

Для цитирования:

Ахмедов М.А., Хидиров Ш.Ш., Капарова М.Ю., Хибиев Х.С. Электрохимический синтез метансульфоукислоты из водных растворов диметилсульфона. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология*. 2016. Т. 59. Вып. 12. С. 100–106.

For citation:

Akhmedov M.A., Khidirov Sh.Sh., Kaparova M.Yu., Khibiev Kh.S. Electrochemical synthesis of methanesulfonic acid from aqueous solutions of dimethyl sulfone. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 12. P. 100–106.

УДК: 544.653.1

М.А. Ахмедов, Ш.Ш. Хидиров, М.Ю. Капарова, Х.С. Хибиев

Магомед Абдурахманович Ахмедов (✉), Шагабуди́н Шайдабекович Хидиров, Мадина Юсуповна Капарова, Хидирляс Саидович Хибиев

Кафедра физической и органической химии, Дагестанский государственный университет, ул. Гаджиева, 43-а, Махачкала, Российская Федерация, 367000

E-mail: muhamadahmedov@mail.ru (✉), khidirovdgu@mail.ru, madina.kaparova.1989@mail.ru, chidirlas@mail.ru

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МЕТАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ДИМЕТИЛСУЛЬФОНА

В последнее время метансульфоукислота (МСК) все более широко используется в различных областях электрохимических производств, таких как гальваника, электрооафинирование и электроосаждение металлов и др. В связи с этим разработка новых методов синтеза МСК из сероорганических соединений является на сегодня актуальной задачей. В настоящей работе изучен электрохимический синтез метансульфоукислоты из водных растворов диметилсульфона (ДМС). Методом циклической вольтамперометрии исследовано электрохимическое поведение ДМС в кислой среде на гладком платиновом электроде в широкой области анодных потенциалов. Показано, что электроокисление ДМС происходит в области высоких анодных потенциалов 1,8 – 2,15 В. В пределах концентраций ДМС 0,05 – 0,15 М и плотностей анодного тока 0,01 – 0,03 А/см² основным продуктом окисления является МСК. Установлено также, что с увеличением концентрации ДМС происходит существенное подавление процесса выделения кислорода. При концентрации ДМС более 0,2 М выход МСК падает, что связано с изменением механизма электроокисления ДМС. Методами КР и ИК-спектроскопии установлено, что в результате электрохимического окисления водных растворов ДМС при концентрации более 0,2 М на гладком платиновом электроде в анодном отделении электролизера образуется два устойчивых продукта – метансульфоукислота и диметилдисульфон (ДМДС). На выход того или иного конечного продукта оказывает влияние концентрация исходного ДМС. Показано, что закономерное изменение выходов продуктов препаративного электросинтеза МСК и ДМДС связано с увеличением концентрации водных растворов диметилсульфона и плотностей анодного тока. На основании данных вольтамперометрических измерений и анализа продуктов препаративного электросинтеза предложен механизм электроокисления диметилсульфона в кислой среде на гладком платиновом электроде с образованием МСК и ДМДС. Показано, что ДМДС при комнатной температуре легко можно выделить из водного раствора анолита в кислой среде в виде кристаллического вещества. Также установлено, что при нагревании до 80–85 °С раствор анолита, содержащий ДМДС, разлагается на метансульфо- и метансульфиновую кислоты. Метансульфиновая кислота является неустойчивой кислотой, легко окисляемой кислородом воздуха, что дает возможность при электросинтезе получать МСК с высо-

ким количественным выходом. Таким образом, конечным продуктом в результате электроокисления диметилсульфона в кислой среде на гадкой платине является метансульфоукислота с количественным выходом.

Ключевые слова: диметилсульфон, диметилдисульфон, метансульфиновая кислота, метансульфоукислота, потенциал, платиновый микроэлектрод, радикал, электроокисление, электросинтез

UDC: 544.653.1

М.А. Akhmedov, Sh.Sh. Khidirov, M.Yu. Kaparova, Kh.S. Khibiev

Magomed A. Akhmedov (✉), Shagabudin Sh. Khidirov, Madina Yu. Kaparova, Khidirlyas S. Khibiev
Department of Physical and Organic Chemistry, Dagestan State University, Gadzhiev st., 43a, Makhachkala, 367000, Russia
E-mail: muhamadahmedov@mail.ru (✉), khidirovdgu@mail.ru, madina.kaparova.1989@mail.ru, chidirlas@mail.ru

ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF METHANESULFONIC ACID FROM AQUEOUS SOLUTIONS OF DIMETHYL SULFONE

In recent years, methane sulfonic acid (MSA) is being increasingly used in various fields of electrochemical production such as electroplating, electrorefining and electrodeposition of metals etc. In this regard development of new methods for the synthesis of MSA from organic sulfur compounds is today an urgent task. In this paper we studied the electrochemical synthesis of methane sulfonic acid from aqueous solutions of dimethyl sulfone (DMS). The electrochemical behavior of DMS in an acidic environment on a smooth platinum electrode in a wide range of the anodic potentials was studied by cyclic voltammetry. It is shown that electrooxidation of DMS occurs at high anodic potentials of 1.8 - 2.15 V. Within of DMS concentration range of 0.05 - 0.15 M, and the anode current density of 0.01 - 0.03 A / cm² MSA is the main product the oxidation. It was also found that with increasing concentrations of DMS there is a significant suppression of process of oxygen evolution. At concentration of dimethyl sulfone more than 0.2M the yield of MSA falls, which is associated with a change in the electrochemical mechanism of DMS oxydation. By methods of Raman and IR spectroscopy it was revealed that at the electrochemical oxidation of aqueous solutions at the concentration of DMS more than 0.2M on a smooth platinum electrode in the anodic electrolysis compartment two stable products – methanesulfonic acid and dimethyl disulfon (DMDS) are formed. The initial concentration of dimethyl sulfone affects the product yield. It was shown that the change in preparative electrosynthesis product yields of MSA and DMDS is connected with the increase in the concentration of aqueous solutions of DMS and the anode current density. On basis of data of voltammetric measurements and analysis of preparative electrosynthesis products the mechanism of electrooxidation of dimethyl sulfone in an acidic environment on a smooth platinum electrode to form the MSA and DMDS was proposed. It was shown that DMDS at the room temperature may easily be separated from the anolyte solution in an acidic environment in the form of crystal material. It was also found that by heating to temperature 80-85 °C the anolyte solution containing DMDS, decomposes to methanesulfinic and methanesulfonic acids. It was shown that methanesulfinic acid is unstable acid which is readily oxidized with atmospheric oxygen, which makes it possible to obtaine MSA by electrosynthesis with a high quantitative yield. Thus, MSA is a final product of dimethyl sulfone electrooxidation in an acidic environment on smooth platinum with a quantitative yield on current.

Key words: dimethyl sulfone, dimethyl disulfone, methanesulfinic acid, methanesulfonic acid, potential, platinum microelectrode, radical, electrooxidation, electrosynthesis

ВВЕДЕНИЕ

Метансульфо́кислота (МСК) – $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$ – типичный представитель алифатических сульфокислот, проявляет свойства, характерные как для неорганических, так и для органических кислот [1]. Основные ее физические свойства описаны в работе [2]. Важной ее особенностью является то, что она одновременно может быть использована в качестве растворителя и электролита. Это свойство позволяет упростить процессы электросинтеза органических и неорганических соединений. В связи с этим разработка новых методов синтеза метансульфокислоты из сероорганических соединений представляет как практический, так и теоретический интерес.

Ранее в работах [3, 4] был рассмотрен синтез и механизм электроокисления диметилсульфоксида (ДМСО) до метансульфокислоты. В патентах [5, 6] показана возможность синтеза метансульфокислоты электрохимическим методом из диметилсульфона.

Диметилсульфон (ДМС) – $\text{CH}_3\text{S}(\text{O})_2\text{CH}_3$ относится к классу алифатических сульфонов, в обычных условиях представляет из себя бесцветные призматические кристаллы, хорошо растворимые в воде, по химическим свойствам является относительно химически инертным соединением [7, 8].

При разработке способа получения метансульфокислоты из диметилсульфоксида авторами [9] в качестве фонового электролита была использована серная кислота (H_2SO_4). Однако для выделения конечного продукта требуется его очистка от серной кислоты.

В связи с этим в работах [5, 6] в качестве электролита была использована метансульфокислота, обладающая электропроводностью, близкой к H_2SO_4 . Это позволяет упростить технологию электрохимического синтеза конечного продукта.

