

УДК 543.062.546.23

Определение железа в поверхностных и питьевых водах Красноярского региона методами вольтамперометрии

Д.В. Зимонин^{а,б*},
Г.В. Бурмакина^{а,б}, Л.Г. Бондарева^б,
А.М. Жижаев^а, А.И. Рубайло^{а,б}

^а Институт химии и химической технологии СО РАН,
Россия 660049, Красноярск, ул. К. Маркса, 42,

^б Сибирский федеральный университет,
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79¹

Received 05.06.2012, received in revised form 12.06.2012, accepted 19.06.2012

Оптимизированы методики определения железа в природных водах методами циклической (ЦВА) и инверсионной (ИВА) вольтамперометрии. Показано, что метод ЦВА на Pt-электроре может быть использован для одновременного определения ионов железа (II) и (III) при анализе вод с содержанием железа > 0,6 мг/дм³. Установлены оптимальные условия инверсионно-вольтамперометрического определения железа (III) с применением в качестве комплексообразователя пирокатехина на ртутно-пленочном графитовом электроде. Предел обнаружения составляет 0,001 мг/дм³. Методом ИВА определено содержание общего железа в поверхностных и питьевых водах Красноярского региона. Показано, что концентрация железа в пробах поверхностных вод р. Енисей на участках выше и ниже г. Красноярска и в городской водопроводной воде соответствует установленным нормативам. Превышение ПДК железа найдено в пробах воды, отобранных около г. Игарки, и в водопроводной воде г. Лесосибирска.

Ключевые слова: железо, вольтамперометрия, поверхностная, питьевая вода.

Введение

Проблема загрязнения природных вод в настоящее время становится все более актуальной. Одним из загрязнителей, ухудшающих их качество, является железо. Предельно допустимая концентрация (ПДК) суммарного железа в питьевой воде, согласно СанПиН, составляет 0,3 мг/дм³, третий класс опасности [1]. По данным Росгидромета, в последние 3-5 лет в поверхностных водах Красноярского края наблюдается превышение содержания общего железа от 1 до 10 ПДК [2].

* Corresponding author E-mail address: zimond89@mail.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

В природные воды железо поступает как естественным путем при разрушении и растворении горных пород, так и в результате антропогенного загрязнения сточными водами предприятий металлургической, металлообрабатывающей промышленности, сельского хозяйства и др. Содержание железа в поверхностной воде рек составляет десятые доли миллиграмма в 1 дм³, вблизи болот – единицы миллиграммов в 1 дм³. Наибольшие концентрации железа (до нескольких десятков и сотен миллиграммов в 1 дм³) наблюдаются в подземных водах с низкими значениями рН [3]. Вода с содержанием железа выше 1 мг/дм³ непригодна не только для питьевых, но и для технических нужд.

Для определения железа в питьевых, природных и сточных водах используются современные физико-химические методы: спектрометрия, фотометрия, рентгенофлуоресценция, флуориметрия и вольтамперометрия. В таблицах 1 и 2 представлены российские методики определения железа в питьевых, природных и сточных водах, имеющие тот или иной государственный статус. Практически все приведенные в табл. 1 и 2 методы, кроме фотометрии и вольтамперометрии, определяют общее содержание железа в воде. В то же время токсичность, биологическая активность и влияние на свойства других соединений в окружающей среде зависят не только от концентрации, но и от степени окисления металла. Фотометрические методы анализа позволяют определять железо только в одной из степеней окисления (II) или (III) в пробе и не применимы для окрашенных и мутных растворов. Наиболее простыми экспрессными и экономичными методами определения железа в разных степенях окисления в мутных и цветных водных растворах различного происхождения являются вольтамперометрические методы. В таблице 3 обобщены данные по определению железа (II) и (III) методами циклической (ЦВА) и инверсионной вольтамперометрии (ИВА) [4-14].

Цель данной работы – выбор и применение методов вольтамперометрии для определения содержания железа в поверхностных и питьевых водах Красноярского региона.

