

**REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 2224-5227

Volume 1, Number 305 (2016), 57 – 64

UDC 541.13

**ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF SULPHUR-GRAPHITE COMPOSITE  
ELECTRODE IN SOLUTION OF CALCIUM CHLORIDE**

**A.B.Baeshov<sup>1</sup>, A.E.Konurbaev<sup>2</sup>, A.K.Baeshova<sup>3</sup>, A.A.Adaybekova<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>«Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky», Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan  
[bayeshov@mail.ru](mailto:bayeshov@mail.ru), [777altin@mail.ru](mailto:777altin@mail.ru)

**Key words:** sulfur, graphite, calcium chloride, electrode, polarization, the cell, the electrolyte

**Abstract.** For the first time the regularities of dissolution of sulfur-graphite electrode in calcium chloride a solution by the method of removing the cyclic potentiodynamic polarization curves. The influence of the concentration of calcium chloride, the potential sweep rate and temperature of the solution in the oxidation of sulfur in the consist of the composite sulfur-graphite electrode.

It is shown that the removal of the cathode-anode cyclic polarization curves in the composite sulfur electrode at the potential bias in the cathodic direction, at "minus" 0,5 polarograms were observed on the current recovery of sulfur to polysulfide ions, and the electrode surface is painted in yellow. By moving the potential till "minus" 1,5 allocation of hydrogen was not observed. By moving potential from cathode to anodic region at the potential of the "minus" 0,3 on polarogram was recorded at a maximum current of oxidation of the polysulfide ions to sulfur, and in the area of potential "plus" 1,2 the formation of oxygen was fixed.

It is found that with increasing concentration of calcium chloride in the range 25 - 150 g/l, and the sweep rate of the potential (25-150 mV/s), the reduction current value increased linearly.

The influence of the temperature of the electrolyte in the process of cathodic reduction of sulfur was studied and it is shown that with increasing temperature in the range of 25-65 °C the amount of current sulfur recovery grows. The effective activation energy of the calculated depending  $I_{gi} - 1/T$  is 2,97-10,48 kJ / mol, which indicated the occurrence of reduction reaction of sulfur in diffusion mode.

ӘОЖ 541.13

**КОМПОЗИЦИЯЛЫ КҮКІРТ-ГРАФИТ ЭЛЕКТРОДЫНЫҢ КАЛЬЦИЙ ХЛОРИДІ  
ЕРІТІНДІСІНДЕГІ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ**

**А.Б.Баешов<sup>1</sup>, А.Е.Конурбаев<sup>2</sup>, А.К.Баешова<sup>3</sup>, А.А.Адайбекова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>«Д.В.Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты»АҚ, Алматы,  
Казакстан<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ-Ұлттық университеті, Алматы, Қазакстан

[bayeshov@mail.ru](mailto:bayeshov@mail.ru), [777altin@mail.ru](mailto:777altin@mail.ru)

**Түйінсөздер:** күкірт, графит, кальций хлориді, электрод, поляризация, электролизер, электролит.

**Аннотация.** Алғаш рет күкірт-графит композициялық электродының кальций хлориді ерітіндісінде электрохимиялық еру заңдылықтары циклдік және катодтық потенциодинамикалық поляризациялық қисықтар түсіру арқылы анықталды. Күкірт-графит электродының тотықсыздану процесінекальций хлориді концентрациясының, потенциал өзгеру жылдамдығының және электролит температурасының әсерлері зерттелді.

Композициялы күкірт-графит электродында кальций хлориді ерітіндісінде катодты-анодты циклдік потенциодинамикалық поляризациялық қисықтар түсіргендеге, потенциалды катод бағытына қарай ығыстырылғанда, «минус» 0,5 В-тан бастап күкірттің полисульфид –иондарына дейін тотықсыздандану тоғы байқалады, ал бұл кезде электрод беті сарғыш түске боялады. «Минус» 1,5

В-қа катодта сутек газының бөлінбейтіндігі көрсетілді. Ал потенциалды катодтан анод бағытына қарай ығыстырғанда, «минус» 0,3 В мәнінде полярограммада түзілген полисульфид – иондарының қайтадан элементті құқіртке дейін тотығу максимумы тіркеледі. «Плюс» 1,2 В потенциалдарында оттектің бөлінүү тоғы байқалады.

Кальций хлоридінің концентрациясы 25 – 150 г/л аралығында және потенциал беру жылдамдығы (25-150 мВ/с) артуы кезінде құқірттің тотықсыздану тоғының мәні түзу сызықты түрде өссетіндігі анықталды.

