

АНАЛІТЫЧНАЯ ХІМІЯ
ANALYTICAL CHEMISTRY

УДК 543.257.2

Поступила в редакцию 31.05.2016
Received 31.05.2016**Е. М. Рахманько¹, Ю. В. Матвейчук², А. Д. Копырин¹, Н. В. Потапкин¹**¹Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь²Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Республика Беларусь**МОЛИБДАТ-СЕЛЕКТИВНЫЙ ЭЛЕКТРОД НА ОСНОВЕ
ВЫСШИХ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ АММОНИЕВЫХ СОЛЕЙ**

Оптимизирован состав мембран молибдат-селективных электродов на основе высших ЧАС. Установлено, что лучшие аналитические характеристики имеют электроды на основе триметильной ЧАС (бромид 2,3,4-трис(додецилокси)бензилтриметиламмония) с добавлением в состав мембран сольватирующей добавки – гептилового эфира *n*-трифторацетилбензойной кислоты. Определены их аналитические характеристики: нижние пределы обнаружения ($5 \cdot 10^{-6}$ моль/л); коэффициенты селективности по отношению к мешающим хлорид- ($2 \cdot 10^{-3}$), сульфат- ($9 \cdot 10^{-3}$), оксалат- ($2 \cdot 10^{-2}$), вольфрамат- ($5 \cdot 10^{-3}$) ионам; рабочие диапазоны pH (7,5–8,5); наклоны электродных функций (28 мВ/декаду). Методом ИК-Фурье-спектроскопии были изучены водные растворы молибдата натрия при различных pH. В растворах молибдата натрия при pH более 7,5 гидролитические процессы выражены слабо. Однако при работе с молибдат-селективными электродами лучше использовать свежеприготовленные растворы. Это увеличивает воспроизводимость результатов эксперимента.

Ключевые слова: молибдат-селективный электрод, четвертичная аммониевая соль.

E. M. Rakhman'ko¹, Yu. V. Matveichuk², A. D. Kopyrin¹, N. V. Potapkin¹¹Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus²Mogilev State University of Food Technologies, Mogilev, Republic of Belarus**MOLYBDATE SELECTIVE ELECTRODE BASED ON HIGHER QUATERNARY AMMONIUM SALTS**

The membrane composition of molybdate-selective electrodes based on higher quaternary ammonium salts (QAS) has been optimized. It has been found that electrodes with the best analytical characteristics are based on 2,3,4-tris(dodecyloxy) benzyltrimethylammonium bromide (TM), with 4-trifluoroacetylbenzoic acid heptyl ester (HE) as the solvating additive. Their analytical characteristics, such as lower detection limits ($5 \cdot 10^{-6}$ mol/l); selectivity coefficients to interfering chloride ($2 \cdot 10^{-3}$), sulfate ($9 \cdot 10^{-3}$), oxalate ($2 \cdot 10^{-2}$) and tungstate ($5 \cdot 10^{-3}$) ions; working pH range (7.5–8.5); and the slope of the electrode function (28 mV/pC) have been determined. Sodium molybdate aqueous solutions have been studied with FT-IR spectrometry method at various pH, and it has been shown that at pH above 7.5 hydrolysis is not significant. However, for molybdate-selective electrodes it is better to use freshly prepared solutions, as it increases the reproducibility of the experimental results.

Keywords: molybdate-selective electrode, quaternary ammonium salt.

Введение. Молибден и его соединения широко применяются в промышленности, поэтому увеличивается их содержание в сточных водах и природных объектах. Наиболее часто для определения молибдена используют фотоколориметрический роданидный метод [1], имеющий высокую точность, но непригодный для определения Mo(VI) в присутствии окрашенных ионов и W(VI), что предполагает введение дополнительных операций. Авторы [2] для определения Mo(VI) в присутствии не более чем 10-кратного избытка W(VI) предложили использовать метод твердофазной спектроскопии. В качестве фотометрического реагента использовали пирокатехиновый фиолетовый, нанесенный на анионит АВ-17хВ, pH раствора 3,5.

Кроме фотометрического анализа известны каталитические, микробиологические, радиоактивационные, титриметрические, гравиметрические, полярографические методы определения Mo(VI) [3]. Из большого числа физико-химических методов ионометрия относится к наиболее простым и доступным методам анализа.

