

МЕТАЛЛОКСИДНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ОКСИДИРОВАНИЕМ, ДЛЯ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЩЕЛОЧНОСТИ И ХЛОРИДОВ В ТЕХНОГЕННЫХ ВОДАХ

**Г.И. Маринина, А.С. Лапина, М.С. Васильева,
О.Д. Арефьева, Н.Б. Кондриков**

*Школа естественных наук,
Дальневосточный федеральный университет, 690950,
г. Владивосток, ул. Суханова, 8.
lapina.as@dvfu.ru*

Поступила в редакцию 1 апреля 2013 г.,
после исправления – 7 мая 2013 г.

Изучено поведение в кислотно-основном и осадительном потенциометрическом титровании металлоксидных электродов, сформированных методом плазменно-электролитического оксидирования в тетраборатном электролите, дополнительно модифицированных платиной. Показана возможность применения полученных электродов для анализа техногенных вод на примере потенциометрического определения щелочности и хлоридов. Отмечены преимущества полученных металлоксидных систем, вследствие их полифункциональности и возможности с помощью одного электрода определять два гидрохимических показателя.

Ключевые слова: металлоксидные электроды, плазменно-электролитическое оксидирование, потенциометрия, гидрохимические показатели.

Маринина Галина Ильинична – к.х.н., профессор кафедры физической и аналитической химии Школы естественных наук ДВФУ.

Область научных интересов: электроаналитическая химия, электрохимические сенсоры.

Автор 75 научных публикаций.

Лапина Антонина Сергеевна – аспирант кафедры физической и аналитической химии Школы естественных наук ДВФУ.

Область научных интересов: электроаналитическая химия, электрохимические сенсоры, плазменно-электролитическое оксидирование.

Автор 10 научных публикаций.

Васильева Марина Сергеевна – к.х.н., доцент кафедры физической и аналитической химии Школы естественных наук ДВФУ.

Область научных интересов: функциональные покрытия, плазменно-электролитическое оксидирование, гетерогенный катализ.

Автор 75 научных публикаций.

Арефьева Ольга Дмитриевна – к.пед.н., доцент кафедры химических и ресурсосберегающих технологий Школы естественных наук ДВФУ.

Область научных интересов: очистка сточных вод, мониторинг окружающей среды.

Автор 70 научных публикаций.

Кондриков Николай Борисович – д.х.н., профессор, член-корреспондент РАЕН, зав. каф. физической и аналитической химии Школы естественных наук ДВФУ. Заслуженный работник Высшей школы Российской Федерации.

Область научных интересов: электрохимия, катализ, электрохимический катализ.

Автор более 100 научных публикаций.

Введение

Теплоэнергетическая отрасль является одной из самых водоемких в промышленности. Вместе со стоками в природные водные объекты сбрасывается большое количество взвешенных веществ, нефтепродуктов, хлоридов, сульфатов, солей тяжелых металлов. После закрытия нерентабельных угольных шахт также возникают различные экологические проблемы, одной из которых является образование зон с оседанием поверхности и подтоплением, приводящим к загрязнению поверхностных вод и почвы.

Первоочередной задачей в промышленных зонах ГРЭС и ликвидированных угольных шахт является разработка программ мониторинга, включающих совершенствование методик определения гидрохимических показателей качества техногенных вод сложного состава.

Электрохимические методы анализа отличаются относительной простотой и невысокой стоимостью аппаратуры, возможностью измерений в полевых условиях. Создание высокоселективных сенсоров, необходимых для анализа многокомпонентных систем, остается сложной задачей [1]. Возможен путь решения проблемы селективности путем использования одного полупроводникового сенсора, обладающего откликом к ряду ионов, для определения нескольких компонентов в сложных системах с применением известных методов потенциометрического титрования. Перспективными электродными системами для анализа жидких сред являются металлоксидные полупроводниковые электроды вследствие удачного сочетания свойств: высокая твердость, химическая устойчивость в агрессивных средах, особенности строения их поверхности – все это открывает широкие возможности применения этих материалов для создания электрохимических сенсоров [2-4].