Электролит температурасы 25-65<sup>0</sup>C интервалында өскенде, вольтамперметрлік қисықтағы катодтықтоқмәндерінің өссетіндігі көрсетілді. Температура және ток логарифмі тәуелділіктері

( $Ig i - \frac{1}{T}$ ) негізінде есептелген эффективті активтендіру энергиясының мәндері 2,97 – 10,48 кДж/моль-ге тең, бұл кальций хлориді ерітіндісінде құқірт электродының катодты тотықсыздануы диффузиялық режимде жүретіндігін көрсетеді.

Қазіргі кезде мұнай-газ өндіріс саласының дамуына байланысты, қоршаған ортаның өндірістік қалдықтармен ластану мәселесі туындалған отыр. Қазақстанда алынатын мұнайдың көп бөлігінде құқірттің мөлшері жоғары болып табылады. Мұнай және мұнай өнімдерін өндеву кезінде құқірт негізгі қалдықтардың біріретінде қарастырылады [1].

Құқірт және оның қосылыстарының физика-химиялық қасиеттерін білу, ұтымды және қарапайым жаңа технологияларды жасау кезінде өте қажет [2-11]. Осыдан басқа элементарлы құқірттің қажетті қосылыстарын алудың жаңа тәсілдерін жасау бүгінгі күннің өзекті проблемаларының бірі. Сол себепті, құқірт және оның әртүрлі қосылыстарын алу үшін оның электрохимиялық қасиеттерін жан-жақты зерттеу қажеттіліктері туындауды [12-15]. Құқірт диэлектрлік қасиетке ие, демек ток өткізбейді, сол себепті оның электрохимиялық қасиеттерін зерттеу үшін композициялық электрод жасалды. Ол үшін ұнтаққұқірт пен графиттен біркелкі қоспа дайындалып, электрод ретінде пайдаланылды. Мұндай электродты композициялық құқірт-графит электроды деп атауға болады. Айта кету керек, графит электроды инертті болғандықтан, тотығу-тотықсыздану процесіне қатыспайды. Графит электр тоғын жақсы өткізетіндіктен, оны электр тоғын өткізуі қамтамасыз ететін зат ретінде қолданылды.

Алдын-ала жүргізілген зерттеулер құқірт электродының кальций хлориді ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеттің зерттеу кезінде, кальций сульфиді – яғни люминоформда, медицина саласындағанда тері өндірісінде қолдануына мүмкіндік беретін өнім түзілетіндігін көрсетті [16].

Құқірт-графит композициялық электроды құрамындағы құқірттің кальций хлориді ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеттің анықтау мақсатында анод-катодты және катод-анодты циклді потенциодинамикалық поляризациялық қисықтары түсірілді.

Потенциодинамикалық поляризациялық қисықтар түсіру үшін «Autolab» потенциостаты қолданылды. «Autolab» потенциостат/гальваностат коррозиялық зерттеулерде, биоэлектрохимия, аккумуляторлық батерияларды зерттеуде және басқа да көптеген бағыттарда қолданылатындығы белгілі. Эксперименттер электрод кеңістіктері бөлінген үш электродты ұышыкта жүргізілді. Жұмысшы электрод ретінде арнайы дайындалған құқірт-графит (C:S = 50:50) электродының беттік шеті пайдаланылды, екінші қосымша электрод ретінде платина сымы алынды. Барлық потенциал мәндері қанаққан калий хлориді ерітіндісіне салынған күмісхlorлы салыстыру электродына салыстыра келтірілген (+0,203В).

Құқірт-графит электродының кальций хлориді ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеттерінегізінен концентрациясы 100 г/л кальций хлориді ерітіндісінде анодты-катодты және катодты-анодты циклді поляризациялық қисықтар түсіру арқылы зерттелді.

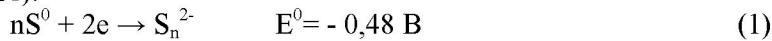
Әрбір тәжірибе алдында электрод ұнтақтылығы 2000 болатын түрпі (наждак) материалында тегістеліп, сумен шайылып, соңынан фильтр қағазымен мұқият сүртілді.

Катодты процесс кезінде құқірттің тотықсыздануына стандартты потенциалдардың нақты анықталған мәні жоқ. Әдеби деректер бойынша ол мәндер «минус» 0,48 В және «минус» 0,58 В аралығында ауытқиды, бірақ көп жағдайда «минус» 0,48 В потенциалға тең болады [2].

