворением навески в деионизированной воде. Разбавленные растворы индивидуальных компонентов и их смесей готовили последовательным разбавлением в день проведения эксперимента. Растворы хранили в герметичных стеклянных виалах.

Раствор ортофосфорной кислоты H₃PO₄ (чда) с концентрацией 1 моль/дм³ готовили последовательным растворением концентрированного раствора в деионизированной воде. Раствор лимонной кислоты (чда) с концентрацией 1 моль/дм³ готовили растворением точной навески в деионизированной воде. Растворы кислот стандартизировали по стандартному раствору гидроксида натрия.

Фосфатный фоновый электролит с концентрациями 0,010 и 0,005 моль/дм³ готовили методом последовательного разбавления раствора ортофосфорной кислоты. Разбавленный раствор тщательно перемешивали и фильтровали через целлюлозно-ацетатный фильтр. Значение pH раствора равно 2,3. Цитратный фоновый электролит с концентрацией 0,010 моль/дм³ готовили методом последовательного разбавления раствора лимонной кислоты. Разбавленный раствор тщательно перемешивали и фильтровали через целлюлозно-ацетатный фильтр. Значение pH раствора равно 2,5. Перед использованием фоновые электролиты дегазировали центрифугированием в течение 5 мин при скорости вращения 5000 мин⁻¹.

Оборудование. Для определения ароматических аминов использовали прибор капиллярного электрофореза «Капель-105М» («Люмэкс», Россия) при положительной полярности рабочего напряжения. Разделение ароматических аминов проводили на немодифицированных кварцевых капиллярах с внутренним диаметром 75 мкм (эффективная длина капилляра — 50 см, общая — 60 см). Электрофореграммы регистрировали при помощи программного пакета Эльфоран/Elforun (Россия). Значение pH измеряли с помощью иономера/pH-метра ИПЛ-101 (НПП «СЕМИКО», Россия) с комбинированным стеклянным электродом ЭСК 10601/7. Для взвешивания использовали аналитические весы AF модели AF-R220CE (Shinko Denshi Co., Ltd., Япония).

Выбор начальных условий. Разделение веществ в методе капиллярного электрофореза происходит за счет различий в электрофоретической подвижности, которая зависит от заряда и ионного радиуса. Исследуемые ароматические

амины представляют собой слабые органические основания, в кислой среде они практически полностью существуют в форме катионов. Можно предположить, что отличие в размерах образующихся ионов обеспечит достаточное различие в подвижности ионов. Таким образом, для достижения необходимых параметров разделения можно варьировать состав ведущего электролита.

Ведущий электролит должен удовлетворять нескольким обязательным условиям. Во-первых, он должен быть кислым, так как амины определяют в виде катионов, существующих только в кислых средах. Во-вторых, ведущий электролит не должен содержать вещество, с помощью которого можно обратить направление электроосмотического потока (ЭОП), так как в противном случае ЭОП, направленный к аноду, резко замедлит, а во многих случаях сделает невозможной электромиграцию катионов к детектору. Кроме того, он должен обладать необходимыми для детектирования оптическими свойствами, желательно — иметь значения проводимости и теплопроводности, позволяющие проводить эффективную электромиграцию в условиях высокого значения напряжения. Этим условиям, в частности, удовлетворяют растворы фосфорной или лимонной кислот, которые не поглощают на выбранной длине волны.

Для детектирования веществ использовали УФ-детектор и метод прямого детектирования как более простой и универсальный. Для нахождения оптимальных условий детектирования измеряли оптическую плотность раствора, выходящего из капилляра, в диапазоне длин волн 190 – 250 нм. Для регистрации электрофореграмм длину волны выбирали таким образом, чтобы она соответствовала максимуму или находилась вблизи него, а интенсивность фонового сигнала при этом значении λ была минимальной. Оптимальное значение длины волны оказалось равным 215 нм.

Таким образом, в качестве начальных условий для разделения и определения компонентов смеси были выбраны следующие: фосфатный ведущий электролит (0,010 М раствор H₃PO₄, pH 2,3) длина волны λ = 215 нм, напряжение — +20 кВ (катодный режим), температура — 20 °С, ввод пробы — гидродинамический 600 мбар · с (30 с при давлении 20 мбар). В качестве рабочего капилляра был выбран немодифицированный кварцевый капилляр с внутренним диаметром 75 мкм (эффективная длина капилляра — 50 см, общая — 60 см).

