

УДК 543.2:54.412.2

**АДСОРБЦИОННАЯ ИНВЕРСИОННАЯ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЯ:
АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Г.В. Прохорова, В.М. Иванов, Д.А. Бондарь

*(кафедра аналитической химии)***Систематизированы результаты оригинальных работ, опубликованных с 1989 г. по настоящее время и посвященных применению адсорбционной инверсионной вольтамперометрии для определения следовых количеств неорганических и органических соединений в природных и биологических объектах. Обсуждены важнейшие достижения в этой области.**

Одним из наиболее эффективных способов улучшения соотношения сигнал/шум при вольтамперометрическом определении следовых количеств веществ является предварительное концентрирование на поверхности (или в фазе) индикаторного электрода. Уже много лет наряду с электроконцентрированием широко и успешно используют адсорбционное концентрирование.

Адсорбционное концентрирование определяемого вещества отличается от электроконцентрирования, по крайней мере, двумя важными преимуществами. Во-первых, в этом случае можно сконцентрировать элемент практически в любой степени окисления, а не только в элементном состоянии. Во-вторых, накапливать можно любые поверхностно-активные вещества (органические соединения, комплексы металлов с органическими реагентами). Другие преимущества адсорбционного накопления отметим несколько позже. Этот вариант вольтамперометрии, получивший название адсорбционной инверсионной вольтамперометрии, в настоящее время является одним из наиболее популярных электрохимических методов контроля объектов окружающей среды, пищевых продуктов, биологических жидкостей и тканей.

Возможности и ограничения адсорбционной инверсионной вольтамперометрии применительно к анализу природных объектов и работы, вышедшие в основном до 1989 г., обсуждены в работах [1, 2]. В настоящем обзоре систематизированы результаты оригинальных работ, опубликованных позднее.

К основным достижениям последнего десятилетия относятся: расширение ассортимента индикаторных электродов для адсорбционной инверсионной вольтамперометрии; использование высокоскоростных методов для регистрации вольтамперограмм; разработка новых адсорбционных систем для высокочувствительного определения следовых количеств веществ; снижение предела об-

наружения ряда неорганических и органических соединений и, конечно, разработка новых чувствительных методик анализа разнообразных природных и биологических объектов. Остановимся на этих достижениях подробнее.

Индикаторные электроды. Основным электродом для изучения и аналитического применения адсорбционных волн остается ртутный (статический, стационарный и типа «висячая капля»), но появились и другие электроды. Для определения оксиэтилиденфосфоновой кислоты предложен Ag-электрод [3]. Пленочный ртутный электрод на Ag-подложке использовали для определения амаранта и индигокармина [4], а пленочный электрод на стеклоуглеродной подложке – для определения до $4 \cdot 10^{-9}$ М олова в виде комплекса с пирокатехином [5]. В ряде работ применен модифицированный стеклоуглеродный электрод [6–9]. Для модифицирования поверхности использовали нафион [6, 7], поли(4-винилпиридин) [8] и липид [9], в последнем случае удалось разработать методику определения до $5 \cdot 10^{-9}$ М резерпина.

Самая многочисленная группа новых электродов – химически модифицированные угольные пастовые электроды (УПЭ). Модификаторами УПЭ для определения Cu(II) служили 8-гидроксихинолин [10], бензоиноксим [11] и салицилиденамино-2-тиофенол [12], для определения Fe(II) – 1,10-фенантролин и нафион [13], для определения Ag(I) – 2,2'-дитиопиридил [14], Pb(II) – дифенилтиокарбазон [15].

Химически модифицированные УПЭ предложены и для органических соединений [16–22]. УПЭ, модифицированный липидом [16], позволяет определять до $2 \cdot 10^{-10}$ М 2-метил-9-гидроксипиптиципима.

Для определения до 0.04 мкг/мл флороглюцина использовали графитовый пастовый электрод, модифицированный поли-N-винилпирролидоном [23]. Для приготовления электрода использовали реакцию полимеризации в аргонной плазме в кварцевом плазматроне, содержащем

графитовый порошок и пары винилпирролидона. Накопление на поверхности модифицированных УПЭ обычно проводят при разомкнутой цепи, и для исключения влияния матрицы электрод после промывания переносят в чистый фон, из которого удален кислород. Есть сообщения об адсорбционном накоплении и при наложении потенциала: УПЭ, модифицированный 1,10-фенантролином и катионообменником, после накопления при 0.3 В (нкэ) позволяет определять Co(II) с пределом обнаружения $8 \cdot 10^{-8}$ М [24].

Накопление определяемого вещества в виде мономолекулярного слоя на поверхности индикаторного электрода позволило применить для регистрации вольтамперограмм высокоскоростные методы.