Әдеби деректер бойынша [17-18] натрий және калий гидроксиді ерітінділерінде құқірттің катодты тотықсыздану кезінде, электрод беті кеңістігіндегі электролит сарғылт түске боялады, яғни бұл полисульфид-иондарының түзілгендерін көрсетеді. Құқірт-графит электродында сутек

газы бөлінбейді. Бұл жерде катодты токтың тек қүкірттің полисульфид-және моносульфид-иондарға дейін тотықсыздануына кеткенін дәлелдейді.

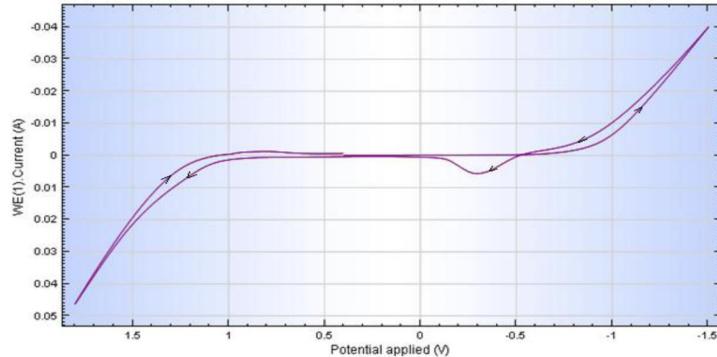
Кальций хлориді ерітіндісінде қүкірт композициялық электродының катодты-анодты циклдік полярограммасында потенциалды «плюс» 0,40 В-тан катод бағытына қарай ығыстырганда, «минус» 0,5В потенциалда қүкірттің полисульфид-ион түзе тотықсыздану тоғы тіркелді (1 – сурет):



жоғарыда көрсетілген потенциалдан бастап, электрод беті сарғылт түске боялады. Полисульфид - ионы әрі қарай моносульфидке дейін тотықсызданады деп жорамалдауға болады:



«минус» 1,5 В-қа дейін катодта сутек иондарының тотықсыздану тоғы және сутек газының бөлінуі байқалмайды, демек электродта(1) және (2) реакция орын алуда.



v=20mB/c; t=25°C; 100 g/lCaCl<sub>2</sub>;

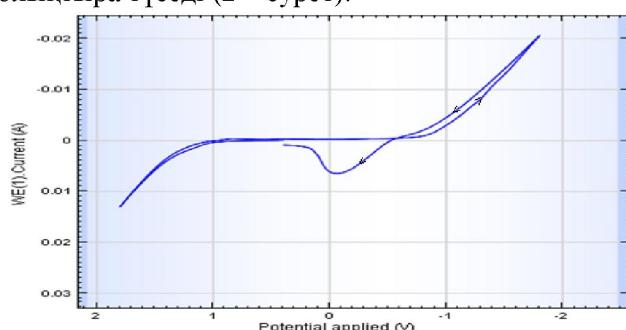
1-сурет – Күкірт-графит электродының кальций хлориді ерітіндісіндегі циклдік катодты-анодты потенциодинамикалық поляризациялық қисығы

Күкірт-графит электродының потенциалын катодтан анод бағытына қарай ығыстырганда, «минус» 0,30 В потенциалдар аумағында түзілген полисульфид-иондарының анодты тотығу максимумы полярограммада тіркелді:



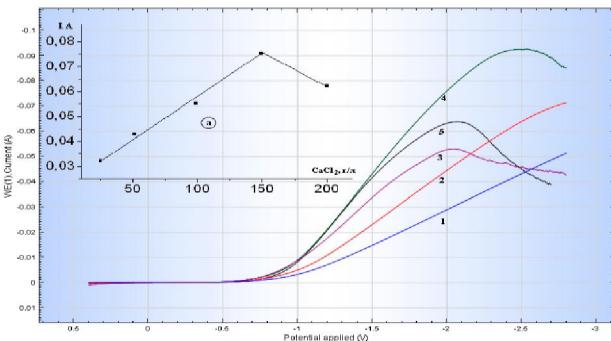
«Плюс» 1,2 В потенциалдарында оттек газының бөлінуі байқалады. Оттектің бөліну потенциалдарында, элементті қүкірттің төрт және алты валентті қүйге дейін тотығу реакциялары да жүруі мүмкін, бірақ бұл иондардың түзілуі туралы мәліметтер полярограммада тіркелмейді.