Экспериментальная часть

Вольтамперометрические измерения проводили на потенциостате-гальваностате IPC-Pro с компьютерным и программным обеспечением (ООО НТФ «Вольта», г. Санкт-Петербург) с циклической и линейной разверткой потенциала по трехэлектродной схеме. В качестве рабочих электродов использовали платиновые электроды диаметром 1 и 15 мм, графитовый или ртутно-пленочный графитовый электрод (РПГЭ) диаметром 6 мм. Электродом сравнения служил насыщенный каломельный электрод, вспомогательным – платиновая спираль, помещенная в стеклянную трубку с пористым фильтром. Для перемешивания раствора в ячейке и удаления кислорода барботировали очищенным аргоном. В качестве фоновых электролитов использовали растворы: 5 мМ соляной кислоты, 1 М цитрата натрия, 0,1 М гидроксида калия, 0,1 М ацетата натрия, а комплексообразователей – 0,5 мМ растворы тартрата натрия, винной кислоты, диметилглиоксима (ДМГ), сульфосалициловой кислоты, о-фенантролина, пирокатехина. Циклические и инверсионные вольтамперограммы регистрировали в диапазонах потенциалов от 0,80 до -0,80 В на платиновом и графитовом электродах – от 0,10 до -1,20 В – на РПГЭ. Скорость изменения потенциала варьировали в пределах 0,01 – 0,50 В/с.

Ртутную пленку на графитовом рабочем электроде получали электролитическим нанесением из 5 мМ раствора нитрата ртути (II) в ацетатной буферной смеси при потенциале осажде-

Таблица 1. Методики определения железа в питьевых, природных и сточных водах, внесенные в государственный реестр методик количественного химического анализа

1 Номер ПНД Ф и название методики	2 Диапазон измерений (мг/дм ³)	3 Разработчик
Атомно-абсорбционная спектроскопия		
Методика измерений массовых концентраций кобальта, никеля, меди, цинка, хрома, марганца, железа и серебра, кадмия и свинца в пробах питьевых, природных и сточной водах методом атомно-абсорбционной спектроскопии ПНД Ф 14.1.2.4.139-98 (издание 2010 г.)	Питьевые, природные воды от 0,01 до 15 вкл. Сточные воды от 0,1 до 500 вкл.	Аналитический центр ЗАО «Роса», г. Москва
Методика измерений массовых концентраций железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в питьевых, поверхностных и сточных водах методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии ПНД Ф 14.1.2.4.214-06 (издание 2011 г.)	0,01-10	ФБУ «Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия» (ФБУ «ФЦАО»), г. Москва
Атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой		
Методика выполнения измерения массовых концентраций металлов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой в питьевой, природной, сточной водах и атмосферных осадках ПНД Ф 14.1.2.4.135-98 (издание 2008 г.)	от 0,05 до 50 вкл.	ЗАО «Центр Исследования и Контроля Воды», г. Санкт-Петербург
Рентгенофлуоресцентный		
Методика выполнения измерений массовой концентрации ванадия, хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, меди, цинка, свинца и висмута в промышленных сточных водах рентгенофлуоресцентным методом ПНД Ф 14.1.43-96.	от 0,005 до 1 вкл.	НПП «Буревестник» ОАО, г. Санкт-Петербург
Методика выполнения измерения массовой концентрации ванадия, висмута, железа, кобальта, марганца, меди, никеля, свинца, хрома, цинка в питьевых, природных и сточных водах рентгенофлуоресцентным методом после концентрирования на целлюлозных ДЭТАТА-фильтрах ПНД Ф 14.1.2.4.130-98 (издание 2010 г.)	от 0,01 до 5,0 вкл.	ООО НПО «Спектрон», г. Санкт-Петербург
Методика выполнения измерений массовой концентрации свинца, цинка, меди, никеля, кобальта, железа, хрома, ванадия, висмута, кадмия, селена, мышьяка в питьевых, природных и сточных водах рентгенофлуоресцентным методом после концентрирования их пирролиндитиокарбаминатных комплексов на фильтрах ПНД Ф 14.1.2.4.208-04 (издание 2010 г.)	0,005-50	ООО НПО «Спектрон», г. Санкт-Петербург