В серии работ чешских химиков [25–29] показана возможность и целесообразность использования высокоскоростной дифференциальной импульсной вольтамперометрии для определения ряда органических соединений после их адсорбционного накопления на статическом ртутном электроде.

В некоторых случаях [26, 28] достигнут предел обнаружения порядка $n \cdot 10^{-9}$ М. Другие примеры успешного применения высокоскоростной импульсной и переменноточковой вольтамперометрии можно видеть в табл. 1, 2. С использованием этих методов разработана проточная система для определения до $2 \cdot 10^{-12}$ М фолиевой кислоты [30, 31] (время адсорбционного накопления 600 с) и полностью автоматизированная проточная система для определения до 50 мкг/л Cr(VI) в присутствии ДТПА [32].

Новые адсорбционные системы. К новым адсорбционным системам можно отнести системы с ранее не определяемыми элементами [14, 33–36], системы с впервые предложенными реагентами [37–52] и системы с известными реагентами для новых элементов [53–55].

К ранее не определяемым после адсорбционного концентрирования элементам относятся Ag [14], Au [33], Be [34], Rh [35], W [36]. В ряде случаев удалось получить довольно низкий предел обнаружения [36] и найти практическое применение [34] предлагаемым адсорбционным системам.

Среди новых реагентов, образующих пригодные для аналитических целей адсорбционные волны, описаны: антипирин ($5 \cdot 10^{-9}$ М Mo(VI))* [37], ализариновый красный С ($1 \cdot 10^{-9}$ М Ge(IV))* [38], 8-гидрокси-5-хинолинсульфокислота ($2 \cdot 10^{-9}$ М Bi(III))* [39], диазо-1Н-тетразол ($5 \cdot 10^{-9}$ М Cu(II))* [40], 2,3-диаминонафталин ($1 \cdot 10^{-8}$ М Se(IV))* [41], кварцетин ($2 \cdot 10^{-8}$ М Ge(IV))* [42], кальцион ($5 \cdot 10^{-7}$ М

Ca(II))* [43], кислотный ализариновый фиолетовый ($5 \cdot 10^{-7}$ М Al(III))* [44], линолеиновая кислота ($1 \cdot 10^{-8}$ М Pb(II))* [45], 5-(*n*-метилфенилазо)-8-аминохинолин ($5 \cdot 10^{-9}$ М Ni(II))* [46], морин ($2 \cdot 10^{-9}$ М Sb(III))* [47, 48], ПАН ($1 \cdot 10^{-8}$ In(III))* [49], салицилиденамино-2-тиофенол ($2 \cdot 10^{-9}$ М Cu(II))* [50], хромазуrol S ($4 \cdot 10^{-8}$ М Th(IV))* [51], хромазуrol S+этилендиамин (Cu(II))* [52].

Некоторые из уже известных реагентов применяют для определения новых элементов. Например, солохромовый фиолетовый используют для определения Fe(III) [53], 2-теоилтрифторацетон – Eu(III) (до $5 \cdot 10^{-9}$ М) [54], 8-гидроксихинолин – In(III) (до $1 \cdot 10^{-7}$ М) [55].

В дополнение к работам по одновременному определению Ni(II) и Co(II) при использовании адсорбционной системы Ni(II), Co(II) – оксим (чаще других диметилглиоксим) появилось сообщение о возможности одновременного раздельного определения Cu(II), Pb(II) и Al(III) после накопления при -0.05 В на фоне 0.5 М триэтанолламин – HClO₄ (pH 6.5), содержащем пирокатехиновый фиолетовый, по адсорбционным пикам их комплексов при -0.21 , -0.47 и -0.70 В соответственно [56].

Продолжено изучение косвенных методов определения NO₂⁻ и F⁻ (табл. 1). Заслуживают внимания работы по изучению адсорбционных волн РЗЭ в присутствии ализаринового синего S [58], дибромфлуорона и хлорфосфоназо [59]. В последнем случае предел обнаружения составляет $1.4 \cdot 10^{-8}$ М без накопления. Наиболее низкие пределы обнаружения приведены в табл. 3.

Чрезвычайно низкие пределы обнаружения достигнуты при определении органических соединений: фолиевой кислоты ($2 \cdot 10^{-11}$ М) [69], 1-[4'-(фенилазо)фенил]-3,3-диметилтриазена ($2 \cdot 10^{-11}$ М) [70], 1,2-нафтохинона ($7 \cdot 10^{-10}$ М) [71], колхицина ($1.3 \cdot 10^{-10}$ М) [72], 4-аминобензола ($2 \cdot 10^{-10}$ М) [73], 1-метилгуанидина ($3 \cdot 10^{-10}$ М) [74], дигитоксина ($3,2 \cdot 10^{-10}$ М) [75], 5-(3-феноксисульфенилазо)-6-гидрокси-3-циано-1,4-диметил-2-пиридола ($5 \cdot 10^{-10}$ М) [76], типредана ($5 \cdot 10^{-10}$ М) [77] и 1-(*n*-метилфенил)-4-(*n*-метоксифенил)-3-нитрометилазатедин-2-она ($6 \cdot 10^{-10}$ М) [78].

