

Рис. 5. Спектры поглощения (1, 3) и фотолюминесценции (2, 4) коллоидных растворов наночастиц CdSe, полученных импульсным электролизом в аммиачном электролите при интервале импульсов тока 1 (1, 2) и 5 с (3, 4).

частиц малого размера (1—2 нм). Из рис. 5 видно, что уменьшение длительности импульсов катодного тока плотностью 300 мА/см<sup>2</sup> приводит к повышению оптического поглощения в области ультрафиолетового света (спектр 1) и увеличению экситонной фотолюминесценции (спектр 2).

Таким образом, методом электрохимического синтеза, в зависимости от условий проведения электролиза и исходного состава электролита, были получены коллоидные растворы и порошки наночастиц селенида кадмия размерами от 1.2 до 5 нм. Эти наночастицы представляют интерес для даль-

нейшего синтеза оптического нанокompозита на основе жидкокристаллической матрицы.

**РЕЗЮМЕ.** Методом электросинтезу отримано колоїдні розчини та порошки з наночастками CdSe з розмірами 1—5 нм. Показано, що режим проведення електролізу та співвідношення концентрацій Cd<sup>2+</sup> і SeO<sub>3</sub><sup>2-</sup> у вихідному розчині електроліту впливають на розмір та структуру нанокристалів CdSe.

**SUMMARY.** Colloidal solutions and powders of CdSe nanoparticles with size from 1 to 5 nm were obtained by the electrosynthesis. It has been shown that regime of the electrolysis and the concentration ratio of Cd<sup>2+</sup> and SeO<sub>3</sub><sup>2-</sup> in the initial electrolyte affect on the structure and size of CdSe nanocrystals.

1. Trindade Tito, O'Brien Paul, Pickett Nigel L. // Chem. of Materials. -2001. -13, № 11. - P. 3843—3858.
2. Raevskaya A.E., Stroyuk A L., Kuchmiy S.Ya. // J. Colloid and Interface Science. -2006. -302. -P. 133—141.
3. Sun-Ki Min, Oh-Sim Joo, Kwang-Deog Jung et al. // Electrochem. Communications. -2006. -8. -P. 223—226.
4. Torsten Hegmann, Hao Qi, Vanessa M. Marx // J. Inorg. and Organomet. Polymers and Materials. -2007. -17, № 3. -P. 483—508.
5. Bacherikov Yu.Yu., Davydenko M.O., Dmytruk A.M. et al. // Semiconductor Phys., Quantum Electronics&Optoelectronics. -2006. -9, № 2. -P. 75—79.
6. Pawar S.M., Moholkar A.V., Bhosale C.H. // Materials Lett. -2007. -61. -P. 1034—1038.

Институт общей и неорганической химии им. В.И. Вернадского НАН Украины, Киев

Поступила 30.11.2010

УДК 544.654.2:542.9:546.98

**В.С. Кублановский, В.Н. Никитенко, К.П. Руденко**

### **ЭНЕРГИЯ АКТИВАЦИИ ЭЛЕКТРОВОССТАНОВЛЕНИЯ бис-ГИДРОКСИЭТИЛИМИНОДИАЦЕТАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПАЛЛАДИЯ (II)**

Определены кинетические параметры (токи обмена, кажущиеся коэффициенты переноса электрона), энергии активации диффузии и реакции перехода электровосстановления бис-гидроксиэтилиминодиацетатных комплексов палладия (II) из электролита, содержащего избыток свободного лиганда. Показано, что скорость электродного процесса лимитируется смешанной кинетикой.

**ВВЕДЕНИЕ.** Исследованию кинетики и механизма электровосстановления комплексонатов палладия (II) в последнее время уделяется значитель-

ное внимание [1—8]. Высокая каталитическая активность палладия, уникальные физико-химические и функциональные свойства палладиевых покрыв-

© В.С. Кублановский, В.Н. Никитенко, К.П. Руденко, 2011

тий делают их практически незаменимыми во многих отраслях промышленности. Палладий и его комплексные соединения широко используются, в частности, в неорганических и органических синтезах, микроэлектронике, аналитической химии, электрохимии, биологии и медицине [9].

В микроэлектронике для нанесения функциональных покрытий палладием и его сплавами широко используются электролиты на основе комплексонов, поскольку они нетоксичны, устойчивы и легко утилизируются [10].