Күкірт электродында түсірілген анодтық-катодтық циклдік поляризациялық қисықтар осы келтірілген мәліметтерді толықтыра түседі (2 – сурет).



v=20mB/c; t=25°C; 100g/lCaCl<sub>2</sub>;

2-сурет – Күкірт-графит электродының кальций хлориді ерітіндісіндегі циклдік анодты-катодты потенциодинамикалық поляризациялық қисығы

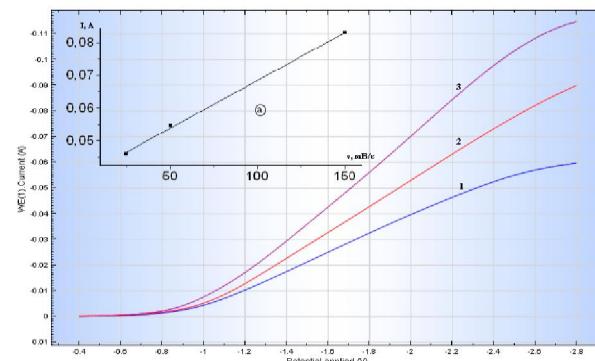


$v=20\text{mB/c}$ ;  $t=25^\circ\text{C}$ ;  $\text{CaCl}_2$ , г/л: 1) 25; 2) 50; 3) 100; 4) 150; 5) 200;

3-сурет – Күкірт-графит электродының түрлі кальций хлориді ерітінділердегі катодты потенциодинамикалық поляризациялық кисықтары (а – катод потенциалы «минус» 2,0 В болған кездеңі күкірттің тотықсыздану тоқтарының мәндерінің кальций хлориді концентрациясына тәуелділігі)

Кальций хлориді ерітіндісінің концентрациясын арттыру барысында, күкірттің тотықсыздану жылдамдығының өсуі байқалады. Электрод потенциалы «минус» 2,0 В болғанда, тотықсыздану тоғының мәні  $\text{CaCl}_2$  25 г/л болғанда 0,030 А болса, ал 150 г/л-де 0,075 А тең болды (3-сурет). Кальций хлоридінің одан да жоғары концентрацияларында катодтық потенциалдарда поляраграммада катодты тоғының тәмендеуі тіркелді, күкірттің бұл кездеңі еру жылдамдығының тәмендеуін электрод бетінің кальций сульфиді қосылысымен қапталуымен түсіндіруге болады, себебі, бұл қосылыстың ерігіштігі тәмен. Кальций хлориді ерітіндісінің концентрациясын арттырган сайын катод бетіндегі электролит сары түске бояла бастайды.

Потенциал беру жылдамдығының артуында күкірт-графит электродының тотықсыздану тоғының өсуі поляраграммада байқалады (4-сурет).



100 г/л  $\text{CaCl}_2$ ;  $t=25^\circ\text{C}$ ;  $v, \text{mB/c}$ : 1) 25; 2) 50; 3) 150;

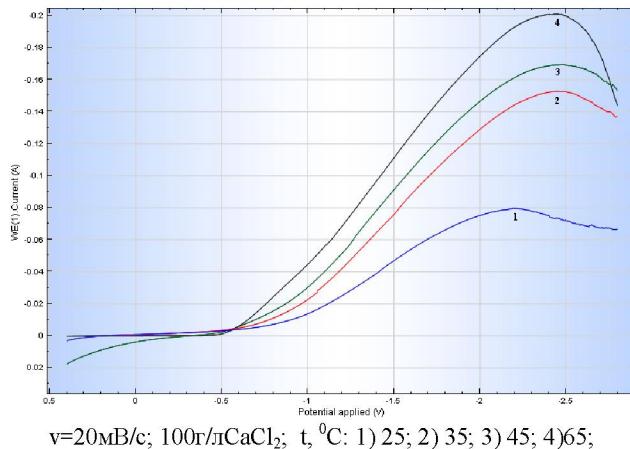
4-сурет – Кальций хлориді ерітіндісінде күкірт-графит электродының катодты потенциодинамикалық поляризациялық кисықтарына потенциал беру жылдамдығының өсері (а – катод потенциалы «минус» 2,2 В болған кездеңі күкірттің тотықсыздану тоқтарының ( $I$ ) мәндерінің потенциал беру жылдамдығына( $v$ ) тәуелділігі)

Кальций хлориді ерітіндісінде күкірт-графит электродының тотықсыздануына ерітінді температурасының өсері  $25\text{-}65^\circ\text{C}$  интервалында зерттелінді (5-сурет). Электролит температурасы артқан сайын вольтамперлік кисықтағы катодтық ток максимумының мәні жоғарылайды. Горбачев [19-20] әдісі бойынша  $\lg_{10} - 1/T$  тәуелділік графигінен эффективті активтену энергиясының мәні есептелді (6-сурет), оның мәндері 2,97 – 10,48 кДж/моль-ге тең болды, бұл кальций хлориді ерітіндісінде күкірт-графит электродының катодты тотықсыздануы реакциясы диффузиялық шектеумен жүретіндігін көрсетеді (1-кесте).