Продолжение табл. 1

1	2	3
Фотометрический метод		
<p>Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой ПНД Ф 14.1.2.4.50-96 (издание 2011 г.)</p>	от 0,05 до 10 вкл.	ФБУ «Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия» (ФБУ «ФЦАО»), г. Москва
<p>Методика выполнения измерений массовой концентрации железа (II) в питьевых, природных и сточных водах фотометрическим методом с о-фенантролином ПНД Ф 14.1.2.4.259-10</p>	от 0,05 до 5 вкл.	Аналитический центр ЗАО «Роса», г. Москва
Флуориметрия (люминесценция)		
<p>Методика измерений массовой концентрации железа общего в пробах питьевых, природных и сточных вод на анализаторе жидкости «Флюораг-02» ПНД Ф 14.1.2.4.29-95 (издание 2010 г.)</p>	от 0,05 до 5 вкл.	ООО «Люмэкс-маркетинг», г. Санкт-Петербург
Вольтамперометрия		
<p>Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм тяжелых металлов и токсичных элементов (Cd, Pb, Cu, Zn, Bi, Tl, Ag, Fe, Se, Co, Ni, As, Sb, Hg, Mn) в почвах, грунтах, донных отложениях, осадках сточных вод методом инверсионной вольтамперометрии ПНД Ф 16.1.2.2.2.3.47-06</p>	Млн ⁻¹ (мкг/кг) от 100 до 1000 вкл.	ООО НПП «Томьаналит», г. Томск

Таблица 2. Другие российские официальные методики определения железа в питьевых и природных водах

Название	Метод анализа	Диапазон измерений (мг/дм ³)	Статус методики
Вода: природная, питьевая, минеральная и сточная. Технологические водные растворы	Вольтамперометрия	0,03-10,0	МУ 31-17/06ФР.1.31. 2007.03300
Методика выполнения измерений массовой концентрации железа общего в водах фотометрическим методом с 1,10-фенантролином	Фотометрия	0,02-4,0	РД 52.24.358-2006
Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации общего железа	Фотометрия	0,01-2,0	ГОСТ 4011-72
Методика выполнения измерений массовой концентрации металлов (Al, Ag, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn) в поверхностных водах суши методом атомной абсорбции с прямой электротермической атомизацией проб	Атомная абсорбция	0,004-200,0	РД 52.24.377-2008

Таблица 3. Вольтамперометрические методы определения железа (II) и (III) в природных водах

Определяемый компонент	Метод	Индикаторный электрод	Фоновый электролит, комплексообразователь	Литература
Fe(III)	ИВА	Стеклоуглеродный	Солохромовый фиолетовый	4
Fe(III), Fe(II)	ЦВА, ИВА	Золотой ансамблевый микроэлектрод, угольно-пастовый	0.002-0.01 М HCl, H ₂ SO ₄ , HClO ₄ , Na ₂ ЭДТА	5,6
Fe(III)	ИВА	Ртутный	H ₃ BO ₃ + NaOH, 0.05 М лимонная кислота	6
Fe(III)	ИВА	Стеклоуглеродный, угольномодифицированный	HCl, ДМГ, пирокатехол	7,8
Fe(III)	ИВА	Толсто пленочный графитсодержащий	Пирокатехол	9
Fe(II)	ИВА	Угольномодифицированный	1,10-фенантролин	10,11
Fe(III)	ИВА, ЦВА	Угольномодифицированный, хлорсеребряный, цеолитмодифицированный	1-нитрозо-2-нафтол, 0.1 М HCl, Трилон Б, 0.1 М HNO ₃ , 0.05 М Na ₂ PO ₄ -KH ₂ PO ₄	12-14

ния ртути -0,40 В в течение 5 мин. Регенерацию ртутной пленки проводили в растворе нитрата ртути (II) при -0,40 В. После каждого эксперимента ртутную пленку удаляли путем электролиза при потенциале 0,40 В в течение 6 мин с применением в качестве фонового электролита 0,5 М раствора соляной кислоты.

При отборе пробы воды консервировали в соответствии с ГОСТом [15] добавлением 2-3 мл соляной кислоты на 1 л образца для сохранения форм нахождения железа в пробе. Для устранения мешающего влияния органических веществ пробы поверхностной и питьевой воды перед анализом подвергали УФ-облучению в течение часа.