Комплексоны — полидентатные лиганды ацидного типа образуют широкий спектр комплексных соединений практически со всеми ионами металлов, характеризующихся высокой прочностью химических связей вследствие их циклического строения. Комплексоны имеют также ярко выраженную способность к совместимости с лигандами слабого поля в одной координационной сфере полилигандного комплекса. Научно обоснованные критерии выбора лигандов для полилигандных электролитов и условия их совместимости в одной координационной сфере при образовании разнолигандных комплексных соединений сформулированы в работе [11]. Сочетание правильно выбранных лигандов для полилигандных электролитов позволяет управлять торможением электродного процесса или отдельных его стадий и, следовательно, структурой и свойствами получаемых покрытий [11—13]. Преимуществом полилигандных электролитов является высокая буферная емкость и, следовательно, незначительное подщелачивание прикатодного слоя при длительной их эксплуатации.

В качестве объекта исследования выбраны аналог глицина и иминодиацетата гидроксиэтилиминодиацетат и гидроксиэтилиминодиацетатные комплексы палладия (II). Глицинатные (аминоацетатные) комплексы палладия (II) хорошо исследованы, поскольку представляют не только научный [1—8], но и практический [14, 15] интерес. Глицинатный электролит палладирования позволяет получать мелкокристаллические, хорошо сцепленные с основой палладиевые покрытия, отличающиеся повышенной пластичностью и устойчивостью к высоким температурам (400—600 °С), благодаря чему их можно использовать в качестве катализаторов [15].

*ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.* Энергия активации является фундаментальной кинетической характеристикой электродного процесса. Изучение энергии активации стадийного электрохимического про-

цесса, определение независимыми методами энергий активации отдельных его стадий и их соотношения представляет научный интерес, поскольку позволяет не только выявить лимитирующую стадию процесса, но и с научной обоснованностью подходить к управлению его кинетикой и, следовательно, структурой и свойствами получаемых покрытий.

Энергия активации электрохимического процесса пропорциональна общему перенапряжению  $\Delta E$  соответствующей электрохимической реакции и обусловлена разностью энергий исходного и конечного состояний исследуемой системы. Определяют энергию активации температурно-кинетическим методом из зависимости кинетических параметров электродного процесса, например, скорости электродной реакции от температуры, полученной при постоянном перенапряжении или потенциале электрода соответственно, используя уравнение Аррениуса [16].

Согласно современным научным воззрениям, необходимо различать идеальную  $W$  и реальную (фактическую)  $A$  [17, 18], а также формальную  $\Omega$  [19, 20] энергии активации стадийного электрохимического процесса.

В работах [17, 19] выведены уравнения, связывающие между собой идеальную энергию активации  $W$  при постоянном скачке гальвани-потенциала на границе электрод—раствор, реальную энергию активации  $A$ , определяемую при постоянном перенапряжении ( $\Delta E = \text{const}$ ), и формальную энергию активации  $\Omega$  стадийного электрохимического процесса, вычисляемую при постоянном электродном потенциале ( $E = \text{const}$ ) относительно произвольно выбранного электрода сравнения, имеющего одинаковую температуру с рабочим электродом. Поскольку величина отдельного скачка потенциала  $E$  недоступна измерению, экспериментально можно определить лишь реальную  $A$  и формальную  $\Omega$  энергии активации стадийного электрохимического процесса.

Электрохимические процессы могут лимитироваться предшествующей химической реакцией, замедленным разрядом, диффузией восстанавливающихся ионов к поверхности электрода, скоростью образования новой кристаллической фазы или адсорбцией деполаризатора, промежуточных или конечных продуктов его восстановления. Следовательно, в зависимости от природы лимитирующей стадии электрохимического процесса необходимо различать реальные энергии активации хи-

мической реакции  $A_r$ , перехода  $A_t$ , диффузии  $A_d$ , кристаллизации  $A_k$  и адсорбции  $A_a$ .