Поведение металлоксидного полупроводникового электрода в потенциометрии определяется свойствами его оксидной пленки: химическим составом, электропроводностью или ионной проводимостью, строением поверхности и другими факторами [2, 4]. Авторами [5] показана возможность применения электродов данного типа в качестве индикаторных в потенциометрическом титровании. В связи с этим представляет интерес изучение электроаналитических свойств металлоксидных электродов, полученных нанесением оксидов с заданными свойствами на различные основы. В частности, представляют интерес пленки диоксида титана, который является полупроводником n-типа и характеризуется высокой диэлектрической постоянной, химической устойчивостью в агрессивных средах. Тонкие пленки TiO_2 могут быть использованы как сенсоры на различные ионы [6-9].

Оксидные слои, имеющие разнообразный химический состав и хорошее сцепление с основой, могут быть получены на поверхности вентильных

металлов, в том числе на титане, простым и одностадийным методом плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО) [10-14]. ПЭО сопровождается включением в покрытия компонентов электролита и образованием при определенных режимах высокоразвитой (высокопористой, дефектной) поверхности, которая в ряде случаев может обладать высокими сорбционными и ионообменными свойствами.

В зависимости от состава электролита и условий оксидирования на поверхности титана методом ПЭО может быть получен оксид титана в рутильной или анатазной модификациях [10, 12, 15]. В работе [16] показана возможность использования оксидных слоев на титане, сформированных методом ПЭО в фосфатном электролите, в качестве индикаторных электродов при осадительном потенциометрическом титровании растворов фосфатов ионами серебра. Установлено наличие рН-функции и усиление «фосфатной» функции с увеличением содержания фосфора в покрытии. Авторы выявили индикаторные свойства ПЭО-титановых образцов при потенциометрическом кислотнo-основном титровании.

В [15] показано, что в боратном водном электролите на поверхности титана методом ПЭО формируются пленки, содержащие TiO_2 в модификации рутила, термодинамически устойчивой фазы, обладающей высокой стабильностью в химически агрессивных средах. Такие оксидные слои обладают низкой электрической проводимостью как на воздухе, так и в 3 %-м NaCl. Согласно [17] увеличение электронной проводимости ПЭО-слоев на титане может быть достигнуто нанесением на данные структуры как гидроксохлорида рутения, так и в смеси его с хлоридом титана. В результате были получены электроды с хорошими электрокаталитическими и эксплуатационными свойствами. В то же время известно, что оксидно-титановые пленочные электроды, легированные микроколичеством платинового металла, являются эффективными катализаторами многих электрохимических процессов [18, 19]. Достоинством таких электродных систем является относительно небольшая стоимость из-за низкого содержания благородного металла и высокая электрокаталитическая активность, иногда превышающая активность платинового электрода за счет высокой дисперсности платиновых частиц в оксидно-титановой матрице.

Таким образом, комбинацией методов ПЭО и нанесения на формируемые слои с последующим термическим разложением солей благородных металлов, могут быть сформированы электродные системы, перспективные в качестве индикаторных.

Целью настоящей работы являлось исследование некоторых электроаналитических свойств металлоксидных электродов, сформированных методом ПЭО в тетраборатном электролите, дополнительно модифицированных платиной, и

использование их для определения некоторых гидрохимических показателей качества техногенных вод.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Электроды изготавливали из листового титана марки ВТ1-0 в виде пластинок размером $2.5 \times 1.0 \times 0.1$ см³. Для снятия поверхностного слоя металла и стандартизации поверхности образцы химически полировали в смеси концентрированных кислот $\text{HF} : \text{HNO}_3 = 1 : 3$ при температуре $t = 60-80$ °С в течение 2-3 с.