Достижение столь низких пределов обнаружения обусловлено, кроме высокой адсорбции реагента и устойчивости образующегося комплекса, сочетанием адсорбционного концентрирования и каталитических токов [36, 65, 66, 79], повышением длительности концентрирования до 360 с [64, 68, 69, 73, 76] и использованием дифференциальной импульсной вольтамперометрии [60, 70, 72, 74, 76, 78] или квадратно-волновой вольтамперометрии [64, 67].

*В скобках указаны ионы и концентрации, для которых используют данный реагент.

Т а б л и ц а 3

Примеры наиболее низких пределов обнаружения

Реагент	Определяемый ион	Предел обнаружения, М	Литература
3,4-Дигидроксibenзальдегид	Ge(IV)	$1.5 \cdot 10^{-11}$	[60]
7-Иод-8-гидроксихинолин-5-сульфокислота	W(VI)	$2 \cdot 10^{-11}$	[35]
2-(5-Бром-2-пиридилазо)-5-диэтиламинофенол	V(V)	$2.5 \cdot 10^{-11}$	[61]
	Ti(IV)	$3 \cdot 10^{-10}$	[62]
8-Гидроксихинолин	In(III)	$1.5 \cdot 10^{-10}$	[63]
	Cr(VI)	$4.5 \cdot 10^{-10}$	[64]
(3,5-Дибром-2-пиридилазо)-1,3-диаминобензол	Co(II)	$5 \cdot 10^{-11}$	[65]
Ниоксим	Co(II)	$3 \cdot 10^{-10}$	[66]
Антипирилазо III	V(V)	$4 \cdot 10^{-10}$	[67]
Морин	In(III)	$4 \cdot 10^{-10}$	[68]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- van den Berg C.M.G. // Anal. Chim. Acta. 1991. **250**. P. 265.
- Прохорова Г.В., Осипова Е.А., Григорьева Е.В., Иванов В.М. // Деп. ВИНТИ № 4691-В89. 13.07.89.
- Жухарев Ю.Н. Авт. св.1693518 СССР, МКИ5G01 № 27/48. Оpubл. 23.11.91. Бюл. № 43.
- Mo S., Na J., Mo H., Chen L. // Anal. Lett. 1992. **25**. P. 899.
- Adeloju S.B., Fleurdelis P. // Anal. Chim. Acta. 1992. **270**. P. 143.
- Yang Sh., Tian H., Wang D., Tang Y. // J. Electroanal. Chem. 1995. **383**. P. 31.
- Litong J., Ning B., Jiannong Y., Yuzhi F. // Microchim. Acta. 1991. **1**. P. 115.
- Cassidy J.F., Tokuda K. // J. Electroanal. Chem. 1990. **285**. P. 287.
- Wang J., Ozsoz M. // Analyst. 1990. **115**. P. 831.
- Qiao W.-J., Dring H. // Chem. J. Chin. Univ. 1991. **12**. P. 1175.
- Zhang G., Fu Gh. // Talanta. 1991. **38**. P. 1481.
- Sugawara K., Tanaka Sh., Taga M. // Fresenius J. Anal. Chem. 1992. **342**. P. 65.
- Gao Z., Li P., Wang G., Zhao Z. // Anal. Chim. Acta. 1990. **241**. P. 137.
- Sugawara K., Tanaka Sh., Taga M. // J. Electroanal. Chem. 1991. **304**. P. 249.
- Molina-Holgado T., Pinella-Macias J.M., Hernandez-Hernandez L. // Anal. Chim. Acta. 1995. **309**. P. 117.
- Arcos J., Kauffmann J.-M., Patriarcho G.J., Sanchez-Batanero P. // Anal. Chim. Acta. 1990. **236**. P. 299.