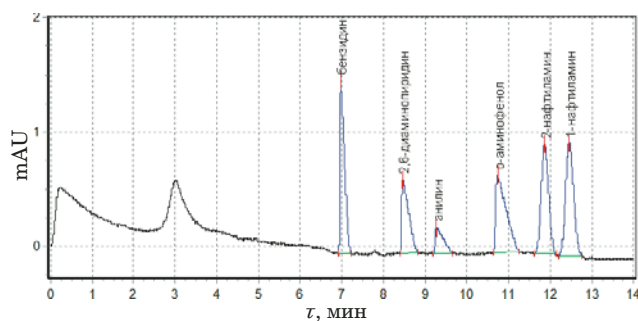


Рис. 1. Электрофореграмма смеси ароматических аминов (концентрации бензидина, 2,6-диаминопиридина, анилина, 2-аминофенола — 5 мг/дм³, 1- и 2-нафтиламина — 0,1 мг/дм³)

Fig. 1. Electrophoregram of the mixture of aromatic amines (concentrations of benzidine, 2,6-diaminopyridine, aniline, and 2-aminophenol — 5 mg/dm³, 1- and 2-naphthylamine — 0.1 mg/dm³)

Обсуждение результатов

На рис. 1 представлена электрофореграмма смеси ароматических аминов, зарегистрированная в указанных оптимальных условиях: видно, что все компоненты смеси полностью разделены. Методом добавок было доказано положение каждого амина на электрофореграмме. В оптимальных условиях базовая линия имеет ровный вид, без заметных «шумов», соседние пики разрешены. Форма пика несимметрична: передний край оказался крутым, а задний — размытым. Это связано с тем, что зона растворенного вещества характеризуется меньшей подвижностью (чем фоновый электролит, используемый при анализе).

В табл. 1 приведены полученные характеристики, свидетельствующие о возможности селективного разделения компонентов смеси.

Оптимизация объема вводимой пробы, концентрации раствора ведущего электролита. Выбранные условия позволили провести селективное разделение компонентов смеси. Для даль-

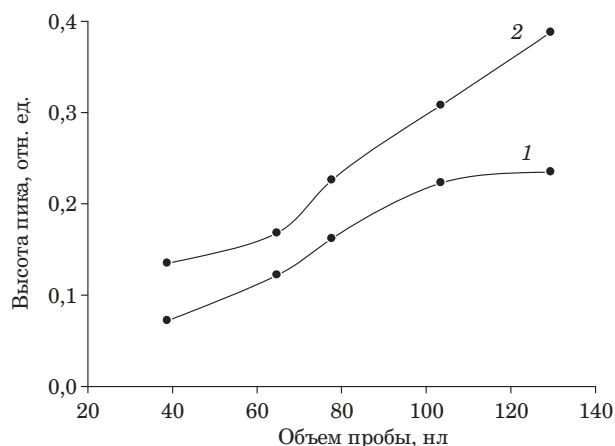


Рис. 2. Зависимость высоты пика от объема пробы для фосфатного фоновго электролита при разных его концентрациях: 1 — 0,005; 2 — 0,010 моль/дм³ H₃PO₄

Fig. 2. Dependence of peak height on the sample volume for different concentrations of phosphate electrolyte: 1 — 0.005; 2 — 0.010 mol/dm³ H₃PO₄

нейшей оптимизации способа определения варьировали состав и концентрацию ведущего электролита и параметры ввода пробы (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что повышение объема вводимой пробы закономерно увеличивает высоту пика на электрофореграмме, а это, в свою очередь, увеличивает чувствительность анализа. Следует также отметить, что повышение концентрации фоновго электролита увеличивает время выхода компонентов смеси, что менее выгодно для электрофоретического определения.

При замене фосфатного фоновго электролита цитратным было обнаружено уменьшение высоты пика при тех же значениях концентрации ФЭ и объема вводимой пробы (рис. 3). Так как на отклик детектора не влияют оптические характеристики ФЭ, возможно, это связано с различием значений pH этих растворов, что, в свою очередь сказывается на диссоциации определяемых веществ. Таким образом, в качестве фоновго электролита выбрали раствор ортофосфорной кисло-

Таблица 1. Характеристики разделения исследуемых соединений ($n = 5$; $P = 95\%$)

Table 1. Characteristics of separation of the studied compounds ($n = 5$; $P = 95\%$)

Соединение	pK_a (pK_{a1}/pK_{a2})	Фоновый электролит			
		Фосфорная кислота (0,0050 моль/дм ³)		Лимонная кислота (0,010 моль/дм ³)	
		Время миграции иона τ_i , мин	Общая подвижность $\mu_{общ,i} \cdot 10^8$, м ² /(В · с)	Время миграции иона τ_i , мин	Общая подвижность $\mu_{общ,i} \cdot 10^8$, м ² /(В · с)
Бензидин	4,97/3,75	6,96 ± 0,09	3,59	6,30 ± 0,12	3,92
2,6-Диаминопиридин	4,78	8,33 ± 0,09	2,96	7,27 ± 0,22	3,36
Анилин	4,72	9,00 ± 0,16	2,70	7,87 ± 0,20	3,14
2-Аминофенол	4,29	10,35 ± 0,16	2,34	8,99 ± 0,26	2,77
2-Нафтиламин	4,14	11,27 ± 0,15	2,10	9,85 ± 0,10	2,52
1-Нафтиламин	3,96	11,64 ± 0,12	2,00	10,32 ± 0,15	2,40