Оксидные пленки на титане (Ti/TiO_2) получали методом ПЭО в 0.1 М водном растворе $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ в гальваностатическом режиме ($i = 0.2$ А·см⁻²) в течение 10 мин, аналогично [15]. Полученные Ti/TiO_2 системы в течение 1 ч выдерживали в водном растворе H_2PtCl_6 с концентрацией $3 \cdot 10^{-1}$ моль·л⁻¹, подсушивали и прокаливали в муфельной печи при 500 °С в течение 4 ч ($\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{Pt}$). Подбор оптимальной концентрации модифицирующего раствора проводили эмпирическим путем.

При изучении рН-чувствительности ПЭО-слоев на титане использовали буферные растворы, приготовленные смешением фосфорной, борной и уксусной кислот, с последующим добавлением раствора NaOH для создания необходимого значения рН. Для потенциометрического титрования в качестве титрантов применяли предварительно стандартизированные растворы NaOH , AgNO_3 .

Исследование электродов проводили в отсутствие внешней поляризации в условиях потенциометрического титрования с одним индикаторным электродом, а также в прямой рН-метрии. Конечную точку титрования находили по скачку потенциала, отвечающему моменту завершения химической реакции.

Потенциометрические измерения осуществляли с использованием ионо- и рН-метра Radelkis OP-265/1. В качестве рабочих электродов использовали стеклянный (СЭ), серебряный (Ag) и ПЭО-слои на титане; сравнения – хлоридсеребряный ЭВЛ-1-М-1.

Титрование проводили с помощью автоматической бюретки OP-930/1 в стеклянных химических стаканах емкостью 50 мл. Перемешивание осуществляли с помощью магнитной мешалки. Значение потенциала измеряли после установления его стационарного значения.

В качестве объектов исследования были использованы сточные воды Партизанской ГРЭС (воды шламового озера) и шахтные воды шахты «Глубокая» (г. Партизанск, Приморский край, РФ). Потенциометрическое определение щелочности (A/k , мг-экв·л⁻¹) и содержания хлоридов (C_{Cl} , мг·л⁻¹) в исследуемых водных объектах проводили в сравнении с методиками визуального титрования в соответствии с ГОСТ Р 52963-2008 и ГОСТ 4245-72.

Изучение строения поверхности электродов проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Hitachi S-5500 (Hitachi, Япония).

Одновременно на приборе для определения элементного состава поверхности пленок применяли рентгеноспектральный анализ (РСА). В методе РСА использовали микрозондовый рентгеноспектральный анализатор SUPERPROBE JXA%8100 фирмы JEOL. Данные получены как средние значения при анализе поверхности 1×1 мкм². Глубина анализируемого слоя составляла около 2–5 мкм.

Результаты и их обсуждение

Использование в потенциометрической рН-метрии

Исследование поведения ПЭО-электродов в прямой рН-метрии и кислотно-основном титровании проводили в сравнении с СЭ в интервале рН = 2.09÷10.00. Линейная зависимость $E = f(\text{pH})$ для исследуемых металлоксидных электродов (Ti/TiO_2 , $\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{Pt}$), также как и для СЭ, наблюдалась во всем изученном интервале рН (рис. 1).

Параметры уравнения $E = a - b(\text{pH})$ и коэффициенты корреляции этих зависимостей приведены в табл. 1. Для СЭ наклон линейной зависимости $E = f(\text{pH})$ близок к нернстовскому и составляет 57.5 мВ/рН, коэффициент корреляции $R^2 = 0.99$. Коэффициенты «b» в уравнениях $E = f(\text{pH})$ для металлоксидных электродов ниже, что характерно для системы металл/оксид и может быть связано с различием в стехиометрическом составе оксидов

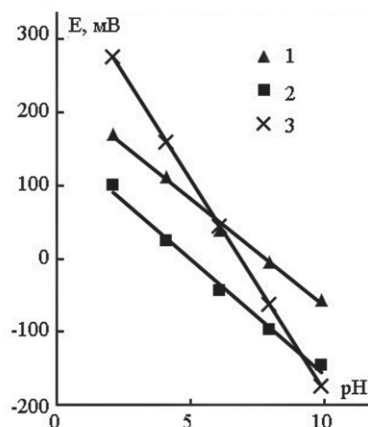


Рис. 1. Зависимости $E = f(\text{pH})$ электродов Ti/TiO_2 (1), $\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{Pt}$ (2), СЭ (3)