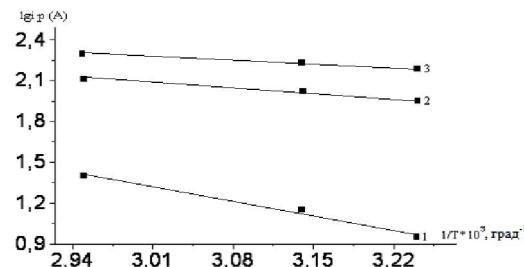
1-кесте – Әр түрлі аса кернеулік мәндеріндегі эффективті активтену энергиясының мәні

$\Delta E, \text{мВ}$	-800	-1600	-2400
-----------------------	------	-------	-------

$E_{\text{эф}}$ , кДж/моль	10,48	3,76	2,97
----------------------------	-------	------	------

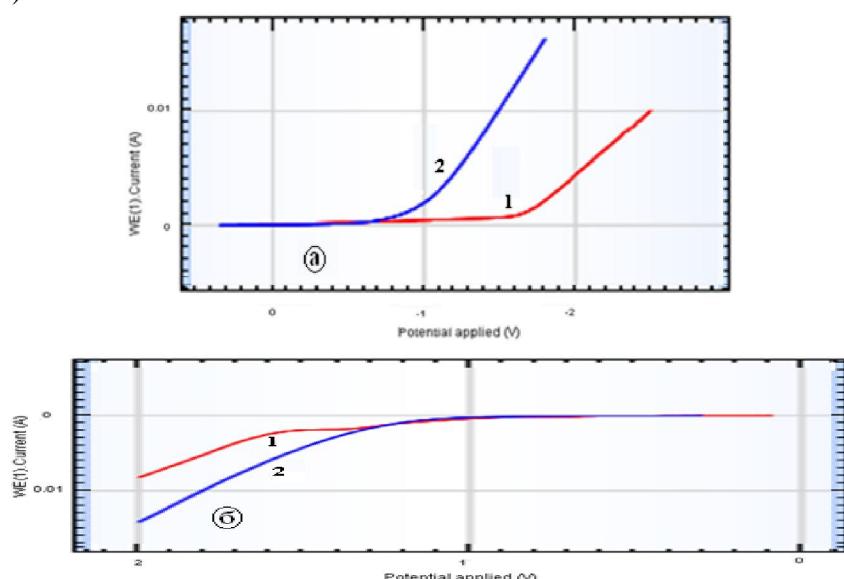


5-сурет – Күкірт-графит электродының түрлі температурадағы катодты потенциодинамикалық поляризациялық қисықтары



$\Delta E$ , мВ: 1 – 800; 2 – 1600; 3 – 2400;  
6-сурет – Өр түрлі аса кернеулік мәндеріндегі  $\lg I$  мәнінің ерітінді температурасына ( $1/T$ ) тәуелділігі

Кальций хлориді ерітіндесінде күкірт-графит электродында жүретін реакцияларды терен түсіну мақсатында графит электродында да катодты және анодты поляризациялық қисықтар тұсірілді (7 – сурет).

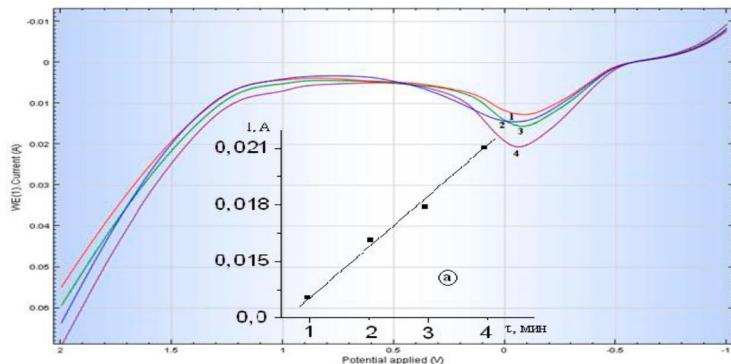
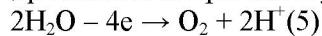