В работах [19, 20] приведены уравнения, связывающие фактическую реальную энергию активации  $A_f$  со скоростью катодного процесса, контролируемого диффузией восстанавливающихся ионов к поверхности электрода и реакцией перехода, при избытке индифферентного вещества и постоянной концентрации деполяризатора, током обмена, температурой и перенапряжением электродного процесса. Согласно [21], соотношение Бренстеда  $A_f = A_0 - \alpha z F \Delta E$ , связывающее реальную энергию активации  $A_f$  с перенапряжением  $\Delta E$ , справедливо лишь в области положительных значений энергии активации  $A_f \geq 0$ . Подробный анализ уравнений, приведенных в [19, 20], показывает, что при перенапряжении, равном нулю ( $\Delta E = 0$ ), скорость электродного процесса равна току обмена ( $j_k = j_a = j_0$ ), а фактическая реальная энергия активации  $A_f$  электродного процесса соответствует начальной (равновесной) энергии активации  $A_0$ . Энергия активации перехода  $A_r$ , вычисленная из соотношения Бренстеда с использованием величины “предельного” перенапряжения  $\Delta E^*$  [21] ( $\Delta E = \Delta E^*$ ;  $A_f = 0$ ), при котором система переходит в безактивационную область, то есть точка, в которой сходятся поляризационные кривые в координатах  $\lg j_k - \Delta E$ , снятые при различных температурах, равна начальной (равновесной) энергии активации  $A_0$  ( $\Delta E = 0$ ).

Необходимо подчеркнуть, что определение энергии активации перехода  $A_r$ , согласно [21, 22], возможно в том случае, если константа адсорбционного равновесия, константа скорости реакции и коэффициент переноса не зависят от температуры и перенапряжения  $\Delta E$ . В противном случае интерпретация полученных экспериментальных результатов становится неоднозначной.

Цель работы — определение кинетических параметров, фактической энергии активации  $A_f$  электродного процесса и ее составляющих энергий активации диффузии  $A_d$  и перехода  $A_t$  электровосстановления палладия (II) из гидроксиэтилиминодиацетатного электролита, содержащего избыток свободного лиганда.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.** Комплексы палладия (II) с гидроксиэтилиминодиацетатом ( $H_2heida$ ) синтезировали путем растворения хлорида палладия (II) при интенсивном перемешивании в растворе, содержащем 5-кратный избыток комплексона, при pH 1.0.

Исследуемые растворы готовили на бидистиллированной воде из синтезированного гидроксиэтилиминодиацетатного комплекса палладия (II) за несколько дней до проведения вольт-амперометрических измерений. Состав исследуемого электролита, моль·л<sup>-1</sup>: [Pdheida] —  $5.00 \cdot 10^{-4}$ ;  $H_2heida$  —  $5.00 \cdot 10^{-2}$ ;  $NaClO_4$  — 1.0; pH 2.0.

Методика вольт-амперометрических измерений подробно описана в работе [8]. Эксперименты проводили в электрохимической ячейке ЯСЭ-2 после предварительного пропускания через исследуемый электролит аргона в течение 60 мин при 23, 30, 40, 50 и 60 °С. Температуру электролита поддерживали с помощью термостата NBE (U-10) с точностью  $\pm 0.1$  °С.

Рабочий электрод представлял собой торец платиновой проволоки диаметром 1 мм, на который предварительно перед каждым опытом наносили слой палладия из хлоридно-аммонийного электролита [23] при плотности тока  $5 \text{ mA/cm}^2$  в течение 20 мин. В качестве вспомогательного электрода использовали запаянную в стекло платиновую проволоку. Значения потенциалов приведены относительно хлорсеребряного электрода сравнения.

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.** На стационарных  $E, j$ -кривых электровосстановления палладия (II) из гидроксиэтилиминодиацетатного электролита, содержащего избыток свободного лиганда, при pH 2.0 в атмосфере аргона наблюдается одна ступень предельного тока (рис. 1). Величина предельного тока прямо пропорциональна концентрации гидроксиэтилиминодиацетатных комплексов палладия (II).

Анализ нестационарных  $E, j$ -кривых (рис. 1, б) в координатах  $j_p - v^{1/2}$  [24], где  $j_p$  — ток пика,  $A \cdot \text{cm}^{-2}$ ;  $v$  — скорость развертки потенциала,  $V \cdot \text{c}^{-1}$ , позволил установить, что предельный ток восстановления бис-гидроксиэтилиминодиацетатных комплексов палладия (II) из электролита, содержащего избыток свободного лиганда, имеет диффузионную природу. Скорость электродного процесса описывается смешанной кинетикой — диффузией восстанавливающихся ионов к поверхности электрода и реакцией перехода.