Таблица 1

Параметры уравнения $E = a - b(\text{pH})$ ($n = 3$; $P = 0.95$)

Электрод	E, мВ		
	a	b	R ²
Ti/TiO ₂	227.4	-29.1	0.98
Ti/TiO ₂ /Pt	157.1	-31.5	0.99
СЭ	394.6	-57.5	0.99

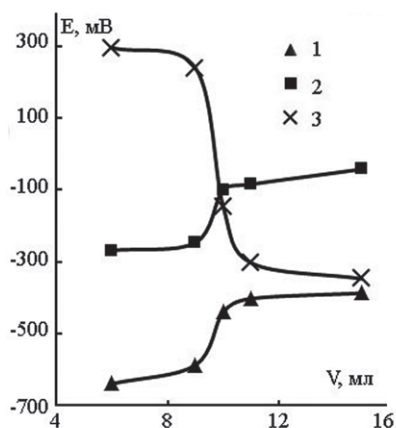


Рис. 2. Интегральные кривые кислотно-основного титрования 0.1 н HCl - 0.1 н NaOH. Электроды Ti/TiO₂ (1), Ti/TiO₂,Pt (2), СЭ (3)

исследуемых металлов, их полупроводниковыми свойствами, способом получения и состоянием поверхности.

На рис. 2 приведены интегральные кривые кислотно-основного титрования для исследуемых электродов. Наибольший скачок потенциала при потенциометрическом кислотно-основном титровании, как и следовало ожидать, получен для СЭ. Для металлоксидных электродов скачки потенциала меньше, тем не менее, достаточны по величине в точке эквивалентности и составляют ~500 мВ/мл. Таким образом, ПЭО-слои на титане проявляют наиболее характерную для металлоксидных электродов рН-функцию как в прямой потенциометрии, так и в кислотно-основном титровании и, очевидно, могут быть использованы в качестве индикаторных электродов при анализе реальных объектов. Следует отметить, что существенными недостатками стеклянного электрода являются высокое сопротивление и хрупкость, необходимость предварительной обработки и вымачивания в растворе анализируемого иона, чего лишены твердофазные ПЭО-электроды.

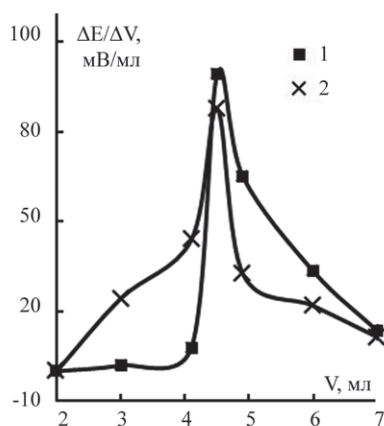


Рис. 3. Дифференциальные кривые кислотно-основного титрования вод шламового озера: Ti/TiO₂,Pt (1), СЭ (2)

На рис. 3 представлены кривые потенциометрического титрования с использованием исследуемых металлоксидных и стеклянного электродов вод шламового озера Партизанской ГРЭС. Как видно из рисунка, исследуемые электроды дают достаточный скачок потенциала в точке эквивалентности. Можно отметить, что величина аналитического сигнала для Ti/TiO₂,Pt электрода больше по сравнению со СЭ. Возможно, это связано с загрязнением вод шламового озера различными веществами, например, соединениями кремния, которые могут взаимодействовать с материалом мембраны и влиять на показания электрода, уменьшая величину аналитического сигнала. Таким образом, использование Ti/TiO₂,Pt электрода для определения щелочности в указанных водных объектах более предпочтительно. Согласно данным табл. 2 значения величины щелочности, определенные потенциометрическим титрованием с использованием СЭ и Ti/TiO₂,Pt электрода, сопоставимы с результатами визуального титрования: $F_{\text{экс}}$ для СЭ и Ti/TiO₂,Pt составляет соответственно 2.43 и 2.56; $t_{\text{экс}}$ равен 0.32 для стеклянного электрода и 2.21 для Ti/TiO₂,Pt.