Использовали реактивы не ниже ч.д.а. Все растворы готовили с применением деионизованной воды, полученной при помощи системы очистки воды Direct-Q 3 (Millipore, France) с электропроводностью менее $1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$. pH растворов контролировали с помощью pH-метра (Radelkis, Budapest).

Анализ проб поверхностной и питьевой воды на содержание общего железа методом спектрометрии проводили на приборе КРЦКП СО РАН – масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой ICP MS 7500A (Agilent Technologies, USA) (ИСП-МС), в полуколичественном режиме с вычитанием фоновых концентраций и предварительной калибровкой массовой шкалы по фирменным тюновым растворам (по 10 ppb Li, Y, Cs и Tl). Пробы разбавляли в 125 раз 0,3 %-ным раствором азотной кислоты в деионизированной воде.

Результаты и их обсуждение

Выбор и оптимизация вольтамперометрических методик определения железа в поверхностных и питьевых водах

Опробован ряд методик определения железа (II) и (III) в воде методами ЦВА и ИВА с электрохимическим и адсорбционным концентрированием с различными комплексообразователями на платиновом, графитовом и ртутно-пленочном электродах на модельных растворах.

Определение железа (II) и (III) в воде методом циклической вольтамперометрии

Для модельных растворов железа (II) и (III) сняты циклические вольтамперограммы на стационарных платиновых и графитовом электродах с применением в качестве фонового электролита 5 мМ раствора соляной кислоты. Пример циклической вольтамперограммы приведен на рис. 1. Установлено, что метод ЦВА на платиновом и графитовом электродах позволяет одновременно определять концентрацию железа в степенях окисления (II) и (III), однако предел обнаружения железа (II) и (III) на платиновом электроде диаметром 15 мм составляет $0,6 \text{ мг/дм}^3$. Следовательно, этот метод может быть использован для определения ионов железа

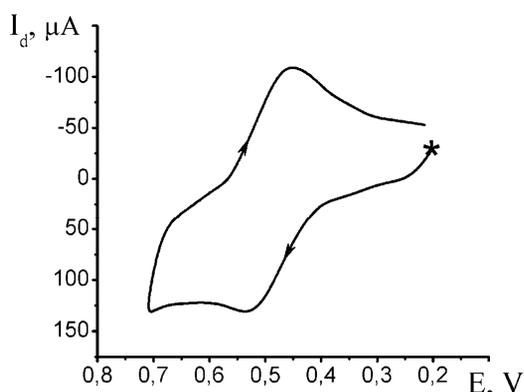


Рис. 1. Циклическая вольтамперограмма железа (II) на Pt-электроде ($d_e = 15 \text{ мм}$, 5 мМ HCl , $C = 10^{-4} \text{ моль/л}$, отн. нас. к.э.), * – начало развертки потенциала

в разных степенях окисления при анализе вод с высоким содержанием железа ($> 0,6$ мг/дм³), например подземных, болотистых, минеральных, сточных, производственных.

Для определения содержания железа в поверхностных и питьевых водах необходимо снизить предел обнаружения до 0,5 ПДК, т.е. меньше 0,15 мг/дм³. Одним из наиболее чувствительных электрохимических методов анализа, позволяющих определять содержание металлов на таком уровне, является метод инверсионной вольтамперометрии с накоплением вещества на электроде.

Определение железа (II) и (III)

в воде методом инверсионной вольтамперометрии

В работе изучены электрохимический и адсорбционный способы накопления железа (II) и (III) на различных электродах. Показано, что при электрохимическом концентрировании ионов железа (II) и (III) на графитовом и платиновом электродах, при различных временах концентрирования (2, 4, 6, 8, 10 мин) и потенциалах накопления: двухвалентного железа $E_s = 0,8$ В, трехвалентного железа $E_s = -0,50, -0,60, -0,75$ В предел обнаружения составляет 0,3 мг /дм³. Следовательно, эта методика позволяет определять содержание железа (II) и (III) на уровне 1 ПДК.