Значения кинетических параметров (токи обмена, кажущиеся коэффициенты переноса) электровосстановления палладия (II) из гидроксиэтилиминодиацетатного электролита вычисляли из стационарных  $E, j$ -кривых, построенных в координатах  $\Delta E - \lg[(j - j_d)/(j_d - j)]$ , то есть с учетом влияния концентрационной поляризации на кинетику электро-

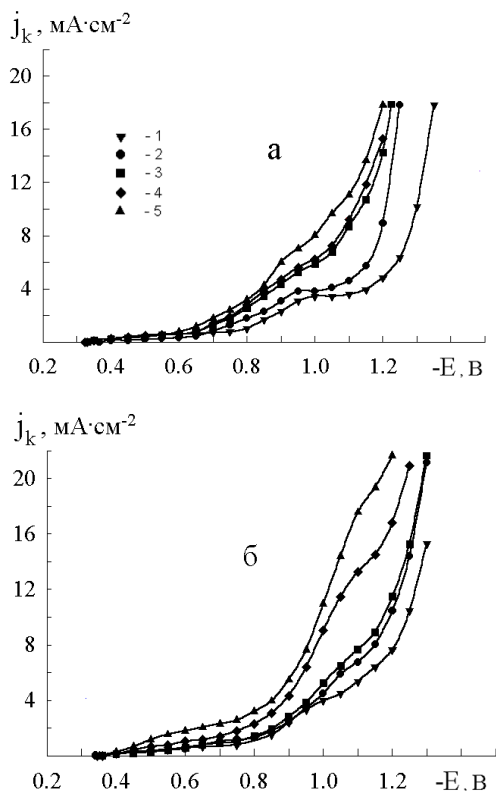


Рис. 1. Поляризационные кривые восстановления палладия (II) из гидроксиэтилиминодиацетатного электролита, содержащего, моль·л<sup>-1</sup>: [Pdheida] —  $5.00 \cdot 10^{-4}$ ; H<sub>2</sub>heida —  $5.00 \cdot 10^{-2}$ ; NaClO<sub>4</sub> — 1.0, при pH 2.0, скорости развертки потенциала 0.001 В·с<sup>-1</sup> и температуре, °С (а): 23 (1); 30 (2); 40 (3); 50 (4); 60 (5); температуре 25 °С и скорости развертки потенциала, В·с<sup>-1</sup> (б): 0.001 (1); 0.005 (2); 0.010 (3); 0.050 (4); 0.100 (5).

дного процесса. Значение наклона  $b_k$  прямолинейных  $\Delta E$ ,  $\lg[(j \cdot j_d)/(j_d - j)]$ -зависимостей составляет  $0.232 \pm 0.019$  В. Кажущийся коэффициент переноса электрона  $\alpha'$  равен  $0.27 \pm 0.01$ . Плотность тока обмена при повышении температуры исследуемого раствора до 50 °С увеличивается на один порядок.

Значения коэффициента диффузии восстанавливаемых на палладиевом электроде гидроксиэтилиминодиацетатных комплексов  $[\text{Pd}(\text{heida})_n]^{2-2n}$ , определенные из зависимости величины предельного диффузионного тока  $j_d$  стационарных  $E, j$ -кривых от объемной концентрации восстанавливаемых ионов [25], увеличиваются прямо пропорционально температуре исследуемого раствора и составляют  $(7.40\text{—}12.1) \cdot 10^6$  см<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>. Толщину диффузионного слоя  $\delta_0$  принимали равной  $2 \cdot 10^{-4}$  см [26].

Среднее координационное число комплекс-

ных ионов  $[\text{Pd}(\text{heida})_n]^{2-2n}$ , преобладающих в объеме гидроксиэтилиминодиацетатного электролита, содержащего 100-кратный избыток свободного лиганда, при pH 2.0, вычисленное по уравнению из работы [27], равно 2. В реакции перехода (переноса электрона) при восстановлении палладия (II) из гидроксиэтилиминодиацетатного электролита принимают участие комплексы  $[\text{Pd}(\text{heida})_2]^{2-}$ , преобладающие в объеме и прикатодном слое электролита. Следовательно, электродный процесс не осложнен кинетическими явлениями в объеме электролита и лимитируется диффузией восстанавливаемых ионов к поверхности электрода и реакцией перехода.

Фактическую реальную энергию активации  $A_f$  электровосстановления бис-гидроксиэтилиминодиацетатных комплексов палладия (II) из электролита, содержащего 100-кратный избыток свободного лиганда, определяли температурно-кинетическим методом из зависимости скорости электродной реакции от температуры, полученной при постоянном перенапряжении, используя уравнение Аррениуса [16].