Потенциометрическое осадительное титрование

Индикаторные свойства ПЭО-слоев на титане изучали также в осадительном потенциометрическом титровании (рис. 4). Для сравнения проводили титрование с Ag-электродом. Для всех исследуемых электродов получен достаточный по величине аналитический сигнал. Механизм действия металлоксидных электродов в данном типе реакций обусловлен модифицированием поверхности электрода адатомами электроположительного металла – серебра, что было показано для классических металлоксидных [2] и полупроводниковых электродов [1]. Значения скачков потенциалов

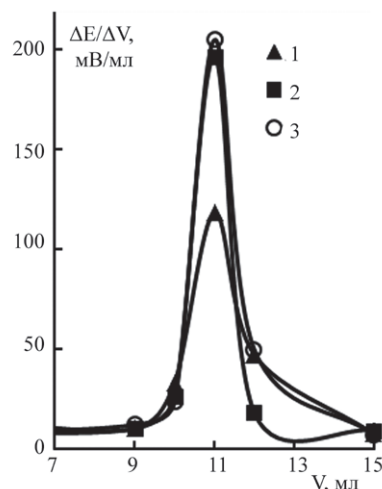


Рис. 4. Дифференциальные кривые осадительного титрования 0.05 н NaCl 0.05 н AgNO₃. Электроды Ti/TiO₂ (1), Ti/TiO₂,Pt (2), Ag (3)

Таблица 2

Результаты определения щелочности и хлоридов в техногенных водах ($n = 10$, $P = 0.95$)

Способ анализа	Индикаторный электрод	Alk, мг-экв·л ⁻¹	C _{Cl⁻} , мг·л ⁻¹
Потенциометрическое титрование	Ti/TiO ₂ ,Pt	9.90 ± 0.40	16.91 ± 0.68
	Ag	-	16.90 ± 0.65
	СЭ	9.68 ± 0.41	-
Визуальное титрование	-	9.94 ± 0.26	17.02 ± 0.02

сопоставимы с таковыми для традиционно используемого в осадительном титровании Ag-электрода. Анализ результатов позволяет сделать заключение о возможности применения изученных электродов в потенциометрической аргентометрии.

На рис. 5 представлены кривые осадительного титрования шахтной воды шахты «Глубокая», (г. Партизанск) раствором AgNO₃ с модифицированным Ti/TiO₂,Pt и серебряным электродами.

Как видно из рисунка, серебряный и Ti/TiO₂,Pt электроды дают скачок потенциала в точке эквивалентности. Следует отметить значительный аналитический сигнал в реальном объекте для электрода, полученного методом ПЭО, по сравнению с серебряным, что, возможно, связано с влиянием компонентов шахтной воды на показания серебряного электрода, приводящему к занижению аналитического сигнала. Согласно данным табл. 2, содержание хлоридов, определенное потенциометрическим титрованием с использованием как Ag, так и Ti/TiO₂,Pt электродов, сопоставимы между собой и с результатами визуального титрования. Проверка результатов по t - и F -критерию показала отсутствие систематической погрешности ($F_{\text{экс}}(\text{Ti/TiO}_2, \text{Pt}) = 1.68$, $F_{\text{экс}}(\text{Ag}) = 1.91$, $t_{\text{экс}}(\text{Ti/TiO}_2, \text{Pt}) = 1.51$, $t_{\text{экс}}(\text{Ag}) = 1.40$).