Егер назар аударатын болсак, күкірт-графит электродында «минус» 0,5-0,7 В потенциалдар

аумағында күкірттің тотықсыздану реакциясы іске асады, ал графит электродында «минус» 1,7 В потенциалдарында су молекуласының тотықсыздану реакциясы жүреді (7 – сурет):

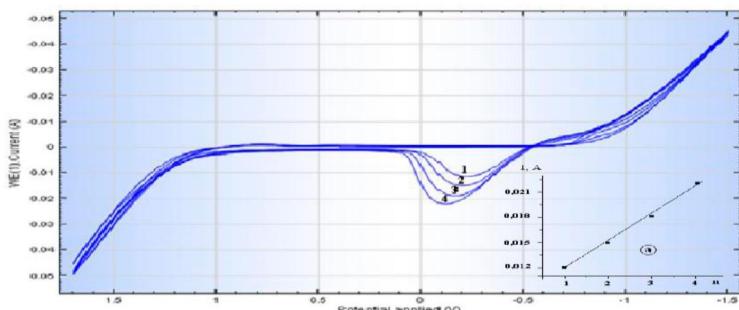


Графит электродының анодты поляризациялық қисығында оттек бөлінуі «плюс» 1,70 В байқалады, ал күкірт-графит электродында тотығу реакциясы «плюс» 1,15 В-та тіркелді. Демек, осы потенциалдарда күкірт электроды тотығып, ол біртіндеп сутек молекуласы мен гидроксидиондарынан оттек түзе тотығу реакциясына жалғасады деп жорамалдауга болады:



$100\text{г/лCaCl}_2; v=20\text{мВ/с}; t=25^\circ\text{C}; E_b\text{ const}=-1,0\text{В};$   
 $t, \text{мин}; 1-1; 2-2; 3-3; 4-4;$

8-сурет – Алдын-ала «минус» 1,0 В-та әр түрлі уақытта поляризацияланған күкірт-графит электродының анодты потенциодинамикалық поляризациялық қисығы (а – катод потенциалы «минус» 2,0 В) поляризация кездеңі күкірттің тотықсыздану тоқтарының ( $I$ ) мәндерінің уақытқа( $t$ ) тәуелділігі)



$v=20\text{мВ/с}, t=25^\circ\text{C}; 100 \text{ г/лCaCl}_2;$

9-сурет – Кальций хлориді ерітіндісіндегі күкірт-графит электродында бірнеше рет қайталанып түсірілген катодты-анодты және анодты-катодты потенциодинамикалық поляризациялық қисықтары (а – түзілген полисульфид иондарының тотығу максимумдарының ( $I$ ) қайталау ретіне ( $n$ ) тәуелділігі)

Кальций хлориді ерітіндісінде күкірт-графит электродының циклдік катодты-анодты және анодты-катодты потенциодинамикалық поляризациялық қисығының қайталанымдылығы зерттелді. Полярограммандық қайталанымдылық реті артқан сайын анодқа қарай бағытталған кездеңі полисульфид-иондарының тотықсыздану тоғының максимумының мәні өссе бастайтындығын 9 – суретте көлтірілген циклдік поляризациялық қисықтар көруге болады.

Қорыта айтқанда, алғаш рет күкірт-графит композициялық электродының кальций хлориді ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеті-анодты, катодты және циклдік поляризациялық қисықтар түсіру арқылы зерттелді. Алынған мәліметтер мен заңдылықтарды теориялық, практикалық мәнге ие және өнеркәсіпте кеңінен пайдаланылатын кальций сульфиді қосылысын алу технологиясын жасауда қолдануға болады.