Зависимости логарифмов предельного катод-

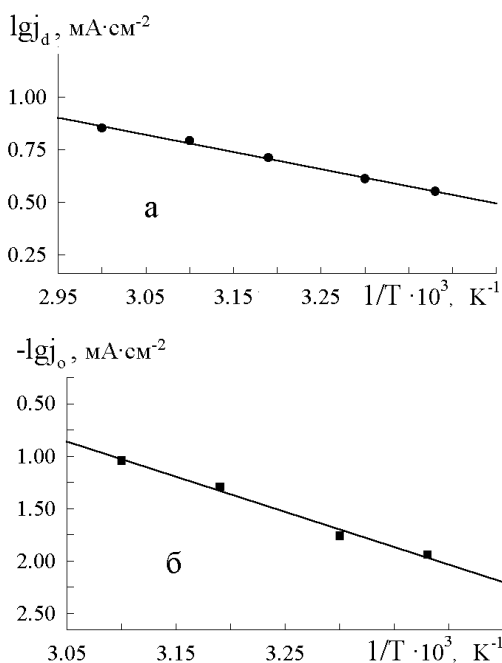


Рис. 2. Зависимости логарифмов предельного диффузионного тока (а) и тока обмена (б) восстановления палладия (II) из гидроксиэтилиминодиацетатного электролита, содержащего, моль·л<sup>-1</sup>: [Pdheida] —  $5.00 \cdot 10^{-4}$ ; H<sub>2</sub>heida —  $5.00 \cdot 10^{-2}$ ; NaClO<sub>4</sub> — 1.0 (pH 2.0), от обратной температуры.

ного тока и токов обмена электровосстановления бис-гидроксиэтилиминодиацетатных комплексов палладия (II) от обратной температуры приведены на рис. 2. Значение энергии активации диффузии  $A_d$ , определенное из зависимости логарифма предельного катодного тока стационарных  $E, j$ -кривых от обратной температуры (рис. 2, а), по уравнению [22] равно 22.5 кДж·моль<sup>-1</sup>. Значение энергии активации перехода  $A_t$  электровосстановления бис-гидроксиэтилиминодиацетатных комплексов палладия (II), вычисленное из температурной зависимости токов обмена ( $\Delta E = 0$ ) (рис. 2, б) по уравнению [22], равно 63.4 кДж·моль<sup>-1</sup>.

**ВЫВОДЫ.** Определены реальные энергии активации диффузии  $A_d$  и реакции перехода  $A_t$  электровосстановления бис-гидроксиэтилиминодиацетатных комплексов палладия (II). Энергии активации адсорбции  $A_a$ , кристаллизации  $A_k$  и предшествующей химической реакции  $A_r$ , практически равны нулю, поскольку в исследуемом электролите нет специфически адсорбирующихся веществ, не образуется новая кристаллическая фаза (поверхностная фаза ад-атомов кристаллизующегося металла сверхравновесной концентрации). Электродный процесс не осложнен химическими стадиями, лимитируется диффузией восстанавливающихся ионов к поверхности электрода и реакцией перехода.

Фактическая реальная энергия активации  $A_f$  электровосстановления бис-гидроксиэтилиминодиацетатных комплексов палладия (II) из электролита, содержащего 100-кратный избыток свободного лиганда, состоит из энергии активации диффузии  $A_d$  и реакции перехода  $A_t$ . О вкладе энергии активации диффузии  $A_d$  и реакции перехода  $A_t$  в фактическую реальную энергию активации  $A_f$  восстановления на палладиевом электроде бис-гидроксиэтилиминодиацетатных комплексов палладия (II) можно будет судить в дальнейшем после исследования зависимости  $A_f$  от перенапряжения электродного процесса.

**РЕЗЮМЕ.** Визначено кінетичні параметри (струми обміну, уявні коефіцієнти переносу електрона), енергії активації дифузії та переходу електровідновлення дигідроксиетилімінодіацетатних комплексів палладію (II) з електроліту, що містить надлишок вільного ліганду. Показано, що швидкість електродного процесу лімітується змішаною кінетикою.

**SUMMARY.** The kinetic parameters (exchange currents, apparent electron transfer coefficients) and diffusion

and transport reaction activation energies of the electroreduction of palladium(II) dihydroxyethyliminodiacetate complexes from an electrolyte containing excess free ligand have been determined. It has been shown that the rate of the electrode process is controlled by mixed kinetics.