Известно [4, 5], что состояние соединений молибдена в растворе является достаточно сложным, т.е. возможно образование их различных изо- и полисоединений, что создает трудности для ионометрического определения ионов MoO_4^{2-} .

В работе [6] описан пленочный ионоселективный электрод (ИСЭ) на основе иодида тригептилдодециламмония. Определение MoO_4^{2-} проводится в присутствии $12,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л H_2O_2 . Электрод имеет близкий к нернстовому наклон электродной функции в диапазоне концентраций от $2,0 \cdot 10^{-6}$ до $5,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л MoO_4^{2-} ; рабочий диапазон pH электрода от 5,0 до 7,0; срок службы электрода 2 мес.; время отклика – 2–3 мин.

Разработан [7] пленочный MoO_4^{2-} -СЭ на основе 5,10,15,20-тетракис(4метоксифенил)порфири-натокобальта, имеющий наклон $32,0 \pm 1,0$ мВ, линейный диапазон $5,0 \cdot 10^{-5}$ – $1,0 \cdot 10^{-1}$ моль/л MoO_4^{2-} ; рабочий диапазон pH 5,4–10,5; время отклика – 18 с; срок службы – 4 мес.

В работе [8] описан пленочный MoO_4^{2-} -СЭ на основе диаза-краунэфира (18-краун-6), имеющий наклон 31,2 мВ, линейный диапазон $2,5 \cdot 10^{-5}$ – $1,0 \cdot 10^{-1}$ моль/л MoO_4^{2-} ; рабочий диапазон pH 5,8–10,9; время отклика 30 с; срок службы 1,5 мес. Логарифмы коэффициентов селективности разработанного электрода в присутствии мешающих иодид-, роданид-, нитрат-, нитрит-, сульфит-, сульфат-ионов находятся в пределах от –1,63 до –1,13; в присутствии бромид-, хлорид-, перманганат-ионов – от –3,26 до –2,24. К наиболее мешающим для MoO_4^{2-} -СЭ на основе 18-краун-6 относятся дихромат- и фосфат-ионы.

MoO_4^{2-} -СЭ на основе фосфата церия описан в работе [9]. Электрод имеет линейный диапазон $3,16 \cdot 10^{-5}$ – $1,0 \cdot 10^{-1}$ моль/л MoO_4^{2-} (предел обнаружения $1,98 \cdot 10^{-5}$ моль/л); наклон – 29 мВ; рабочий диапазон pH 6–10, но невысокую селективность к потенциалопределяющим ионам в присутствии хлорид-, нитрат-, ацетат-, перхлорат-, роданид-ионов и особенно в присутствии вольфрамат-, хромат-, оксалат-ионов.

Однако в приведенных работах [6–9] не приводится информации о влиянии состояния молибдена (VI) в растворе на работу ИСЭ. Кроме того, рабочие диапазоны pH для таких ИСЭ (5,0–7,0; 5,4–10,5; 5,8–10,9; 6–10) вызывают некоторые сомнения, поскольку кислая среда способствует поликонденсационным и гидролитическим процессам в растворах MoO_4^{2-} . Кроме того, селективность MoO_4^{2-} -СЭ в некоторых случаях недостаточна высока. Несмотря на то что имеются работы по созданию MoO_4^{2-} -СЭ, однако они немногочисленны.

Цель данного исследования – разработка пленочных ионоселективных электродов на основе высших четвертичных аммониевых солей (ЧАС), обратимых к ионам MoO_4^{2-} .

Материалы и методы исследования. Для изготовления мембран использовали ПВХ марки «Fluka», ионообменники (ЧАС): хлорид триниолоктадециламмония (ТНОДА), бромид 2,3,4-трис(додецилокси)бензилтриметиламмония (ТМ); гептиловый эфир *n*-трифторацетилбензойной кислоты (ГЭ), дибутилфталат, х.ч. (ДБФ), тетрагидрофуран, х.ч. Для приготовления растворов использовали следующие (х.ч.) соли: молибдат и вольфрамат натрия 2-водные, гидроксид натрия, аммиак водный, оксалат натрия, сульфат калия, хлорид натрия.

Мембраны электродов изготавливали по методике, изложенной в [10]. Перевод ионообменников в молибдатную форму достигали вымачиванием электродов в 0,1 моль/л растворе Na_2MoO_4 в течение 1–1,5 сут; внутрь электродов заливали раствор сравнения, содержащий 10^{-3} моль/л KCl и 10^{-3} моль/л MoO_4^{2-} . Толщина мембран электродов составляла около 0,5 мм.