## ӘДЕБИЕТ

- [1] Баешов А. Б., Жданов С. И., Тулебаев А. К. и др. Электрохимия серы и ее соединений // Алматы: Гылым. -1997, 160 с.
- [2] Бірімжанов Б.А. Жалпы химия // Алматы: әл-Фараби атындағы Қазақ Үлттүк университеті. – 2001, 744 б.
- [3] Петров М.М., Михилев Л.А., Кукушкин Ю.Н. Неорганическая химия // М.: Химия. -1974, 422 с.
- [4] Бондарь Л.П., Петровская М.А., Пилипчук Л.А. и др. //Структура и электрофизические свойства серы: обзор. Инф. ВНИПИ. – М.: НИИГЭхим. -1983., 31 с.
- [5] Бондарь Л.П., Бороховский В.А., Дацко Р.П. и др. Физико-химические свойства серы // ВНИПИ сера.- М.:НИИГЭхим. - 1985, 40 с.
- [6] Markov V.V., Melihova L.G., Eliseev A.A. Preprint of XXIII IUPAC international Symposium on Macromolecules. – Madrid. -1974, Vol. 2, № 3. - P. 2-12.
- [7] Химическая энциклопедия: в 5-ти томах // М.: Сов.энциклопедия. – 1990, Т. 2, 672 с.
- [8] Крючкова-Чернобельская Г.М. Неорганическая химия. -3-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1980. – 302 с.
- [9] Шамшин Д.Л. Неорганическая химия / под ред. Г.Г.Лучинского // М.: Высшая школа. – 1975, 302 с.
- [10] Князев А., Смарыгин С.Н. Неорганическая химия. 3-е издание // М.:2005,804 с.
- [11] Грунвальд В.Р. Техника газовой серы // М.: Химия . -1992, 272 с.
- [12] M. Bouroushian Electrochemistry of Metal Chalcogenides Springer-verlag Berlin Heidelberg, London.- 2010, P 68-72.
- [13] Electrochemistry of Sulfur and Polysulfides in Ionic Liquids The Journal of PHYSICAL CHEMISRTY B.-2011, №115,13873р.
- [14] Жданов С.И. Электрохимическое поведение серы и ее неорганических соединений // Журн. Электрохимия. Итоги науки и техники. – М.: ВИНТИИ. -1981, Т. 17. - С. 230-283.
- [15] Allen P.L., Hikling A. Their Potentials in Aqueous Solutions and Ed., Prentice-Hall // Trans. Faraday Soc. –1957, Vol.53, № 3, Р 626.
- [16] Асабаева З.К., Баешов А.Б., Баешова С.А. Элементті күкірттің кальций хлориді ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеті // КР тұнғыш президенттің қоры (жас галымдар кенесі) Қазіргі Қазақстандағы инновациялық даму және ғылыминың қажеттілігі: атты III ғылыми конф. мақалалар жинағы – Алматы. – 2009, Т. 3, Б. 128-129.
- [17] Баешов А.Б., Омарова А., Баешова С., Капсалимов Б. Электрохимическое поведение элементной серы в щелочной среде при катодной поляризации // Химия и химическая технология: тез. Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Алматы. -2004, С. 70-72.
- [18] Баешов А.Б., Асабаева З.К., Баешова С.А., Ногербеков Б.Ю., Композициялық күкірт электродының натрий гидроксиді ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеті // КР ҰҒА Хабарлары. Химия сериясы. – 2007, № 6, Б. 32-34.
- [19] Левин А.И. Теоретические основы электрохимии // М.:Металлургия.-1972,432 с.
- [20] Горбачев С.В. Влияние температуры на электролиз как кинетический метод исследования природы электрохимических процессов // Труды IV всесоюзного совещания по электрохимии. – М.: Наука.-1959, С. 61-71.