В настоящей работе изучены анодные процессы электрохимического синтеза метансульфокислоты из водных растворов различных концентраций диметилсульфона с использованием методов вольтамперометрических измерений и физико-химических методов анализа продуктов электролиза.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Анодное окисление диметилсульфона в водных растворах изучено вольтамперометрическим методом с использованием потенциостата ИРС – Pro MF и методом препаративного электросинтеза. Измерения проводили в трехэлектродной

ячейке. Рабочим электродом служила гладкая платина с истинной поверхностью $0,057 \text{ см}^2$.

Препаративный электросинтез осуществляли в диафрагменном электролизере с разделением анодного и катодного отделений. В качестве диафрагмы использована катионитовая мембрана марки МК-40. Анодом служил гладкий платиновый электрод с видимой поверхностью 2 см^2 , а катодом – платина в виде пластины. В качестве фонового электролита использован $0,1 \text{ М}$ водный раствор $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$ объемом анолита $50,0 \text{ мл}$.

При стационарном электролизе в качестве источника постоянного тока использован выпрямитель ТУРЕ: TR-9252 с регулируемым напряжением. Температура анолита при стационарном электролизе не превышала $40\text{--}45 \text{ }^\circ\text{C}$.

В работе использованы реактивы: гидроксид натрия, диметилсульфон марки – ХЧ, метансульфокислота марки – BASF. Все растворы готовились на бидистиллированной и деионизованной воде.

Продукты электроокисления анализировались методами кислотно-основного титрования, ИК-спектроскопии с использованием ИК-Фурье спектрометра «Nicolet 6700» фирмы «Thermo Nicolet» и рамановского спектрометра комбинационного рассеяния (КР) DXR Smart Raman Research фирмы «Thermo Fisher Scientific».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены циклические вольтамперограммы платинового электрода на фоне $0,1 \text{ М}$ водного раствора $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$ и в присутствии диметилсульфона различных концентраций.

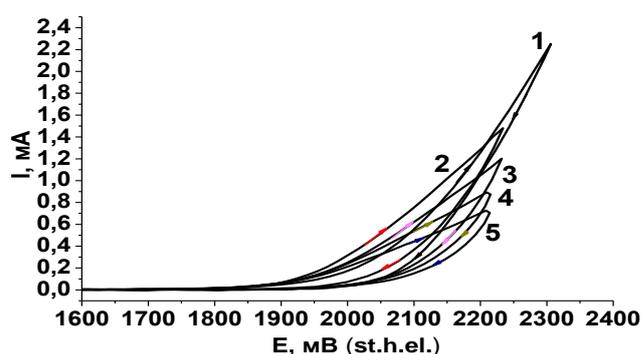


Рис. 1. Циклические вольтамперограммы гладкого платинового электрода в $0,1 \text{ М}$ растворе $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$ (1) и в присутствии диметилсульфона, М : $0,1$ (2); $0,4$ (3); $0,8$ (4); $1,2$ (5). Скорости развертки потенциала 50 мВ/с

Fig. 1. Cyclic voltammograms of smooth platinum electrode in 0.1 M solution of $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$ (1) and in the presence of dimethyl sulfone, M : 0.1 (2); 0.4 (3); 0.8 (4); 1.2 (5). The rate of potential sweep is 50 мВ/с

В приведенной области потенциалов в фоновом 0,1М растворе $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$ наблюдается в основном процесс выделения кислорода. В присутствии 0,1 М раствора диметилсульфона потенциодинамическая кривая проходит выше кривой кислородной реакции до потенциала 2,2 В. Однако, с увеличением концентрации диметилсульфона до 0,4 М потенциодинамическая кривая превышает небольшую часть кривой фонового электролита до 2,15 В. В 0,8 и 1,2 М растворах ДМС наблюдается существенное подавление процесса выделения кислорода.

Данные препаративного электросинтеза метансульфокислоты при различных концентрациях водных растворов диметилсульфона и плотностях анодного тока 0,01-0,03 A/cm^2 на фоне 0,1 М $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$ представлены в табл. 1. Погрешность расчетов выхода МСК по току составляет $\pm 5\text{-}6\%$.