Таким образом, электроды на основе ПЭО-слоев на титане, в том числе модифицированные платиной, могут быть применены в качестве индикаторных электродов при потенциометрическом определении хлоридов в техногенных водах. По сравнению с методом визуального титрования с индикатором, представленная методика более объективна, проста в инструментальном плане, надежна и удобна при проведении анализа в полевых условиях, а также для мониторинга состояния техногенных вод. Полученные данные по щелочности и хлоридам для техногенных вод находятся в пределах установленных нормативов для природных вод [20, 21].

Состав и морфология поверхности ПЭО-слоев на титане

Состояние поверхности твердых электродов является одним из факторов, влияющих на характеристики электродных процессов, и, соответственно, на параметры аналитических сигналов при проведении анализа электрохимическими методами.

На СЭМ-снимках (рис. 6) видно, что модифицирование Ti/TiO₂ электродов платиной заметно влияет на морфологию поверхности. На поверхности Ti/TiO₂/Pt электрода наблюдаются в небольшом количестве наноразмерные частицы шарообразной формы (рис. 6, б; точка 1) и агломераты из таких частиц (рис. 6, б; точка 2), расположенные во впадинах поверхности. Согласно данным элементного анализа в составе агломератов обнаружено, % ат.: С до 17.2, О – 72.1, Ti – 8.8, Pt – 1.9. В составе отдельных частичек обнаружено, % ат.: С до 10.6, О – 64.9, Ti – 24.5, Pt – 0.03. Таким образом, очевидно, что платина преимущественно находится на поверхности модифицированных образцов в виде наночастиц и их агломератов, присутствие которых в ряде случаев приводит к улучшению их электроаналитических свойств в виде увеличения скачка потенциала при потенциометрическом титровании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом ПЭО получены оксидные слои на титане, в том числе модифицированные платиной, проявляющие характерные для металлоксидных электродов электроаналитические свойства. Показана возможность применения полученных электродов для анализа техногенных вод на примере потенциометрического определения щелочности и хлоридов. Установлена корреляция между морфологией поверхности и электроаналитическими

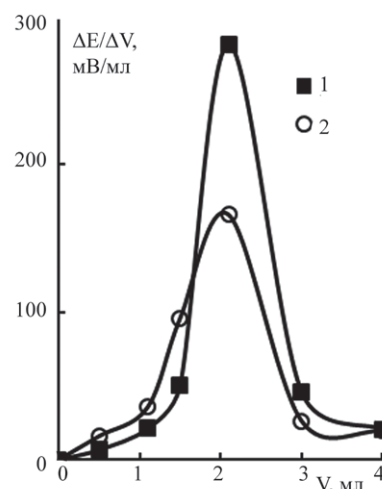


Рис. 5. Дифференциальные кривые осадительного титрования шахтной воды раствором 0.03 н AgNO₃: Ti/TiO₂,Pt (1), Ag (2)