## REFERENCES

- [1] Baeshov A.B., Zhdanov S.I., Tulebaev A.K. Electrochemistry of sulphur and its connections. *Almaty: Gylym, 1997*, 160 (in Russ.).
- [2] Birimzhanov B.A. General chemistry. *Almaty: KazNU n/a al-Farabi, 2001*, 744 (in Kaz).
- [3] Petrov M.M., Mikhilev L.A., Kukushkin Yu.N. Inorganic chemistry. *M.: Khimiya, 1974*, 422 (in Russ).
- [4] Bondar' L.P., Petrivskaya M.A., Pilipchuk L.A. Structure and electrophysics properties of sulphur. *M.: NITEHkhim., 1983*, 31 (in Russ.).
- [5] Bondar' L.P., Borokhovskij V.A., Datsko R.P. Physical and chemical properties of sulphur. *M.: NITEHkhim., 1985*, 40 (in Russ.).
- [6] Markov V.V., Melihova L.G., Eliseev A.A. Preprint of XXIII IUPAC international Symposium on Macromolecules. - Madrid, **1974**, 3, 2-12 (in Eng.).
- [7] Chemical encyclopedia in five volumes. *M.: Sov.ehntsiklopediya, 1990*, 2, 672 (in Russ).
- [8] Kryuchkova-Chernobelskaya G.M. Inorganic chemistry. *M.: Meditsina, 1980*, 302 (in Russ).
- [9] Shamshin D.L. Inorganic chemistry. *M.: Vysshayashkola, 1975*, 302 (in Russ).
- [10] Knyazev A., Smarygin S.N. Inorganic chemistry. *M.: 2005*, 804 (in Russ).
- [11] Grunval'd V.R. Technique of gas sulphur. *M.: Chemistry, 1992*, 272 (in Russ).
- [12] Bouroushian M. Berlin Heidelberg, *London, 2010*, 68-72 (in Eng.).
- [13] Electrochemistry of Sulfur and Polysulfides in Ionic Liquids. *The Journal of Physical Chemistry B*, **2011**, 115,13873 (in Eng.).
- [14] Zhdanov S.I. The Journal Electrochemistry, Results of science and technique. *M.: VINITI, 1981*, 17, 230-283 (in Russ).
- [15] Allen P.L., Hikling A. Their Potentials in Aqueous Solutions and Ed., Prentice Hall Trans. Faraday. Soc. – **1957**, 3, 1626 (in Eng.).
- [16] Asabaeva Z.K., Baeshov A.B., Baeshova S.A. Solution of calcium chloride electrochemical properties of elemental sulfur // Fund of the First President of the Republic of Kazakhstan (the Council of young scientists) of the need for innovation and the development of science in Kazakhstan: III scientific conference. The collection of articles – *Almaty, 2009*, 128-129 (in Kaz).
- [17] Baeshov A.B., Omarova A., Baeshova S., Kapsalyamov B. Electrochemical behavior of elemental sulfur in an alkaline medium in the cathodic polarization // Chemistry and Chemical Engineering: mes. Intern. scientific and practical. Conf. young

Scientists. Almaty, 2004, 70-72 (in Russ).

[18] Baeshov A.B., Asabaeva Z.K., Baeshova S.A., Nogerbekov B.Yu. Solution of sodium hydroxide sulfur composite electrode electrochemical properties // News of NAS RK. 2007, 4, 32-34 (in Kaz).

[19] Levin A.I. Theoretical Foundations of Electrochemistry // Moscow: Metallurgy, 1972, 432 (in Russ).

[20] Gorbachev S.V. Effect of temperature on electrolysis as a method for studying the kinetic nature of the electrochemical processes // Proceedings of IV All-Union Conference on Electrochemistry. M.: Nauka, 1959, 61-71 (in Russ).

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО СЕРА-ГРАФИТОВОГО ЭЛЕКТРОДА В РАСТВОРЕ ХЛОРИДА КАЛЬЦИЯ

А.Б.Баев<sup>1</sup>, А.Е.Конурбаев<sup>2</sup>, А.К.Баевова<sup>3</sup>, А.А.Адайбекова<sup>4</sup>

**Ключевые слова:** сера, графит, хлорид кальция, электрод, поляризация, электролизер, электролит

**Аннотация.** Впервые установлены закономерности растворения композиционного сера-графитового электрода в растворе хлорида кальция методом снятия циклических потенциодинамических поляризационных кривых. Изучено влияние концентрации хлорида кальция, скорости развертки потенциала и температуры раствора на процесс окисления серы в составе композиционного сера-графитового электрода.

Показано, что при снятии катодно-анодных циклических поляризационных кривых на композиционном сера-электроде при смещении потенциала в катодном направлении, при «минус» 0,5 В на полярограмме наблюдается ток восстановления серы до полисульфид-ионов, поверхность электрода окрашивается в желтый цвет. При смещении потенциала до «минус» 1,5 В выделение водорода не наблюдается. При смещении потенциала от катодной в анодную область при потенциале «минус» 0,3 В на полярограмме фиксируется максимум тока окисления полисульфид-ионов до серы, а в области потенциалов «плюс» 1,2 В фиксируется ток образования кислорода.

Установлено, что с увеличением концентрации хлорида кальция в пределах 25 – 150 г/л и скорости развертки потенциала (25-150 мВ/с) величина тока восстановления прямо линейно увеличивается.

Изучено влияние температуры электролита на процесс катодного восстановления серы и показано, что с увеличением температуры в пределах 25-65 °C величина токавосстановления серы растет. Величина эффективной энергии активации, рассчитанной из зависимости  $\lg -\frac{1}{T}$ , составляет 2,97-10,48 кДж/моль, что свидетельствует о протекании реакции восстановления серы в диффузионном режиме.

Поступила 12.01.2016 г.