Таблица 1

Данные препаративного электросинтеза метансульфокислоты (МСК) и диметилдисульфона (ДМДС) из водных растворов диметилсульфона при различных концентрациях и плотностях анодного тока (i_a)

Table 1. The data of preparative electrosynthesis of methanesulfonic acid and dimethyldisulfone from aqueous solutions of dimethylsulfone at various concentrations and densities of anode current (i_a)

№	Исходная концентрация ДМС, моль/л	Выход продуктов по току (i_a), %					
		$i_a = 0,01$ A/cm^2		$i_a = 0,02$ A/cm^2		$i_a = 0,03$ A/cm^2	
		МСК	ДМДС	МСК	ДМДС	МСК	ДМДС
1	0,05	99	-	100	-	100	-
2	0,1	99	-	100	-	100	-
3	0,15	97	2	97	2	97	2
4	0,2	75	23	70	28	64	34
5	0,4	48	49	44	54	38	60
6	0,8	44	53	40	56	25	73
7	1,2	36	62	30	68	16	82

Из таблицы видно, что в пределах 0,05-0,15 М концентраций диметилсульфона образование метансульфокислоты идет с количественным выходом. Однако, при $C_{\text{ДМС}} \geq 0,2$ М выход метансульфокислоты падает.

Концентрацию МСК в анолите определяли методом кислотно-основного титрования с учетом концентрации фонового электролита, а ДМДС – гравиметрическим методом. Погрешность расчета выхода ДМДС по току составляет $\pm 2\text{-}3\%$.

Для снятия ИК и КР-спектров анолит после электролиза нейтрализовали щелочью до pH 7, обезвоживали и высушивали. Опытные данные характеристических полос поглощения (табл. 2)

функциональных групп соответствуют справочным значениям ИК спектров метансульфокислоты ($\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$) [10, 11].

Таблица 2

Характерные группы поглощения ИК спектра метансульфокислоты, полученной электролизом водного раствора диметилсульфона

Table 2. The characteristic groups of absorption of the IR spectrum of methanesulfonic acid obtained by electrolysis of aqueous solution of dimethyl sulfone

Характерные группы	Область частоты, cm^{-1}	Характерные группы	Область частоты, cm^{-1}
O=S=O	1030-1092	-OH	3031-2942
CH_3-	1538-1416	C-S	750-638

Идентификация характерных групп метансульфокислоты (рис. 2) также подтверждена методом КР-спектроскопии.

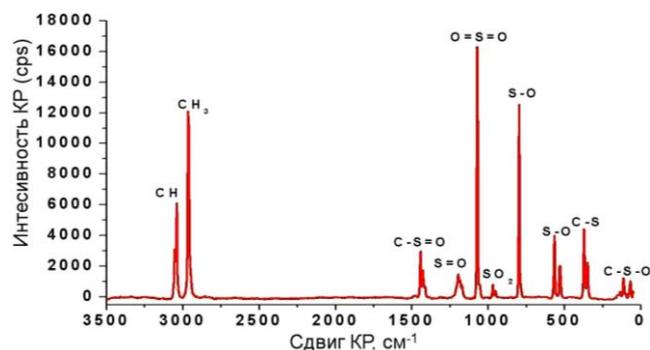


Рис. 2. КР спектр метансульфокислоты, полученный электролизом водного раствора диметилсульфона
Fig. 2. Raman - spectrum of methanesulfonic acid produced by electrolysis of aqueous solution of dimethylsulfone

Анализ продуктов электроокисления диметилсульфона при $C_{\text{ДМС}} \geq 0,2$ М показывает, что в анодном отделении электролизера наряду с МСК образуется еще один продукт.

Для выяснения природы продукта, образующегося наряду с МСК при $C_{\text{ДМС}} \geq 0,2$ М, анолит сначала охлаждали до температуры 5-10 °С. При этом выделялось бесцветное кристаллическое вещество. Его отделяли от фильтрата, затем многократно промывали методом холодной декантации бидистиллированной водой. Фильтрат анализировали на содержание МСК по методике, описанной выше, а выделенное бесцветное кристаллическое вещество идентифицировали методом ИК-спектроскопии. Опытные данные характеристических полос поглощения (табл. 3) функциональных групп соответствуют справочным значениям ИК спектров диметилдисульфона (ДМДС) [10].