Растворы Na_2MoO_4 с концентрацией от 10^{-6} до 10^{-3} моль/л готовили последовательным разбавлением 10^{-2} моль/л раствора. В табл. 1 представлен состав мембран MoO_4^{2-} -СЭ.

Таблица 1. Состав исследуемых мембран ИСЭ

Table 1. Composition of ion-selective electrode membranes

Номер мембраны	ЧАС	Содержание, мас.%			
		ПВХ	ЧАС	ДБФ	ГЭ
MoO_4^{2-} -СЭ					
1	ТНОДА	33	5	62	–
2		33	5	47	15
3	ТМ	33	5	62	–
4		33	5	47	15

Потенциал измеряли с помощью цифрового иономера И-160 при 20 ± 2 °С. Электродом сравнения служил хлоридсеребряный электрод ЭВЛ-1МЗ, для измерения рН – стеклянный электрод ЭСЛ-1М.

Градуировочные графики строили по данным измерения потенциала пары электродов в диапазоне концентраций от 10^{-6} до 10^{-2} моль/л MoO_4^{2-} . По результатам измерений строили графическую зависимость $E - \lg C(\text{MoO}_4^{2-})$, которую использовали для оценки нижних пределов обнаружения (НПО) для ИСЭ. НПО для электродов рассчитывали по формуле [11]:

$$\text{НПО} = 10^{\left(\lg C(\text{MoO}_4^{2-})\right)},$$

где $(\lg C(\text{MoO}_4^{2-}))$ соответствует точке пересечения экстраполированных линейных участков электродных функций.

Коэффициенты селективности $K_{i,j}^{\text{Pot}}$ определялись методом отдельных растворов в варианте равных концентраций и рассчитывали по уравнению [11]:

$$K_{i,j}^{\text{Pot}} = 10^{\frac{2(E_j - E_i)}{\theta}},$$

где E_i – потенциал в растворе основных ионов, мВ; E_j – потенциал в растворах мешающих ионов, мВ; $\theta = \frac{2,3RT}{F}$.

ИК-спектры водных растворов регистрировали на инфракрасном Фурье-спектрометре ИнфраЛЮМ ФТ-02 в диапазоне волновых чисел $2300\text{--}500$ cm^{-1} и обрабатывали с помощью прикладной программы СпектрЛЮМ (спектральное разрешение 1 cm^{-1}).

Для записи ИК-спектров использовали экспрессную методику [12]. Суть метода состоит в регистрации фонового спектра матрицы-носителя (полимерная пленка, прозрачная в ИК-диапазоне), регистрации спектра образца, нанесенного на матрицу-носитель, и получении спектра исследуемого вещества по разности двух вышеуказанных спектров. Пленка должна иметь микрорельеф с глубиной не более 25 мкм на одной стороне. Для записи ИК-спектров водных растворов тонкую пленку раствора помещали между листами полимерной пленки, которые в свою очередь зажимали между пластинками-магнитами с круглыми отверстиями, помещаемыми по ходу светового луча.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлены электродные функции MoO_4^{2-} – СЭ. Все электроды обладают близким к теоретическому наклоном электродных функций. Из рис. 1 видно, что электроды на основе ТМ имеют более высокую чувствительность (меньшие НПО). Введение в состав мембран ГЭ приводит к снижению пределов обнаружения, особенно сильно этот эффект проявляется для электродов на основе ТНОДА.

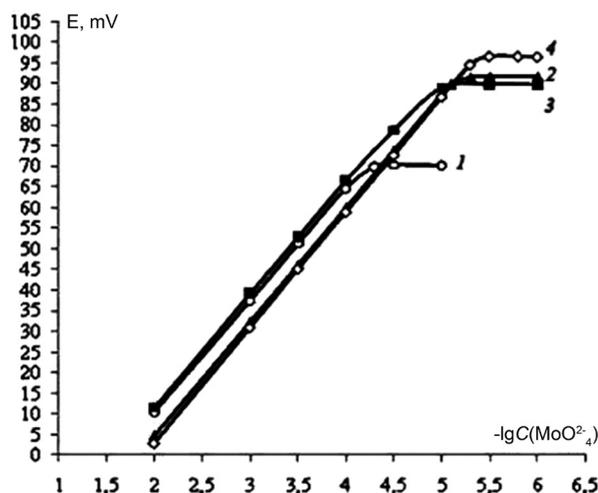


Рис. 1. Электродные функции MoO_4^{2-} – селективных электродов: 1 – ТНОДА+ДБФ, 2 – ТНОДА+ДБФ+ГЭ, 3 – ТМ+ДБФ, 4 – ТМ+ДБФ+ГЭ