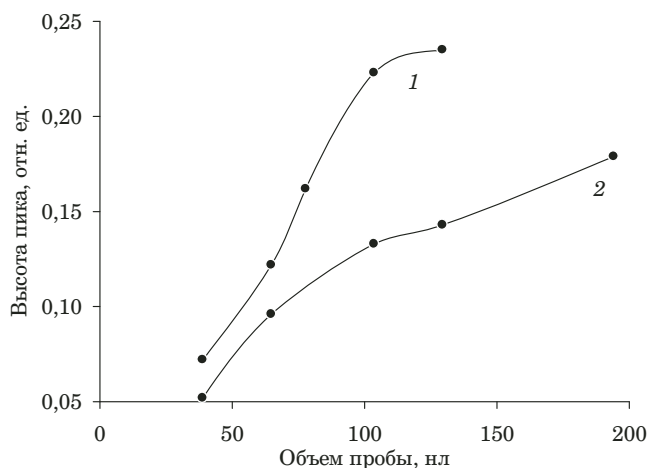


Рис. 3. Зависимость высоты пика от объема пробы для разных фоновых электролитов (0,010 моль/дм³): 1 — фосфатный; 2 — цитратный ФЭ

Fig. 3. Dependence of peak height on the sample volume for different electrolytes (0.010 mol/dm³): 1 — phosphate electrolyte; 2 — citrate electrolyte

ты с концентрацией 0,005 моль/дм³, применение которого обеспечивает ровную базовую линию, наименьшее время выхода компонентов смеси, а также высокие значения коэффициента разделения пиков $R_{n,n+1}$. Цитратный фоновый электролит может быть применен для определения высоких концентраций АА порядка 50 мг/дм³.

Построение градуировочных зависимостей. В выбранных условиях были построены градуировочные графики для определения ароматических аминов. Экспериментальным путем были установлены диапазоны определяемых концентраций, определены метрологические характеристики (табл. 2). Расчеты выполнены в программной среде R (версия 3.5.1), с использованием функции “lm” из пакета “stats” и функции “lod” из пакета “chemCal”.

Изучение мешающего влияния матрицы и проверка правильности разработанного способа. Предложенный способ определения АА был

Таблица 2. Метрологические характеристики разработанного способа электрофоретического определения ароматических аминов

Table 2. Metrological characteristics of the developed procedure for determination of aromatic amines

Аналит	Уравнение градуировочного графика	r^2	Предел обнаружения, мг/дм ³	Диапазон определяемых концентраций, мг/дм ³	s_r
0,005 моль/дм³ фосфатный ФЭ					
Бензидин	$S = 25,7C$	0,998	1,1	0,500 – 10,0	6,5
2,6-Диаминопиридин	$S = 14,4C$	0,999	0,51	1,00 – 10,0	2,2
Анилин	$S = 7,71C$	0,999	0,99	0,500 – 10,0	4,6
2-Аминофенол	$S = 21,5C$	0,999	1,3	0,500 – 12,0	4,7
2-Нафтиламин	$S = 274C - 12,8$	0,999	0,067	0,100 – 1,00	2,8
1-Нафтиламин	$S = 296C$	0,988	0,11	0,100 – 1,00	6,6
0,010 моль/дм³ цитратный ФЭ					
Бензидин	$S = 10,2C$	0,999	1,1	1,00 – 25,0	2,0
2,6-Диаминопиридин	$S = 4,78C$	0,999	2,4	3,00 – 50,0	2,1
Анилин	$S = 1,85C$	0,999	1,9	6,00 – 50,0	1,6
2-Аминофенол	$S = 5,17C$	0,998	5,6	2,00 – 50,0	5,0
2-Нафтиламин	$S = 46,8C$	0,999	0,56	1,00 – 10,0	2,4
1-Нафтиламин	$S = 57,3C$	0,999	0,090	1,00 – 10,0	0,4

Таблица 3. Результаты проверки правильности разработанного способа методом «введено – найдено» ($n = 3$; $P = 95\%$)

Table 3. Validation of the developed method in the spike tests ($n = 3$; $P = 95\%$)

Аналит	Введено, мг/дм ³	Найдено, мг/дм ³	
		Водопроводная вода	Сточная вода
Бензидин	5,00	5,10 ± 0,19	4,97 ± 0,23
2,6-Диаминопиридин	1,00	1,05 ± 0,20	1,11 ± 0,25
Анилин	2,00	2,12 ± 0,19	1,98 ± 0,22
2-Аминофенол	5,06	5,11 ± 0,08	5,14 ± 0,10
2-Нафтиламин	0,200	0,214 ± 0,033	0,206 ± 0,045
1-Нафтиламин	0,420	0,425 ± 0,025	0,422 ± 0,028

опробован при анализе растворов смесей анализируемых веществ в реальных пробах сточной воды (проверка правильности методом «введено – найдено», табл. 3).