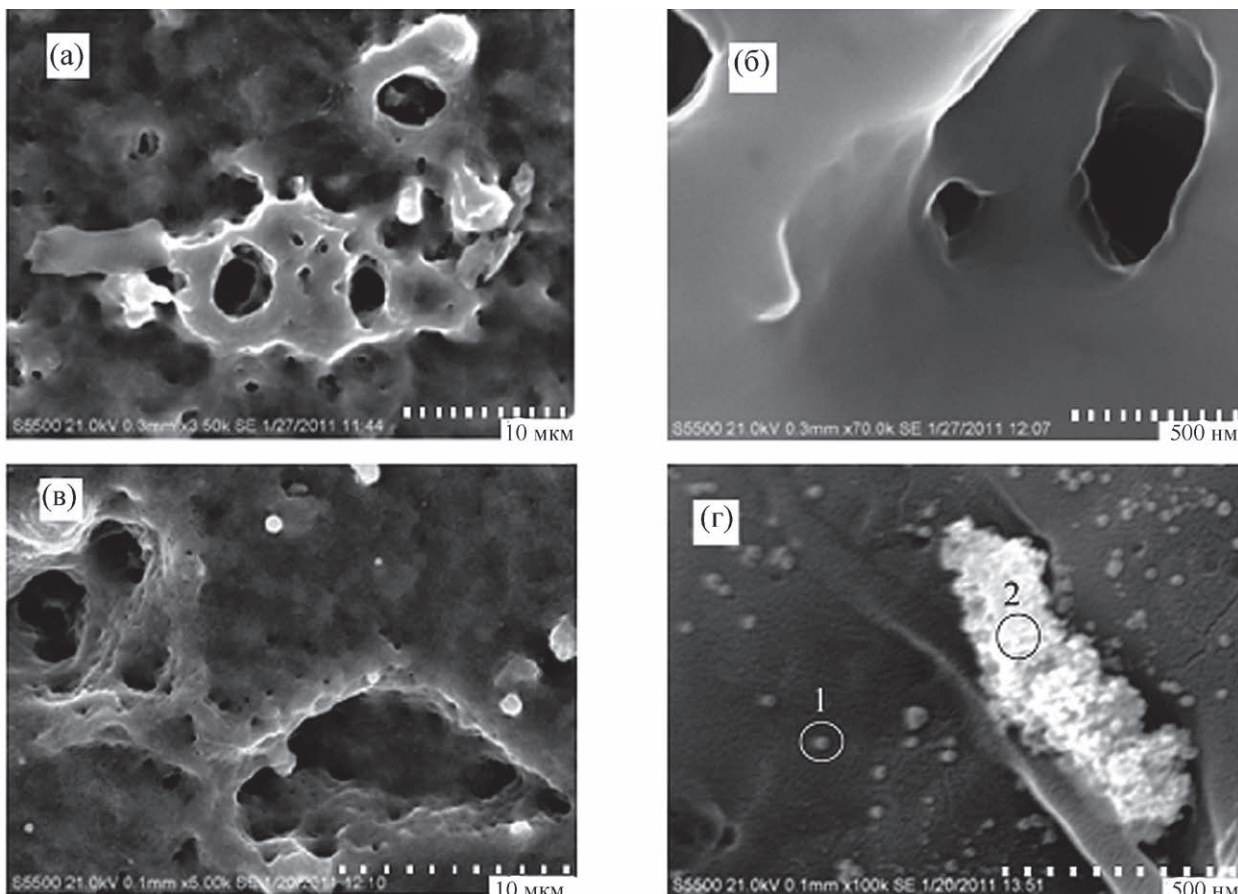


Рис. 6. СЭМ-изображения поверхности исследуемых электродов: а), б) – Ti/TiO_2 ; в), г) – $\text{Ti/TiO}_2/\text{Pt}$

свойствами электрода. Следует отметить преимущества полученных металлоксидных систем, вследствие их полифункциональности, возможности с помощью одного электрода определять в данном случае два гидрохимических показателя качества техногенных вод – щелочности и содержания хлорид - ионов.

Исследование выполнено при поддержке Программы «Научный фонд» ДВФУ. Грант 12-03-13003-13.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГК по ЦКП №16.552.11.7059.

ЛИТЕРАТУРА

1. Химические сенсоры и их системы / Ю.Г. Власов и [др.] // Ж. аналит. химии. 2010. Т. 65. № 9. С. 900-919.
2. Бурахта В.А. Электрохимические сенсоры на основе полупроводниковых материалов в анализе объектов окружающей среды: Дис... докт. хим. наук. Уральск, 2003. 311 с.
3. Кимстач В.А. Металлические электроды с модифицированной поверхностью в осадительном и комплексометрическом потенциометрическом титровании: Дис... докт. хим. наук. Ростов-на-Дону, 1986. 428 с.
4. Маринина Г.И., Тырин В.И. Поведение висмутового металлоксидного электрода при потенциометрической