- Hernandez P., Vicente J., Hernandez L. // Fresenius J. Anal. Chem. 1989. **334**. P. 550.
- Hernandez P., Vicente J., Gonzalez M., Hernandez L. // Talanta. 1990. **37**. P. 789.
- Ruiz Barrio M.A., Pingarron Carrazon J.M. // Fresenius J. Anal. Chem. 1992. **344**. P.34.
- Gonzalez E., Hernandez P., Hernandez L. // Anal. Chim. Acta. 1990. **228**. P. 265.
- Boyd D., Rodriguez J.R.B., Ordieres A.J.M., Blanco P.T. // Analyst. 1994. **119**. P. 1979.
- Posak J.R., Vazquez M.D., Tascon M.Z., Acuna J.A., Fuente C. de La, Velasko E., Sanchez-Batanero P. // Talanta. 1995. **42**. P. 293.
- Iannelo R.M. // Anal. Lett. 1992. **25**. P. 125.
- Gao Z., Li P., Zhao Z. // Fresenius J. Anal. Chem. 1991. **339**. P. 137.
- Barek J., Kunickova J., Mejstrik V., Petira O., Zima J. // Coll. Czech. Chem. Comm. 1990. **55**. P. 2904.
- Barek J., Civisova D., Ghosh A., Zima J. // Coll. Czech. Chem. Comm. 1990. **55**. P. 379.
- Barek J., Civisova D., Ghosh A., Zima J. // Coll. Czech. Chem. Comm. 1990. **55**. P.1508.
- Barek J., Toubar S., Zima J. // Coll. Czech. Chem. Comm. 1991. **56**. P. 2073.
- Barek J., Malik G., Zima J. // Coll. Czech. Chem. Comm. 1991. **56**. P.595.
- Han J., Chen H., Gao H. // Anal. Chim. Acta. 1991. **252**. P. 47.
- Chen H.-Y., Han J.-Z., Gao (H. Kao) // Fresenius J. Anal. Chem. 1989. **334**. P. 621.
- Setiadji K., Wang J., Chen L., Morton S., Lu J. // Pittsburgh Conf. Presents PITTCO'92. New Orleans, La, March 9-12, 1992: Book Abstr. 1992. P. 1.
- Abu Zuhri A. Z., El-Shahawi M. S., Kamal M. M. // Anal. Chim. Acta. 1993. **282**. P. 133.
- Dostal A., Kalvoda K. // Chem. Listy. 1992. **86**. P. 377.
- Wang J., Taha Z. // Talanta. 1991. **38**. P. 489.
- Maguar B., Elsener H. K., Wunderli S. // Mikrochim. Acta. 1990. **3**. P. 179.
- Попкова Г.Н., Федорова Н.Д., Браинина Х.З. Авт. св.1606922. СССР. МКИ 5G01. № 27/48. опубл. 15.11.90. Бюл. № 42.
- Lu X., Cai Q., Yang X., Shi W. // J. Huazhong (Cent. China) Univ. Sci. and Technol. 1991. **19**. P. 161.
- Sun Y., Lin S., Hu N. // Гаоден сюэсю хуасюэ сюэбао. Anal. Chem. J. Chin. Univ. 1990. **11**. P. 1165.
- Moreira J. C., Fogg A. G. // Port. Electrochim. Acta. 1989. **7**. P. 673.
- Tanaka S., Sugawara K., Taga M. // Anal. Sci. 1990. **3**. P. 475.
- Chen J., Li N. // Beijing daxue xuebao. Acta Sci. Natur. Univ. Pekinensis. 1994. **30**. P. 142.
- Мерян В.Т., Ватаман И.И. // ЖАХ. 1990. **45**. С. 1597.
- Stara V., Kopanica M. // Coll. Czech. Chem. Comm. 1989. **54**. P. 370.
- Sawamoto H., Gamon K. // Anal. Sci. 1989. **5**. P. 775.