В пробах водопроводной и сточной воды были обнаружены ионы NH_4^+ , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , а также некоторые органические вещества, например, $\text{CH}_3\text{COO}-\text{C}_2\text{H}_5$, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.

Результаты анализа свидетельствуют о том, что на разделение и площади пиков ароматических аминов не влияют неорганические ионы и органические вещества, мешающее влияние основы пробы практически не проявляется при определении компонентов на уровне 2 – 20 мг/дм³. Мешающее влияние оказывают ПАВ (кПАВ — модифицируют поверхность капилляра и обращают ЭОП, аПАВ — мигрируют к аноду, т.е. против ЭОП, замедляя его).

Заключение

Таким образом, был разработан и апробирован на образцах сточной воды экспрессный и простой способ определения ароматических аминов методом капиллярного электрофореза с прямым спектрофотометрическим детектированием. Показано, что предложенный способ может быть применен в широком диапазоне концентраций АА в сточных водах в присутствии как органических веществ, так и неорганических ионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грушко Я. М. Вредные органические соединения в промышленных сточных водах: справ. — Л.: Химия, 1982. — 216 с.
2. Денеш И. Титрование в неводных средах. Пер. с англ. под ред. И. П. Белецкой. — М.: Мир, 1971. — 412 с.
3. Коренман И. М. Фотометрический анализ. Методы определения органических соединений. — М.: Книга по требованию, 2012. — 342 с.
4. Назаров В. А., Андрончик К. А., Егоров В. В. Комплексообразование катионов аминов с краун-эфирами в мембранах ионселективных электродов и его влияние на потенциометрическую селективность / Вестн. БГУ. Сер. 2. 2013. № 2. С. 12 – 18.
5. Müller L., Fattore E., Benfenati E. Determination of aromatic amines by solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry in water samples / J. Chromatogr. A. 1997. Vol. 791. P. 221 – 230.
6. Зуй Н. К. Методы определения ароматических аминов в окружающей среде / Геология, география и глобальная энергия. 2011. Т. 41. № 2. С. 190 – 198.
7. Каменцев М. Я., Москвин Л. Н., Малинина Ю. и др. Определение алкиламинов в водных средах методом капиллярного электрофореза / Журн. аналит. химии. 2016. Т. 71. № 9. С. 951 – 955.
8. Yan Sun, Liyun Liang, Xiaoyin Zhao, et al. Determination of aromatic amines in water samples by capillary electrophoresis with amperometric detection / Water Res. 2009. N 43. P. 41 – 46.
9. Asthana A., Bosea D., Durgbanshia A., et al. Determination of aromatic amines in water samples by capillary electrophoresis with electrochemical and fluorescence detection / J. Chromatogr. A. 2000. N 895. P. 197 – 203.

REFERENCES

1. Grushko Ya. M. Toxic organic compounds in industrial wastewater: a handbook. — Leningrad: Khimiya, 1982. — 216 p. [in Russian].
2. Gyenes I. Titration in non-aqueous media. — Budapest: Akademiai Kiado, 1967. — 461 p.
3. Korenman I. M. Photometric analysis. Methods for determination of organic compounds. — Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. — 342 p. [in Russian].
4. Nazarov V. A., Andronchik K. A., Yegorov V. V. Complexation of amines cations with crown ethers in membranes of ion selective electrodes and its influence on the potentiometric selectivity / Vestnik BGU. Ser. 2. 2013. N 2. P. 12 – 18 [in Russian].
5. Müller L., Fattore E., Benfenati E. Determination of aromatic amines by solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry in water samples / J. Chromatogr. A. 1997. Vol. 791. P. 221 – 230.
6. Zuy N. K. Methods for determination of aromatic amines in the environment / Geol. Geogr. Global. Energiya. 2011. Vol. 41. N 2. P. 190 – 198 [in Russian].
7. Kamentsev M. Ya., Moskvina L. N., Malinina Yu., et al. Determination of alkylamines in aqueous media by capillary electrophoresis / J. Anal. Chem. 2016. Vol. 71. N 9. P. 912 – 916.
8. Yan Sun, Liyun Liang, Xiaoyin Zhao, et al. Determination of aromatic amines in water samples by capillary electrophoresis with amperometric detection / Water Res. 2009. N 43. P. 41 – 46.
9. Asthana A., Bosea D., Durgbanshia A., et al. Determination of aromatic amines in water samples by capillary electrophoresis with electrochemical and fluorescence detection / J. Chromatogr. A. 2000. N 895. P. 197 – 203.