- индикации реакции комплексообразования // Ж. аналит. химии. 1982. Т. 38, № 11. С. 1948-1953.
5. Using of $\text{Ti/Co}_3\text{O}_4/\text{PbO}_2/(\text{SnO}_2 + \text{Sb}_2\text{O}_3)$ modified electrode as indicator electrode in potentiometric and conductometric titration in aqueous solution / N.A. Ghalwa et al. // J. of Electroanalyt. Chem. 2012. V.664. P.7-13.
6. Ludwig C., Schindler P.W. Surface Complexation on TiO_2 // J. of Colloid and Interface Scien. 1995. V.169. P. 284-299.
7. Shin P.K. The pH-sensing and light-induced drift properties of titanium dioxide thin films deposited by MOCVD // App. Surf. Scien. 2003. V. 214. P. 214-221.
8. Fog A., Buck R.P. Electronic semiconducting oxides as pH sensors // Sens. Actuators. 1984. V.5 P.137-146.
9. Molecularly imprinted TiO_2 thin film using stable ground-state complex as template as applied to selective electrochemical determination of mercury / Z.H. Liu et al. // Talanta. 2006. V. 68. P. 1120-1125.
10. Гордиенко П.С., Гнеденков С.В. Микродуговое окисление титана и его сплавов. Владивосток: Дальнаука, 1997. 185 с.
11. Черненко В.И. Получение покрытий анодно-искровым электролизом. Л.: Химия, 1991. 128 с.
12. Синтез пленок химических соединений на титане в условиях микроплазменных разрядов / О.А. Хрисанфова и [др.] // Ж. неорган. химии. 1995. Т. 40, № 4. С.558-562.
13. Гордиенко П. С., Руднев В.С. Электрохимическое формирование покрытий на алюминии и

его сплавах при потенциалах искрения и пробоя. Владивосток: Дальнаука, 1996. 233 с.

14. Plasma electrolysis for surface engineering / A.L. Yerokhin et [al.] // Surf. Coat. Technol. 1999. V. 122 P. 73-93.

15. Фазовый состав микродуговых покрытий на титане в боратном электролите / М.С. Васильева и [др.] // Ж. прикл. химии. 2002. Т. 75. № 4. С. 583-586.

16. Электроданалитические свойства некоторых пленочных оксидных электродов / Г.И. Маринина и [др.] // Ж. аналит. химии. 1996. Т. 51. № 9, С. 975-979.

17. Влияние плазменно-электролитической обработки на состав и свойства оксидно-рутениево-титановых анодов / М.С. Васильева и [др.] // Ж. прикл. химии. 2004. Т. 77. № 12. С. 1968-1973.

18. Коровин Н.В., Касаткин Э.В. Электродокатализаторы электрохимических устройств // Электрохимия. 1993. Т.29. № 4. С. 448-460.

19. Влияние способа получения катализатора Pt_{мет}/Ti на некоторые свойства активной фазы / Д.В. Малевич и [др.] // Ж. прикл. химии. 1997. Т.70, № 8. С. 1330- 1333.

20. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 г. № 20. Введ. 09.02.2010 г. 153 с.

21. ГН 2.1.5.1315-03. Гигиенические нормативы: Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Введ. 01.07.2003. 248 с.

METAL-OXIDE ELECTRODES FABRICATED USING PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION FOR POTENTIOMETRIC DETERMINATION OF ALKALINITY AND CHLORIDES IN MAN-MADE WASTE WATERS

G.I. Marinina, A.S. Lapina, M.S. Vasilyeva, O.D. Arefyeva, and N.B. Kondrikov

*School of Natural Sciences, Far East Federal University,
8, Sukhanova Str., Vladivostok 690950, Russia
lapina.as@dvfu.ru*

The behavior of metal-oxide electrodes formed using the method of plasma electrolytic oxidation in a tetraborate electrolyte and additionally modified by platinum at acid-base and precipitation potentiometric titration has been investigated. The possibility of application of the fabricated electrodes in analysis of man-made waste waters on the example of potentiometric determination of alkalinity and chlorides content has been demonstrated. The advantages of the fabricated metal-oxide systems related to their polyfunctional character and the possibility to determine two hydrochemistry parameters using a single electrode have been shown.

Key words: metal-oxide electrodes, plasma electrolytic oxidation, potentiometry, hydrochemistry parameters.