Таблица 3

Характерные группы поглощения ИК спектра диметилдисульфона

Table 3. Characteristic groups of IR absorption spectrum of dimethyldisulfone

Характерные группы	Область частоты, см ⁻¹	Характерные группы	Область частоты, см ⁻¹
CH ₃ -	1470-1435	C-S	750-580
O=S=O	1100-980	S-S	480-450
S=O	850-800		

Идентификация диметилдисульфона (рис. 3) также подтверждена методом КР-спектроскопии [11].

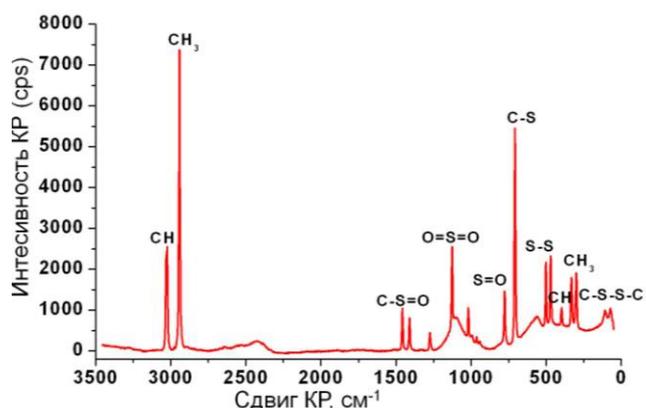


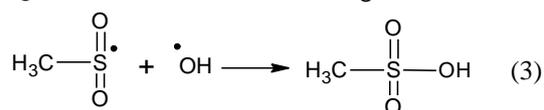
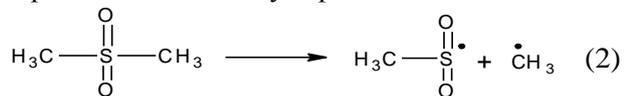
Рис. 3. КР спектр диметилдисульфона, полученный электролизом водного раствора диметилсульфона
Fig. 3. Raman - spectrum of dimethyldisulfone produced by electrolysis of aqueous solution of dimethylsulfone

Исходя из данных вольтамперометрических измерений и анализа продуктов препаративного электросинтеза, предлагаем следующий механизм электроокисления диметилсульфона.

По-видимому, при $C_{\text{ДМС}} < 0,2$ М образование метансульфокислоты идет путем замещения метильного радикала $\text{CH}_3\cdot$ диметилсульфона на $\cdot\text{OH}$ -радикал сопряженной кислородной реакции на аноде:



с образованием метансульфокислоты по схеме:



Использование катионитовой мембраны способствует восстановлению образующихся ионов водорода (H^+) на катоде:



В работе А.А. Яковлевой [12] по изучению адсорбции алкильных и карбоксильных групп ме-

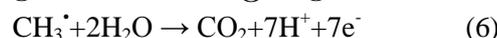
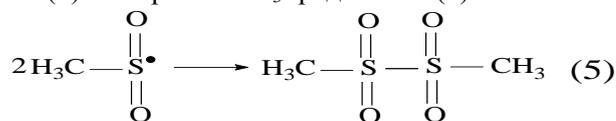
тодом меченого углерода указано, что в области высоких анодных потенциалов адсорбция $\text{CH}_3\cdot$ -радикалов почти в 50 раз превышает адсорбцию алкильных радикалов.

Известно, что органические молекулы или их частицы окисляются или восстанавливаются только через адсорбцию. Следовательно, преимущественное образование метансульфокислоты и диметилдисульфона зависит от конкурентной адсорбции метилсульфогрупп и метильных радикалов.

По-видимому, в разбавленных растворах $\text{CH}_3\cdot$ -радикалы в основном рекомбинируются, образуя этан (C_2H_6). Поэтому выход МСК высокий.

С увеличением плотности анодного тока и концентрации диметилсульфона $C_{\text{ДМС}} \geq 0,2$ М выход диметилдисульфона возрастает по сравнению с концентрацией метансульфокислоты (табл. 1).

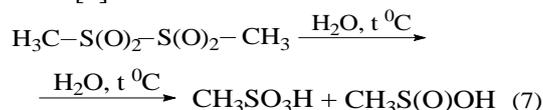
Учитывая эти данные, можно предположить, что при низких концентрациях $C_{\text{ДМС}} < 0,2$ М реакция протекает в основном по рекомбинации $\cdot\text{OH}$ -радикалов молекул воды и метилсульфогрупп $\text{CH}_3\text{S}\cdot(\text{O})_2$ с преимущественным образованием метансульфокислоты (3), а при высоких концентрациях $C_{\text{ДМС}} \geq 0,2$ М идет преимущественно с образованием устойчивого продукта диметилдисульфона (5) и сгорания $\text{CH}_3\cdot$ -радикалов (6).