Fig. 1. Electrode functions of MoO_4^{2-} – selective electrodes: 1 – TNODA+dibutyl phthalate, 2 – TNODA+dibutyl phthalate+HE, 3 – TM+dibutyl phthalate, 4 – TM+dibutyl phthalate+HE

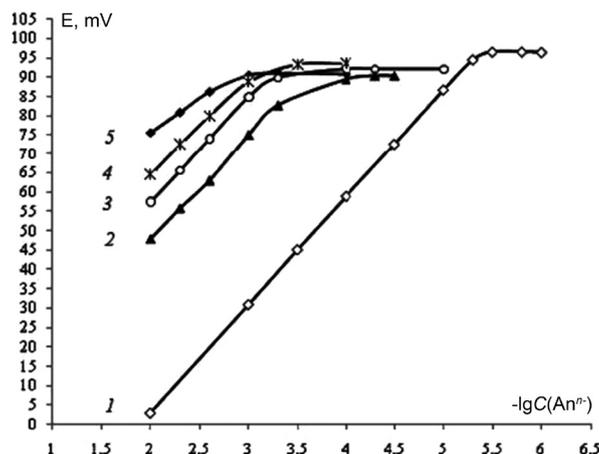


Рис. 2. Зависимости электродного потенциала MoO_4^{2-} -селективного электрода (1) (на основе ТМ, ДБФ и ГЭ) от концентрации оксалат- (2), сульфат- (3), вольфрамат- (4), хлорид-ионов (5)

Fig. 2. The relationship between concentrations of oxalate (2), sulphate (3), tungstate (4) and chloride (5) ions, and the electrode potential for MoO_4^{2-} selective electrode (1) (based on TM+dibutyl phthalate+HE)

На рис. 2 представлены зависимости электродного потенциала MoO_4^{2-} -СЭ (на основе ТМ с добавлением в состав мембран сольватирующей добавки – ГЭ) от концентрации мешающих ионов.

ГЭ образует с ЧАС в кислородсодержащих анионных формах прочные сольваты различного строения с высокими константами образования [13], что приводит к увеличению констант обмена этих анионов на более гидрофобные, например, хлориды и улучшению селективности MoO_4^{2-} -СЭ к потенциалопределяющим ионам MoO_4^{2-} в их присутствии.

В табл. 2 обобщены результаты по изучению аналитических характеристик MoO_4^{2-} -СЭ.

Таблица 2. Характеристика MoO_4^{2-} -СЭ

Table 2. Characteristics of MoO_4^{2-} – selective electrode

Мембрана	№1	№2	№3	№4
MoO_4^{2-} -СЭ				
Наклон, мВ/декаду	27	27,5	27,5	28
НПО, моль/л	$5 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Коэффициенты селективности $K_{\text{MoO}_4^{2-},j}^{\text{Pot}}$				
Cl^-	1,5	$6 \cdot 10^{-3}$	0,4	$2 \cdot 10^{-3}$
SO_4^{2-}	$9 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-3}$
$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	0,55	0,15	0,9	$2 \cdot 10^{-2}$
WO_4^{2-}	0,2	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$

Из предварительного эксперимента установлено, что потенциал MoO_4^{2-} -СЭ мало зависит от рН при значениях, превышающих 7,5–8,0. Соответствующие значения рН растворов поддерживали с помощью разбавленного раствора аммиака, однако так, чтобы они не превышали 8,0–8,5 для MoO_4^{2-} -СЭ. Высокие значения рН способствуют накоплению карбонатов, которые оказывают сильное мешающее влияние на потенциал электродов и ухудшают воспроизводимость результатов. Более низкие значения рН также недопустимы, так как способствуют гидролитическим и поликонденсационным процессам в растворах.

Со временем наклоны MoO_4^{2-} -СЭ, мембраны которых содержат ГЭ, снижаются примерно до 10–15 мВ/декаду, что соответствует наклону четырех- или шестизарядных ионов. Возможно образуются молибденсодержащие полиионы, которые накапливаются в мембране вследствие усиленной их сольватации ГЭ.