46. Zhang Z., Chen Z., Huang X. // Гаоден сюэсяо хуасюэ сюэбао. Anal. Chem. J. Chin. Univ. 1991. **12**. P. 1455.
47. Li N., Xu Y. // Pittsburgh Conf. and Expo Anal. Chem and Appl. Spectrosc., New York. March 5-9,1990; Abstr. Pap.1990. P. 365.
48. Xu J., Li N. //Beijing daxue хуэбао. Acta Sci. Natur. Univ. Pekinensis. 1992. **28**. P. 197.
49. Li Q., Cao X. // Anal. Sci.1991. **7**. P. 619.
50. Tanaka S., Sugawara K., Taga M. // Fresenius J. Anal. Chem. 1990. **338**. P. 898.
51. Zheng K., Li K. //Fresenius J. Anal. Chem. 1989. **334**. P. 629.
52. Luo D., Ye J., Oin S. // Лихуа дзяньянь . Phys. Test. Chem. Anal. 1991. **27**. P. 353.
53. Naumann K., Schmidt W., Holl G. //Fresenius J. Anal. Chem. 1994. **349**. P. 643.
54. Mlakar M., Branica M.// Anal. Chim. Acta. 1991. **247**. P. 89.
55. Petrovska-Jovanovic K., Stojanova K., Jordanski B., Mirceski V. 35th IUPAC Congr. Istanbul 14-19 Aug.1995.Abstr. II Sec.P.1607.
56. Vukomanovic V., Page J. A., Vanloan G.W. // Can. J. Chem. 1991. **69**. P. 1418.
57. Cai X., Pei J., Zhou X., Zhao Z.// Anal. Sci.1991. **7**. P. 109.
58. Li N., He W. // Бейцзин дасюэ сюэбао. Acta Sci. Natur. Univ. Pekinensis. 1991. **27**. P. 163.
59. Yan R., Shi W., Cai Q.// Gaodeng хуехяо хуахун хуэбао. Chem. J. Chim. Univ. 1992. **13**. P. 916.
60. Sun Ch., Gao Q., Xi J., Xu H. //Anal. Chim. Acta. 1995. **399**. P. 89.
61. Lu J., Jin W., Wang Ch. // Anal. Chim. Acta. 1990. **238**. P. 375.
62. Zhou J., Neeb R. // Fresenius J. Anal. Chem. 1990. **338**. P. 905.
63. Sun Ch., Wang J., Hu W., Mao X. // J. Electroanal. Chem. 1991. **306**. P. 251.
64. Neto M. M., Rocha M. M. G. S., Breff Ch. M. //Talanta. 1994. **41**. P. 1597.
65. Cai X., Zhang Y., Pei J., Zhou X., Zhao Z.// Anal. Chem. 1989. **17**. P. 791.
66. Bobrowski A. // Anal. Chem. 1989. **61**. P. 2178.
67. Zhon J., Neeb R. // Fresenius J. Anal. Chem. 1994. **359**. P. 516.
68. Farias P.A.M., Martins C.M.Z., Ohara A.K., Gold J.S. // Anal. Chim. Acta. 1994. **293**. P. 29.
69. Abo el Maali N., Vire J.-C., Patriarche G. J., Chandour M. A.// Analysis. 1989. **17**. P. 213.
70. Barek J., Fogg A. G. // Analyst. 1992. **177**. P. 751.
71. Khodari M., Vire J.-C., Patriarche G. J., Ghandour M.A.// Anal. Lett. 1990. **23**. P.1873.
72. Wang J., Ozsoz M.// Talanta. 1990. **37**. P. 783.
73. Barek J., Kvapilova H., Mejstrik V., Zima J. // Coll. Czech. Chem. Comm. 1990. **55**. P. 2636.
74. Shubietah R.M., Zuhri A. Z. Abu, Fogg A.G.//Anal. Lett. 1994. **27**. P. 1123.
75. Xu Zh., Shi Q., Lu R. // Ханчжоу дасюэ сюэбао. J. Hangzhou. Univ. Natur. Sci. Ed. 1990. **17**. P. 437.
76. Barek J., Svagrova-Hauserova I., Zima J.// Coll. Czech. Chem. Comm. 1989. **54**. P. 2105.
77. Zanoni B.V.M., Moreira J.C., Hindocha R. K., Fogg A. G.//Anal. Chim. Acta. 1994. **289**. P. 233.
78. San Vicente A., Barrio R. J., Arranz J. F., Rubiales G., Aparicio D. //An. Quim. 1991. **87**. P. 159.
79. Sholz F., Lange B., Draheim M., Pelzer J.//Fresenius J. Anal. Chem. 1990. **338**. P. 627.
80. Kapriuk M., Politowicz M., Stryjewska E., Rubel S.//Fresenius J. Anal. Chem. 1995. **351**. P. 693.
81. Stryjewska E., Rubel S., Kusmierczyk K. //Anal. Chem. 1992. **37**. P. 43.
82. Cai Q., Khoo S. B. //Anal. Chim. Acta.1993. **276**. P. 99.
83. Greulach U., Henze G.// Anal. Chim. Acta. 1995. **306**. P. 217.