С увеличением концентрации ДМС, а вместе с тем и плотности тока, растет число адсорбированных $\text{CH}_3\cdot$ -радикалов, которые могут подвергаться окислению. Следовательно, от соотношения адсорбированных и подвергающихся рекомбинации $\text{CH}_3\cdot$ -радикалов зависит количественное образование C_2H_6 и CO_2 , а вместе с тем и выход основных продуктов – МСК и ДМДС.

На рис. 4 показан снимок кристаллов диметилдисульфона, выделенных из раствора анолита при охлаждении до 5-10 °С.

Диметилдисульфон $(\text{CH}_3-\text{S}(\text{O})_2-\text{S}(\text{O})_2-\text{CH}_3)$ – это кристаллическое вещество, растворимое в воде, при нагревании до 80-85 °С распадается на метансульфокислоту и на метансульфиновую кислоты [8].



Метансульфиновая кислота – неустойчивая кислота, легко окисляется на воздухе до метансульфокислоты [13].

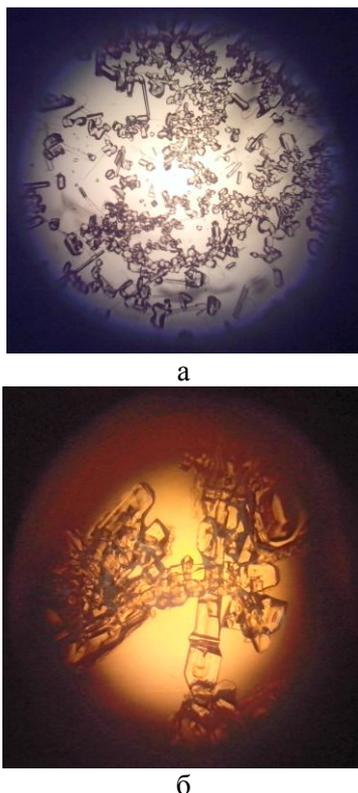


Рис. 4. Изображения кристаллов диметилдисульфона в поле зрения в отраженном свете микроскопа Микмед-6. Увеличение 10 (а), и 40 крат. (б)
 Fig. 4. The images of crystals of dimethyldisulfone on microscope Mikmed in a field of view in reflected light. Magnification is 10 (a), and 40 (б)

Таким образом, путем электролиза водных растворов диметилсульфона различных концентраций можно синтезировать метансульфокислоту с хорошим количественным выходом.

ВЫВОДЫ

При анодном окислении растворов диметилсульфона в пределах концентраций 0,05-0,1 М основным продуктом электролиза является метансульфокислота;

Методами ИК- и КР-спектроскопии установлено, что при концентрации диметилсульфона СДМС $\geq 0,2$ М в анодном отделении наряду с метансульфокислотой образуется диметилдисульфон;

Предположено, что при концентрациях диметилсульфона СДМС $< 0,2$ М окисление в основном протекает с участием кислородсодержащих частиц с образованием МСК, а при более высоких концентрациях механизм окисления меняется и окисление преимущественно идет с участием радикалов метилсульфогрупп ($\text{CH}_3\text{S}^\cdot(\text{O})_2$) с образованием диметилдисульфона.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта программы УМНИК 2-15-10 № 8809 ГУ2/2015 (код 0016996) с использованием оборудования ЦКП «Аналитическая спектроскопия».