На рис. 3 представлены ИК-спектры кристаллического $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и 0,1 моль/л растворов при различных рН.

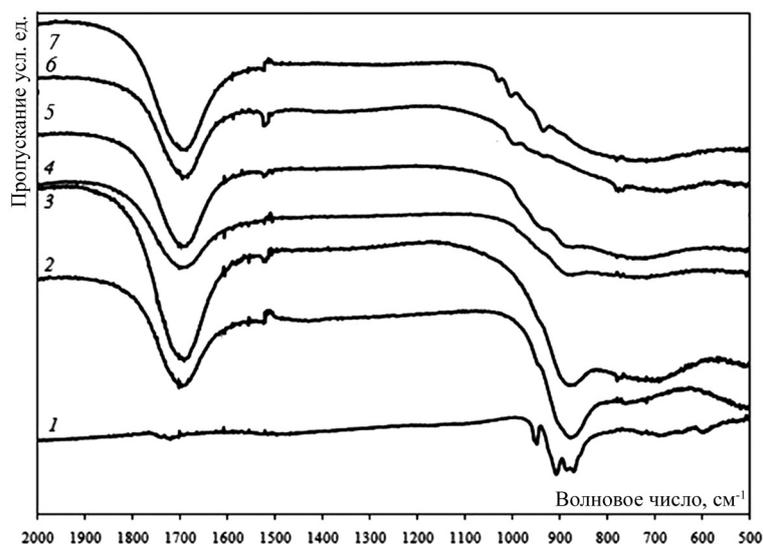


Рис. 3. ИК-спектры кристаллического $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (1) и 0,1 моль/л растворов при различных рН: 2 – 9,26, 3 – 7,70, 4 – 7,26, 5 – 6,93, 6 – 3,48, 7 – 2,16

Fig. 3. IR spectra of crystalline $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (1) and its 0.1 mol/L solutions at various pH: 2 – 9,26, 3 – 7,70, 4 – 7,26, 5 – 6,93, 6 – 3,48, 7 – 2,16

Для свежеприготовленных растворов при рН более 7,5 в ИК-спектрах (рис. 3) не зафиксировано полос, характерных для мостиковых колебаний $\text{Mo}-\text{O}-\text{Mo}$. При стоянии растворов с рН менее 7,5 происходит углубление гидролитических и конденсационных процессов, что заметно отражается на ИК-спектре (рис. 3, спектры 4–7), в котором появляются полосы валентных колебаний $\nu(\text{Mo}-\text{O}-\text{Mo})$ около 885 cm^{-1} , а также группа полос около $1030-985 \text{ cm}^{-1}$, относящаяся к деформационным колебаниям $\delta(\text{Mo}-\text{OH})$ [14, 15].

Учитывая это обстоятельство, при разработке MoO_4^{2-} -СЭ используются только свежеприготовленные растворы, хранящиеся не более двух суток. При соблюдении этого условия удается получать более воспроизводимые результаты.

Выводы. Показано, что большая селективность и более низкие НПО проявляются для MoO_4^{2-} – СЭ на основе триметильной ЧАС с добавлением нейтрального переносчика гептилового эфира *n*-трифторацетилбензойной кислоты (мембрана №4), обладающей наибольшей стерической доступностью, что, видимо, связано с увеличением констант ассоциации ионов MoO_4^{2-} с катионами ЧАС. Введение сольватирующей добавки (ГЭ) приводит к увеличению селективности MoO_4^{2-} – СЭ к MoO_4^{2-} в присутствии мешающих вольфрамат-, хлорид-, сульфат-, оксалат-ионов.