Исследовано адсорбционное концентрирование ионов железа (II) и (III) на ртутно-пленочном графитовом электроде в виде различных комплексных соединений. Для пяти систем: железо (III) – тартрат, железо (II) – ДМГ, железо (III) – сульфосалициловая кислота, железо (II) – о-фенантролин, железо (III) – пирокатехин в интервале от 0,10 до -1,20 В последовательно регистрировали вольтамперограммы фона, фона с добавкой комплексообразователя и комплексообразователя с ионами железа. Показано, что сульфосалициловая кислота, ДМГ, о-фенантролин не образуют электроактивных комплексов с ионами железа (II) и (III) в изучаемой области потенциалов, о чем свидетельствует отсутствие пиков восстановления и окисления комплексов железа с этими комплексообразователями. Электроактивные комплексные соединения железа (III) образуются с тартрат-ионами и пирокатехином. Значения потенциалов полувольты восстановления $E_{1/2}$ этих комплексов равны -0,45 и -0,70 В соответственно. Из двух комплексов наилучшая воспроизводимость и наибольшая высота полувольты наблюдается для комплекса железа (III) с пирокатехином (рис. 2). Поэтому в качестве аналитического сигнала выбран потенциал полувольты этого комплекса.

Для оптимизации аналитического сигнала комплекса железа (III) с пирокатехином изучено влияние рН, концентрации фонового электролита и комплексообразователя, время накопления, потенциала электролиза на его характеристики. Установлены оптимальные условия накопления и определения железа (III) на ртутно-пленочном графитовом электроде с использованием 1 М раствора ацетата натрия в качестве фонового электролита, содержащем 5 мМ раствора пирокатехина и 1 мМ железа (III): рН = 8, концентрирование при $E_s = -0,35$ В в течение 60 с, регистрация пика при $E_p = -0,70$ В. Оценены метрологические характеристики этой методики. Найдено, что предел обнаружения железа (III) составляет 0,001 мг/дм³. Зависимость аналитического сигнала железа (III) от концентрации линейна (с коэффициентом корреляции $> 0,99$) в диапазоне концентраций ионов железа (III) от 0,005 до 0,6 мг/дм³. Относительные стандартные отклонения значений потенциалов полувольты в серии параллельных измерений не превышают 1,4 %, концентрации в серии параллельных измерений составляют от 5 до 12 %.

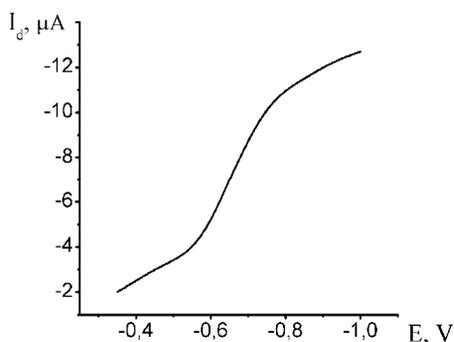


Рис. 2. Вольтамперограмма комплекса железа (III) с пирокатехолом на ртутно-пленочном электроде ($t_{\text{нак}} = 60$ с, $E_s = -0,35$ В, $0,1$ М CH_3COONa , $C = 10^{-5}$ моль/л, отн. нас. к.э.)

Анализ поверхностных и питьевых вод Красноярского региона на содержание общего железа

С использованием оптимизированной методики определено содержание общего железа, находящегося в степени окисления (III), в ряде проб поверхностных и питьевых вод Красноярского края.

Отбор проб поверхностной воды проводили согласно ГОСТ Р 51592-2000 [15] в р. Енисей выше (о. Отдыха, о. Татышев) и ниже (с. Есаулово, д. Ермолаево, пос. Березовка) техногенного влияния г. Красноярска и в г. Игарке (устье р. Игарка, р. Черная, ручей) с мая по июль 2011 г. Пробы водопроводной воды отбирали в Октябрьском районе г. Красноярска и в районе ж/д вокзала г. Лесосибирска в июне 2011 г. Результаты анализа на содержание общего железа методами ИВА и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) приведены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, концентрация железа в пробах воды, отобранных в р. Енисей в разных районах г. Красноярска и на прилегающих к нему территориях, изменяется в пределах от 0,3 до 0,6 ПДК и не превышает установленных нормативов. Превышение ПДК железа наблюдается в пробах воды, отобранных в р. Енисей, Черной речке и в ручье около г. Игарки (от 1,2 до 1,7 ПДК). Повышенное содержание железа связано, вероятно, как с природными, определяемыми составом залегающих горных пород, так и техногенными факторами. Содержание железа в водопроводной воде Октябрьского района г. Красноярска (0,2 ПДК) соответствует санитарным нормам. Превышение ПДК железа наблюдается в водопроводной воде г. Лесосибирска, район ж/д вокзала (1,3 ПДК), которое, вероятно, обусловлено природными факторами, т.к. источником водопроводной воды служат подземные воды.