84. Zima J., van den Berg C.M.G.// Anal. Chim. Acta. 1994. **289**. P. 291.
85. Wang Zh.H., Zhou Sh.-P., Liu Xi-Zh.// Chem. J. Chin. Univ. 1992. **13**. P. 1060.
86. Zhao J., Lin W. //J. Electroanal. Chem. 1988. **256**. P. 181.
87. Goldewska B., Golimowski J., Hulanicki A., van den Berg C.M.G.// Analyst. 1995. **120**. P. 143.
88. Bobrowski A.// Anal. Lett. 1990. **8**. P. 1487.
89. Herra-Melian J.A., Hernandez-Brito J., Gelado-Caballero M. D., Perez-Pena J. // Anal. Chim. Acta. 1994. **299**. P. 59.
90. Westenbrink W.W., Page J.A., van Loon G.W.// Can. J. Chem. 1990. **68**. P. 209.
91. Zhang H., Wollast R., Vire J.-C., Patriarche G.J.// Analyst. 1989. **114**. P. 1597.
92. Jin W., Li X. // Anal. Chim. Acta. 1990. **236**. P. 453.
93. Zhang Z.-Q.//Mikrochim. Acta. 1991. **1**. P. 89.
94. Baoxian Y., Aihua J., Shuxun Y. // Pittsburgh Conf. Anal. Chem and Appl. Spectrosc. PITTCO'95. New Orleans. March 5-10.1995: Book abstr. P.023P.
95. Wang J., Lu J., Olsen K.// Analyst. 1992. **117**. P. 1913.
96. Yang J., Liu G.// J. xiamen. univ. nat. sci. 1990. **29**. P. 318.
97. Lu J., Jin W., Wang S., Sun T.// J. Electroanal. Chem. 1990. **291**. P. 49.
98. Bobrowski A.// Talanta. 1989. **36**. P. 1123.
99. Meng F., Xu S.// Фэнси хуасюэ. Anal. Chem. 1989. **17**. P. 838.
100. Culjak J., Mlakar M., Branica M.// Anal. Chim. Acta. 1994. **297**. P. 427.
101. M. Lucia A.M. Campos, van den Berg C.M.G // Anal. Chim. Acta. 1994. **284**. P. 481.
102. Lu G., Li X., He Z., Hu S.// Talanta. 1991. **38**. P. 947.
103. Wang J., Grabaric B.S.// Mikrochim. Acta. 1990. **1**. P. 31.
104. Wang J., Mannino S.//Analyst. 1989. **114**. P. 643.
105. Shi J., Jiao K.//Anal. Chim. Acta.1995. **309**. P. 103.
106. Schleich Ch., Henze G.// Fresenius. J. Anal. Chem. 1990. **338**. P. 145.
107. Wang L., Ma Ch., Zhang X., Wang J.// Anal. Lett. 1993. **26**. P. 1711.
108. Jiao K., Jin W., Metzner H.// Anal. Chim. Acta. 1992. **260**. P. 35.
109. Торопова В.Ф., Поляков Ю.Н., Мальцева И.И., Микрюкова Е.Е. // ЖАХ. 1990. **45**. С. 273.
110. Karakaplan M., Gucer S., Henze G.// Fresenius J. Anal. Chem. 1992. **342**. P. 189.
111. Zhao Z., Pei J., Zhang X., Zhou X.// Talanta. 1990. **37**. P. 1007.
112. Wang L., Zhang X., Cheng G. // Anal. Lett. 1990. **23**. P. 2233.
113. Navratilova Z., Kapanica M. // Anal. Chim. Acta. 1991. **244**. P. 193.
114. Zhang Z.Q., Cheng Z.-P., Cheng C.-Z. // Talanta. 1991. **38**. P. 1487.
115. Lu Z., Jiaolong S.// Сычуань дасюэ сюэбао. J. Sichuan Univ. Nat. Sci. 1990. **27**. P. 210.
116. Gao Z., Zhao Z. // Фэнси хуасюэ. Anal. Chem. 1990. **18**. P. 623.
117. Gao Z., Zhao Z.// Anal. Chim. Acta. 1990. **241**. P. 161.
118. Markusova K., Fedurco M.// Anal. Chim. Acta. 1991. **248**. P. 109.
119. Sun Ch., Cui Y., Cui S., Gao Q., Xu H., Guo Z.//Jilin daxue ziran kexue хуэбао . Acta Sci. Natur. Univ. jilinensis. 1992. **4**. P. 80.
120. Wang J., Lu J., Yarnitzky C. // Anal. Chim. Acta.1993. **280**. P. 61.
121. Wu Q., Battley G.E.// Anal. Chim. Acta. 1991. **248**. P. 109.
122. Yokoi K., Yamaguchi A., Mizunachi M., Koide T.// Anal. Chim. Acta. 1995. **316**. P. 363.
123. Nugren O., Vaughan G.T., Florence T.M., Morrison G.M.P., Warner I.M., Dale L.S. // Anal. Chem. 1990. **62**. P. 1637.
124. Zhang X., Ma Ch., Wang L., Zhang J.//Talanta. 1995. **42**. P. 897.
125. Wagner W., Sander S., Herze G. // Fresenius J. Anal.