Список использованных источников

1. Лурье, Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю. Ю. Лурье. – М.: Химия, 1984. – 448 с.
2. Сорбция комплекса пирокатахинового фиолетового с молибденом (VI) на анионите АВ-17хВ / Ю. А. Барбалит [и др.] // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. – 1998. – Т. 39, № 3. – С. 174–177.
3. Бусев, А. И. Аналитическая химия молибдена / А. И. Бусев. – М.: Академия наук СССР, 1962. – 303 с.
4. Мохосоев, М. В. Состояние ионов молибдена и вольфрама в водных растворах / М. В. Мохосоев, Н. А. Шевцова. – Улан-Удэ: Бурятское книж. изд-во, 1977. – 168 с.
5. Сибиркин, А. А. Взаимное превращение изополисоединений молибдена(VI) в водном растворе / А. А. Сибиркин, О. А. Замятин, М. Ф. Чурбанов // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. – 2008. – № 5. – С. 45–51.
6. PVC membrane electrode based on triheptyl dodecyl ammonium iodide for the selective determination of molybdate(VI) / Jianguo Wang [et al.] // Anal. Chim. Acta. – 2007. – Vol. 589, N 1. – P. 33–38.
7. Membranes of 5,10,15,20-Tetrakis(4-Methoxyphenyl) Porphyrinatocobalt (TMOPP-Co) (I) as MoO_4^{2-} – Selective Sensors / V. K. Gupta [et al.] // Sensors. – 2002. – Vol. 2, N 5. – P. 164–173.
8. Molybdate Anion Recognition through a Cationic Crowned IonoporeBased Electrochemical Sensor: Detection of an Environmental Pollutant / B. Sethi [et al.] // Int. J. Env. Sci. – 2011. – Vol. 1, N 6. – P. 1361–1372.
9. Khodakarami, H. PVC-Based Cerium Phosphate Membrane Exhibiting Selectivity for Molybdate Anions / H. Khodakarami, H. O. Ghourchian // Iran. J. Chem.&Chem. Eng. – 2000. – Vol. 19, N 2. – P. 51–55.
10. Камман, К. Работа с ионоселективными электродами / К. Камман. – М.: Мир, 1980. – 288 с.

11. Морф Вернер Е. Принципы работы ионоселективных электродов и мембранный транспорт / Морф Вернер Е. – М.: Мир, 1985. – 280 с.
12. Способ проведения инфракрасной спектроскопии твердофазных и/или жидких, и/или вязких, и/или газообразных веществ: пат. ВУ (11) 11876 (13) С1 / Л. П. Максе, А. В. Томов, П. И. Марков // Афц. бюл. – 2009. – № 2 (67). – С. 111.
13. Новый сульфатселективный электрод и его применение в анализе / В. В. Егоров [и др.] // Журн. аналит. химии. – 2006. – Т. 61, № 4. – С. 416–422.
14. Базарова, Ц. Т. Колебательные спектры тройных молибдатов таллия, двухвалентных металлов и циркония / Ц. Т. Базарова, А. Е. Сарапулова, Б. Г. Базаров // Вестн. Бурят. гос. ун-та. – 2011. – № 3. – С. 3–7.
15. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений / К. Накамото. – М.: Мир, 1991. – 536 с.