ЛИТЕРАТУРА

1. Gernon M.D., Wu M., Buszta T., Janney P. Environmental benefits of methane sulfonic acid. Comparative properties and advantages. *Green Chem.* 1999. N 1. P. 127-140.
2. Akmedov M.A., Khidirov Sh. Sh. Voltammetric determination of the composition and properties of methane sulfonic acid. *J. Struct. Chem.* 2014. V. 55. N 6. P. 1148-1151.
3. Khibiev Kh.S., Omarova K.O., Khidirov Sh. Sh. Electrochemical synthesis of dimethyl sulfone and methane sulfonic acid from dimethyl sulfoxide. *Rus. J. Electrochem.* 2010. V. 46. N 8. С. 960.
4. Хидиров Ш.Ш., Омарова К.О., Хибиев Х.С. Электроокисление диметилсульфоксида на платиновом электроде в кислой среде. *Вестн. ДГУ.* 2012. Т. 110. Вып. 1. С. 233-236.
5. Хидиров Ш.Ш., Ахмедов М.А., Хибиев Х.С., Омарова К.О. Патент РФ № 2496772. 2013.
6. Хидиров Ш.Ш., Ахмедов М.А., Рабаданов М.Х. Патент РФ № 2554880. 2015.
7. Маркарян Ш.А., Азнаурян М.Г., Казоян Е.А. Physicochemical properties of aqueous solutions of dimethyl- and diethylsulfones. *ЖФХ.* 2011. Т. 85. № 12. С. 2291.
8. Бельский Л.И. Получение и свойства органических соединений серы. М.: Химия. 1998. 560 с.
9. Хидиров Ш.Ш., Омарова К.О., Хибиев Х.С. Патент РФ № 2344126. 2009.

REFERENCES

1. Gernon M.D., Wu M., Buszta T., Janney P. Environmental benefits of methanesulfonic acid. Comparative properties and advantages. *Green Chem.* 1999. N 1. P. 127-140. DOI:10.1039/a900157c.
2. Akmedov M.A., Khidirov Sh. Sh. Voltammetric determination of the composition and properties of methanesulfonic acid. *J. Struct. Chem.* 2014. V. 55. N 6. P. 1148-1151. DOI:10.1134/S0022476614060249.
3. Khibiev Kh.S., Omarova K.O., Khidirov Sh. Sh. Electrochemical synthesis of dimethyl sulfone and methanesulfonic acid from dimethylsulfoxide. *Rus. J. of Electrochem.* 2010. V. 46. N 8. P. 1021. DOI:10.1134/S1023193510080161.
4. Khidirov Sh.Sh., Omarova K.O., Khibiev Kh.S. The electrooxidation of dimethyl sulfoxide on platinum electrode in an acidic environment. *Vest. DSU.* 2012. V. 110. N 1. P. 233-236 (in Russian).
5. Khidirov Sh.Sh., Akmedov M.A., Khibiev Kh.S., Omarova K.O. RF Patent N 2496772. 2013. (in Russian).
6. Khidirov Sh.Sh., Akmedov M.A., Rabadanov M.Kh. RF patent N 2554880. 2015 (in Russian).
7. Markaryan S.A., Aznauryan M.G., Kazoyan E.A. Physicochemical properties of aqueous solutions of dimethyl- and diethylsulfones. *Russ. J. Phys. Chem.* 2011. V. 85. N 12. P. 2291-2294. DOI:10.1134/S0036024411120211.

10. **Тарасевич Б.Н.** ИК спектры основных классов органических соединений. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. 2012. С. 29–35.
11. **Шмидт В.** Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. М.: Техносфера. 2007. 368 с.
12. **Яковлева А.А.** Адсорбция ацетат и пропионат ионов на платине при высоких анодных потенциалах. *Электрохимия*. 1979. Т. 15. Вып. 9. С. 1318-1323.
13. **Березин Б.Д., Березин Д.Б.** Курс современной органической химии. М.: Высш. шк. 1999. 768 с.
8. **Belenky L.I.** Preparation and properties of organic sulfur compounds. М.: Khimiya. 1998. 560 p. (in Russian).
9. **Khidirov Sh. Sh., Omarova K.O., Khibiev Kh.S.** RF patent N 2344126. 2009 (in Russian).
10. **Tarasevich B.N.** IR spectra of the major classes of organic compounds. М.: MSU M.V. Lomonosov. 2012. 29-35 p. (in Russian).
11. **Schmidt V.** Optical spectroscopy for chemists and biologists. М: Tekhnosfera. 2007. 368 p. (in Russian).
12. **Yakovleva A.A.** Adsorption of acetate and propionate ions on platinum at high anodic potentials. *Elektrokhimiya*. 1979. V. 15. N 9. P.1318-1323 (in Russian).
13. **Berezin B.D., Berezin D.B.** The course of modern organic chemistry. М.: Vyssh. Shkola. 1999. 768 p. (in Russian).

*Поступила в редакцию 04.04.2016
Принята к опубликованию 22.11.2016*

*Received 04.04.2016
Accepted 22.11.2016*