Для проверки правильности методики использовали метод добавок, который показал отсутствие значимой систематической погрешности. Полученные результаты хорошо согласуются с данными определения содержания общего железа в этих же пробах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Таким образом, метод ИВА при определении общего железа в воде практически не уступает по чувствительности методам спектрометрии, но стоимость оборудования, следовательно, и анализа, на порядок ниже. Используемая в работе методика может быть рекомендована для анализа качества поверхностных и питьевых вод на содержание железа.

Таблица 4. Содержание общего железа в поверхностных и питьевых водах Красноярского региона по данным инверсионной вольтамперометрии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой

Место отбора пробы	ИВА			ИСП-МС
	Содержание железа, мг/дм ³	Добавка железа, мг/дм ³	Содержание железа с добавкой, мг/дм ³	Содержание железа, мг/дм ³
Поверхностная вода, г. Красноярск				
с. Есаулово, берег р. Енисей	0,12±0,01	0,12	0,26±0,03	0,12
Ермалаево, р. Енисей	0,091±0,005	0,10	0,19±0,01	0,089
пос. Березовка, осн. русло р. Енисей	0,12±0,01	0,10	0,22±0,01	0,12
Октябрьский мост, о. Татышев	0,12±0,01	0,12	0,24±0,02	0,12
р. Енисей, о. Отдыха, Абакановская протока	0,17±0,01	0,18	0,36±0,03	0,17
р. Енисей, о. Отдыха, левый берег	0,14±0,01	0,12	0,27±0,02	0,13
Поверхностная вода, г. Игарка				
р. Енисей, фарватер, г. Игарка	0,42±0,02	0,40	0,81±0,07	0,38
устье Игарки, г. Игарка	0,46±0,03	0,45	0,92±0,07	0,41
Черная речка, г. Игарка	0,51±0,03	0,50	1,00±0,08	0,46
ручей, г. Игарка	0,35±0,02	0,35	0,71±0,07	0,32
Водопроводная вода				
г. Лесосибирск (р-н ж/д вокзала)	0,39±0,04	0,35	0,73±0,08	0,37
г. Красноярск (Окт. район)	0,063±0,005	0,08	0,15±0,01	0,06

Выводы

1. Показано, что метод циклической вольтамперометрии на платиновом электроде может быть использован для одновременного определения железа (II) и (III) в природных водах с высоким ($> 0,6$ мг/дм³) содержанием железа.

2. Оптимизирована методика инверсионно-вольтамперометрического определения железа (III) в виде комплекса с пирокатехином на ртутно-пленочном графитовом электроде. Предел обнаружения составляет 0,001 мг/дм³ при продолжительности концентрирования 60 с. Зависимость аналитического сигнала железа (III) от концентрации линейна в диапазоне 0,005 – 0,6 мг/дм³.

3. Определено содержание общего железа в поверхностных и питьевых водах Красноярского региона методом инверсионной вольтамперометрии. Показано, что концентрация железа в пробах поверхностной воды р. Енисей на участках выше и ниже г. Красноярска и в водопроводной воде г. Красноярска не превышает установленных нормативов. Превышение ПДК железа обнаружено в пробах поверхностных вод, отобранных в водоемах около г. Игарки, и в водопроводной воде г. Лесосибирска.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2013 годы», Госконтракт № 16.512.2131 от 25.0211 г.