References

1. Lur'e, Yu.Yu., *Analiticheskaya khimiya promyshlennykh stochnykh vod* [Analytical chemistry of industrial waste water], Khimiya, Moscow, RU, 1984.
2. Barbalat Yu.A., Ivanov V.M., Polenova T.V. and Fedorova N.V., "Sorption of a molybdenum (VI) Pyrocatechol Violet complex on the AV-17-xV anion exchanger", *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2: Khimiya* [Proceedings of the Moscow State University, Series 2. Chemistry], 1998, vol. 39, no. 3, pp. 174–177.
3. Busev, A.I. *Analiticheskaya khimiya molibdena* [Analytical chemistry of molybdenum], Akademiya nauk SSSR, Moscow, RU, 1962.
4. Mokhosoev M.V. and Shevtsova N.A., *Sostoyanie ionov molibdena i vol'frama v vodnykh rastvorakh* [The state of molybdenum and tungsten ions in aqueous solutions], Buryatskoe knizhnoe izdatel'stvo, Ulan-Ude, RU, 1977.
5. Sibirkin A.A., Zamyatin O.A. and Churbanov M.F., "Interconversions of molybdenum(VI) isopolycompounds in aqueous solutions", *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo* [Proceedings of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky], 2008, no. 5, pp. 45–51.
6. Jianguo Wang, Lingling Wang, Yinghui Han, Jianbo Jia, Lili Jiang, Weiwei Yang, Qiaohua Sun and Hui Lv., "PVC membrane electrode based on triheptyl dodecyl ammonium iodide for the selective determination of molybdate (VI)", *Analytica Chimica Acta*, 2007, vol. 589, no. 1, pp. 33–38.
7. Gupta Vinod K., Chandra S., Chauhan D. K. and Mangla R., "Membranes of 5,10,15,20-Tetrakis (4-Methoxyphenyl) Porphyrinatocobalt (TMOPP-Co) (I) as MoO₄²⁻ Selective Sensors", *Sensors*, 2002, vol. 2, no. 5, pp. 164–173.
8. Sethi B., Kumar S., Singh R., Gupta V.K. and Singh L.P., "Molybdate Anion Recognition through a Cationic Crowned Ionopore Based Electrochemical Sensor: Detection of an Environmental Pollutant", *International Journal of Environmental and Science Education*, 2011, vol. 1, no. 6, pp. 1361–1372.
9. Khodakarami H. and Ghourchian H.O., "PVC-Based Cerium Phosphate Membrane Exhibiting Selectivity for Molybdate Anions", *Iranian Journal Of Chemistry and Chemical Engineering*, 2000, vol. 19, no. 2, pp. 51–55.
10. Kamman K., *Rabota s ionoselektivnymi elektrodami* [Working with ion-selective electrodes], Mir, Moscow, RU, 1980.
11. Morf Verner E., *Printsipy raboty ionoselektivnykh elektrodov i membrannyi transport* [Principles of ion-selective electrodes and membrane transport], Mir, Moscow, RU, 1985.
12. Makse L.P., Tomov A.V. and Markov P.I., UO "Mogilevskii gosudarstvennyi universitet imeni A. A. Kuleshova", *Sposob provedeniya infrakrasnoi spektroskopii tverdogfaznykh i/ili zhidkikh i/ili vyazkikh i/ili gazoobraznykh veshchestv* [A method of solid-phase infrared spectroscopy and/or liquid and/or viscous and/or gaseous substances], Baza patentov Belarusi, BY, Pat. 11876.
13. Egorov V.V., Nazarov V.A., Okaev E.B. and Pavlova T.E., "New sulfate selective electrode and its application in the analysis", *Journal of Analytical Chemistry*, 2006, vol. 61, no. 4, pp. 416–422.
14. Bazarov Ts.T., Sarapulova A.E. and Bazarov B.G., "Vibrational spectra of ternary molybdates thallium, divalent metals and zirconium", *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Buryat State University], 2011, no. 3, pp. 3–7.
15. Nakamoto K., *IK-spektry i spektry KR neorganicheskikh i koordinatsionnykh soedinenii* [Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds], Mir, Moscow, RU, 1991.

Информация об авторах

Рахманько Евгений Михайлович – д-р хим. наук, профессор, зав. кафедрой аналит. химии, Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 14, 220030, Минск, Республика Беларусь).

Матвейчук Юлия Владимировна – канд. хим. наук, доцент кафедры химии, Могилевский государственный университет продовольствия (просп. Шмидта, 3, 212027, Могилев, Республика Беларусь). E-mail: Yu_Matveychuk@mail.ru.

Information about the authors

Rakh'manko Evgenii Mikhailovich – D. Sc. (Chemistry), Professor, Head of the Department of Analytical Chemistry, Belarusian State University, (14 Leningradskaya Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus).

Matveychuk Yulya Vladimirovna – Ph. D. (Chemistry), Associate Professor, Chemistry Department of Mogilev State University of Food Technologies (3 Shmidta Ave., 21202, Mogilev, Republic of Belarus). E-mail: Yu_Matveychuk@mail.ru.

Копырин Артем Дмитриевич – магистрант кафедры аналит. химии, Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 14, 220030, Минск, Республика Беларусь). E-mail: Artikop@inbox.lv.

Потапкин Никита Владимирович – студент 5-го курса кафедры аналит. химии, Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 14, 220030, Минск, Республика Беларусь).

Для цитирования

Молибдат-селективный электрод на основе высших четвертичных аммониевых солей / Е. М. Рахманько [и др.] // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2017. – № 2. – С. 44–50.

Kopyrin Artyom Dmitrievich – Master of the Department of analytical chemistry, Belarusian State University. (14 Leningradskaya Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Artikop@inbox.lv.

Potapkin Nikita Vladimirovich – Student of the 5th year of the department of analytical chemistry, Belarusian State University (14 Leningradskaya Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus).

For citation

Rakhman'ko E. M., Matveichuk Yu. V., Kopyrin A. D., Potapkin N. V. Molybdate selective electrode based on higher quaternary ammonium salts. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk*. [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, chemical series], 2017, no. 2, pp. 44–50. (In Russian).