- Chem. 1996. **354**. P. 11.
126. *van den Berg C.M.G., Khan S.H.* // Anal. Chim. Acta. 1991. **231**. P. 221.
127. *Peerzada N., Pessina L.* // Anal. Lett. 1990. **23**. P. 2027.
128. *Joshi A.P.* // J. Heyrovsky Centennial Congr. Polarogr. Organ. Jointly 41st Meet. Jnt. Soc. Electrochem., Prague, Aug. 20–25, 1990. P. 14.
129. *van den Berg C.M.G., Khan S.H., Riley J.P.* // Anal. Chim. Acta. 1989. **222**. P. 43.
130. *Adeloin S.B.* // Anal. Sci. 1991. **7**. P. 1099.
131. *Gao Zh., Siow K.S.* // Anal. Sci. 1996. **12**. P. 267.
132. *Li H., van den Berg C.M.G.* // Anal. Chim. Acta. 1989. **221**. P. 269.
133. *Yokoi K., van den Berg C.M.G.* // Anal. Chim. Acta. 1991. **245**. P. 167.
134. *Vukomanovic D. V., van Loon G.W.* // Fresenius J. Anal. Chem. 1994. **350**. P. 352.
135. *Sanders S., Wagner W., Henze G.* // Anal. Chim. Acta. 1995. **305**. P. 154.
136. *Mlakar M., Branica M.* // Anal. Chim. Acta. 1989. **221**. P. 279.
137. *Percio A.M.F., Aniy K.O.* // Fresenius J. Anal. Chem. 1992. **342**. P. 87.
138. *Wang J., Setiadji R.* // Anal. Chim. Acta. 1992. **264**. P. 205.
139. *Wang J., Olsen K.* // Anal. Chim. Acta. 1994. **293**. P. 91.
140. *Djogic K., Branica M.* // Analyst. 1995. **120**. P. 1989.
141. *Jin W., Shi Sh., Wang J.* // J. Electroanal. Chem. 1990. **291**. P. 41.
142. *Farrías P.A.M., Ohara A.K., Takase J., Ferreira S.L.G., Gold J.* // Anal. Chim. Acta. 1993. **271**. P. 209.
143. *Vega M., van den Berg C.M.G.* // Anal. Chim. Acta. 1994. **292**. P. 19.
144. *Vukomanovic D.V., van Loon G.W.* // Talanta. 1994. **41**. P. 387.
145. *Hernandez-Brito J.J., Perez-Pena J., Gelado-Caballero M.D., Collado-Sanchez C.* // Anal. Chim. Acta. 1993. **284**. P. 405.
146. *Rajab Habeeb A.H., Rodriguez P.J., Hernandez H.L.* // Mikrochim. Acta. 1989. **39**. P. 247.
147. *Hu Sh., Zhao Z.* // Anal. Lett. 1991. **24**. P. 827.
148. *Hernandez P., Gonzalez de la Huerba M.J., Vicente J., Blanko M.H., Hernandez L.* // Fresenius J. Anal. Chem. 1995. **351**. P. 686.
149. *Hernandez L., Hernandez P., Lorenzo E., Gonzalez C., Gonzalez I.* // Fresenius J. Anal. Chem. 1990. **336**. P. 222.
150. *Peng F., Yang Z., Lu R.* // Talanta. 1991. **38**. P. 741.
151. *Carabias M.R., Becerro D.F., Hernandez M.J.* // Port. Electrochim. Acta. 1989. **7**. P. 55.
152. *Jordanoski B., Mirceski V., Stojanova K.* // Anal. Lab. 1993. **3**. P. 255.
153. *Emons H., Werner G., Heineman W.R.* // Analyst. 1990. **115**. P. 405.
154. *Ren M.* // J. Heyrovsky Centennial Congr. Polarogr. Organ. Jointly 41st Meet. Jnt. Soc. Electrochem., Prague. Aug. 20–25, 1990. Tu-122.
155. *Emara K. M., Ali A.M.M., Maali N.A.-E.* // Talanta. 1994. **41**. P. 639.
156. *Peng T., Yang Z., Lu R.* // Anal. Chem. J. Chin. Univ. A. 1990. **11**. P. 1067.
157. *Zapardiel A., Lopez J.A.P., Bermejo E., Hernandez L.* // Anal. Lett. 1991. **24**. P. 233.
158. *Lejeune R.* // Anal. Chim. Acta. 1992. **256**. P. 59.
159. *Bilewicz R., Kublik Z.* // Chem. Anal. 1990. **35**. P. 757.
160. *Zapardiel A., Lopez J.A.P., Bermejo E., Hernandez L.* // Mikrochim. Acta. 1990. **41**. P. 10.
161. *Kir S., Onar A.N., Temizer A.* // Anal. Chim. Acta. 1990. **229**. P. 145.
162. *Ribes A.J., Osteryoung J.* // Pittsburgh Conf. and Expo Anal. Chem and Appl. Spectrosc., N.Y., March 5–9, 1990; Abstr. P. 363.