Список литературы

1. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Минздрав РФ, 2002. С. 104.
2. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2009 г. М.: Росгидромет, 2010. – 177 с. URL: <http://www.meteor.ru/>
3. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / под ред. Т.В. Гусевой. М.: Форум: ИНФРА-М, 2010. 192 с.
4. Будников Г.К. Основы современного электрохимического анализа. М.: Мир, 2003. 592 с.
5. Определение форм Fe(3+) и Fe(2+) методом циклической вольтамперометрии на золотом микроансамблевом электроде / Елесова Е.Е. [и др.] // Аналитика Сибири и Дальнего Востока. Томск, 2009. С. 120.
6. Электрохимический контроль качества вод / Слепченко Г.Б. [и др.] // Известия Томского политехнического института. 2009. Т.314. № 3. С.59.
7. Электроаналитические методы: теория и практика / под ред. Ф.Шольца. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. 326 с.
8. Хустенко, Л.А. Исследование способов подготовки вод для определения железа методом вольтамперометрии // Экоаналитика-2006: 6-я Всерос. конф. по анализу объектов окружающей среды. Самара, 2006. С. 291.
9. Electrochemical Determination of the Fe(III)/Fe(II) Ratio in Archaeological Ceramic Materials Using Carbon Paste and Composite Electrodes / Domenech-Carbo A. [и др.] // Electroanalysis. 2002. Vol. 14. P. 685-696.
10. Стожко Н.Ю., Инжеватова О.В., Колядина Л.И. Определение железа в природных и питьевых водах методом инверсионной вольтамперометрии // Журнал аналитической химии. 2005. Т.60. № 7. С. 747–752.
11. Jezek J., Fogg A.G. Hexacyanoferrate (III) as a mediator in the determination of total iron in potable waters as iron (II) 1,10-phenanthroline at a single use screen printed carbon sensor device // Talanta. 2007. V. 71. I. 1. P. 202–207.
12. Annette P., Aldrich, Constant M. G. van den Berg Determination of Iron and Its Redox Speciation in Seawater Using Catalytic Cathodic Stripping Voltammetry // Electroanalysis. 1998. Vol. 10. P. 369-373.
13. Apilux A., Dungchai W., Siangproh W., Praphairaksit N., Henry C. S., Chailapakul O. Lab-on-Paper with Dual Electrochemical Colorimetric Detection for Simultaneous Determination of Gold and Iron // Anal.Chem. 2010. V. 82. P. 1727-1732.
14. Jiang Y., Zou M., Yuan K. The Electrochemical Behavior of Iron(III) Incorporated in Zeolite Y-Modified Electrode and the Catalytic Oxidation of Ascorbic Acid // Electroanalysis. 1999. V. 11. P. 254-258.
15. ГОСТ Р 51592-2000 Вода питьевая. Отбор проб. М.: Изд-во стандартов, 2001. С. 7.

Iron Determination in Surface and Drinking Waters of the Krasnoyarsk Region by Voltammetric Methods

Dmitri V. Zimonin^{a,b}

**Galina V. Burmakina^{a,b}, Lydia G. Bondareva^b,
Anatoliy M. Zhizhaev^a and Anatoliy I. Rubaylo^{a,b}**

^a *Institute of Chemistry and Chemical Technology,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
42 K. Marks st., Krasnoyarsk, 660049 Russia*

^b *Siberian Federal University
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

The techniques for iron determination in natural waters using cyclic (CVA) and stripping (SVA) voltammetry were optimized. It was shown that CVA method on the Pt-electrode can be used to determine simultaneously the iron (II) and (III) in water analysis with iron concentration > 0.6 mg/dm³. The optimum conditions stripping voltammetric determination of iron (III) using catechol as an complexing agent on the mercury film graphite electrode were found. The detection limit is 0.001 mg/dm³. SVA method was used for total iron content to be determined in drinking and surface waters of the Krasnoyarsk region. It was shown that iron concentration in samples of surface water in the two sites of the Yenisei River, upstream and downstream of Krasnoyarsk City and the city tap water meets the standards. It was found that the iron concentration in samples of surface water in Igarka City and tap water of Lesosibirsk City exceeds the antipollution standarts.

Keywords: iron, voltammetry, drinking, surface water.