163. *Zimak J., Zimakova M., Volke J.* // J. Heyrovsky Centennial Congr. Polarogr. Organ. Jointly 41st Meet. Jnt. Soc. Electrochem., Prague., Aug. 20–25, 1990; Tu-171.
164. *Stubauer G., Obendorf D.* // Analyst. 1996. **121**. P. 351.
165. *Dominques B.A., Costa G.A., Garcia G.M.* // Anal. Quim. 1991. **87**. P. 559.
166. *Diez-Caballero R.J.B., de la Torre L.L., Valentin J.F.A., Garcia A.A.* // Talanta. 1985. **36**. P. 501.
167. *Telting-Diaz M., Ordieres A.J.M., Garcia A.C., Blanko P.T., Diamond D., Smyth M.R.* // Analyst. 1990. **115**. P. 1215.
168. *Altinoz S., Over D., Femizer A., Bayraktar J.* // Anal. Lett. 1992. **25**. P. 111.
169. *Yang X., Lin S.-C., Hu N.-F.* // Huaxue xuebao. Acta Chim. Sin. 1994. **52**. P. 111.
170. *Zaxarova O.M., Пнев В.В.* // ЖАХ. 1991. **46**. С. 958.
171. *Kotoucek M., Ruzickova J., Cechova I.* // Mikrochim. Acta. 1989. **2**. P. 109.
172. *Li M., Hu N., Lin S.* // Anal. Lett. 1995. **28**. P. 2203.
173. *Chandour M.A., Ali A.M.M.* // Anal. Lett. 1991. **12**. P. 2171.
174. *Zaxarova O.M., Пнев В.В.* // ЖАХ. 1991. **46**. 1019.
175. *Hernandez L., Hernandez P., Nieto O.* // Analyst. 1994. **118**. P. 1579.
176. *Hu N., Guo H., Lin Sh.* // Talanta. 1994. **41**. P. 1269.
177. *Ogorevc B., Krasna A., Hundik V., Gomiscek S.* // Mikrochim. Acta. 1991. **1**. P. 131.
178. *Altinoz S., Ozer D., Temizer A., Yuksel N.* // Analyst. 1994. **119**. P. 1575.
179. *Altinoz S., Temizer A., Beksac S.* // Analyst. 1990. **115**. P. 373.
180. *Casassas E., Arino C., Esteban M., Redondo A.* // Anal. Lett. 1990. **23**. P. 981.
181. *Zhou G.K., Zhi H., Pan J.H.* // Analyst. 1995. **120**. P. 2237.
182. *Le Gall A.-C., van den Berg C.M.G.* // Anal. Chim. Acta. 1993. **282**. P. 459.
183. *Vire J.C., Lopez V., Patriarche G.J., Christian G.D.* // Anal. Lett. 1988. **21**. P. 2217.
184. *Hart J.P., Wring S.A., Morgan I.C.* // Analyst. 1989. **114**. P. 933.
185. *Hu Sh., Yan Y., Zhao Z.* // Anal. Chim. Acta. 1991. **248**. P. 103.
186. *Peng T.-Z., Yang Z.-J., Lu R.-S.* // Acta Chim. Sin. 1991. **49**. P. 589.
187. *Vodinskiy Y.V., Sidorova T.I., Shilina A. I.* // J. Heyrovsky Centennial Congr. Polarogr. Organ. Jointly 41st Meet. Jnt. Soc. Electrochem., Prague, Aug. 20–25, 1990. Tu-161.
188. *Hernandez P., Galan-Estella F., Hernandez L.* // Anal. Chim. Acta. 1993. **273**. P. 217.
189. *Barek J., Malik G., Zima J.* // Coll. Czech. Chem. Comm. 1991. **56**. P. 595.
190. *Carrai P., Nucci L., Pergola F.* // Anal. Lett. 1992. **25**. P. 163.
191. *Bourque C.L., Duguay M.M., Gautreau Z.M.* // Int. J. Environ. Anal. Chem. 1989. **37**. P. 187.
192. *Stepnic-Swiiatek B., Kublik Z.* // Fresenius J. Anal. Chem. 1989. **334**. P. 626.
193. *Skopalova J., Kotoucek M.* // Fresenius J. Anal. Chem. 1995. **351**. P. 650.
194. *Pedrero M., Calvo V., de Villena F.J.M., Pingarron J.M., Polo L.M.* // Analyst. 1993. **118**. P. 1405.
195. *Coicolea M.A., Arrans J.F., Barrio R.J., Gomez de Balugera Z.* // Fresenius J. Anal. Chem. 1991. **339**. P. 166.
196. *Hernandez P., Lorenzo E., Hernandez L.* // Anal. Chim. Acta. 1990. **238**. P. 383.
197. *Coomer D.C., Tucker D.J., Bond A.M.* // Anal. Chem. 1996. **68**. P. 1267.