1. Кравцов В.И., Русских Я.В. // Электрохимия. -1997. -33, № 9. -С. 1007—1016.
2. Русских Я.В., Кравцов В.И. // Там же. -1997. -33, № 10. -С. 1240—1247.
3. Кравцов В.И., Никифорова Т.Г. // Там же. -1998. -34, № 3. -С. 313—322.
4. Кублановский В.С., Никитенко В.Н., Чоренька Н.В. // Доп. НАН України. -2003. -№ 11. -С. 141—147.
5. Кравцов В.И. // Электрохимия. -2004. -40, № 12. -С. 1497—1502.
6. Чоренька Н.В., Никитенко В.Н. // Укр. хим. журн. -2006. -72, № 1. -С. 48—52.
7. Кублановский В.С., Никитенко В.Н., Чоренька Н.В. // Наук. вісн. Чернівецького ун-ту. Серія хім. -2008, вип. 401. -С. 87—89.
8. Кублановский В.С., Никитенко В.Н., Руденко К.П. // Укр. хим. журн. -2009. -75, № 7. -С. 56—61.
9. Putraya K.N., Srivastava T.S. // J. Inorg. Biochem. -1985. -25. -Р. 207—215.
10. Дятлова Н.М., Темкина В.Я., Попов К.И. Комплексоны и комплексонаты металлов. -М.: Химия, 1988.
11. Орехова В.В., Андрющенко Ф.К. Полилигандные электролиты в гальваностегии. -Харьков: Вища шк., 1979.
12. Никитенко В.Н., Кублановский В.С., Литовченко К.И. // Укр. хим. журн. -1996. -62, № 2. -С. 103—109.
13. Никитенко В.Н., Кублановский В.С. // Там же. -1996. -62, № 7. -С. 31—34.
14. А.с. № 323467, СССР, С 23b 5/30. -Опубл. 10.12.1971. -Бюл. изобрет. -1972, № 1.
15. Кублановский В.С., Никитенко В.Н., Чоренька Н.В. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. -Львів. -2006, № 5. -С. 620—624.
16. Горбачев С.В. // Тр. IV Всесоюз. совещ. по электрохимии. -М.: Изд-во АН СССР, 1959. -С. 61—71.
17. Темкин Н.И. // Журн. физ. химии. -1948. -22, № 9. -С. 1081—1089.
18. Кристаллик Л.И. // Двойной слой и электродная кинетика. -М.: Наука, 1981. -С. 198—282.
19. Данилов Ф.И., Проценко В.С. // Электрохимия. -2009. -45, № 9. -С. 1113—1117.
20. Данилов Ф.И., Проценко В.С. // Там же. -2009. -45, № 10. -С. 1187—1196.
21. Городыский А.В. Вольтамперометрия. Кинетика стационарного электролиза. -Киев: Наук. думка, 1988.
22. Кублановский В.С., Никитенко В.Н., Руденко К.П. // Укр. хим. журн. -2010. -76, № 4. -С. 107—112.
23. Каданер Л.И. Электроосаждения благородных и рідкісних металів. -Киев: Техніка, 1968.
24. Гороховская В.И., Гороховский В.М. Практикум по электрохимическим методам анализа. -М.: Высш. шк., 1983.

25. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Электрохимия. -М.: Высш. шк., 1987.
26. Никитенко В.Н., Литовченко К.И., Кублановский В.С., Горыдынский А.В. // Электрохимия. -1979. -15,

№ 4. -С. 501—506.

27. Шлефер Г.Л. Комплексообразование в растворах. -М.; Л.: Химия, 1964.

Институт общей и неорганической химии  
им. В.И. Вернадского НАН Украины, Киев

Поступила 30.11.2010

УДК 544.018.2: 544.472.3

**В.В. Коханенко, Л.Н. Маслюк, Л.Л. Чмель**

### **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ САМООЧИСТКИ ВОДОЕМА В ПРИСУТСТВИИ СУСПЕНЗИИ АЛЮМОСИЛИКАТА**

При исследовании электрохимических свойств разбавленных суспензий природного и модифицированного бентонита выявлена корреляция между индуктивной составляющей сопротивления системы и температурой. Это служит подтверждением гипотезы о наличии в системе парамагнитных частиц, растворимость которых падает с ростом температуры. Такими частицами могут быть молекулы кислорода. Показано, что в модельных системах перекись водорода образуется вследствие адсорбции кислорода на поверхности материала.

**ВВЕДЕНИЕ.** С каждым годом все больше средств тратится на очищение природной среды от загрязнений, вызванных деятельностью человека. Разрабатываются многочисленные интенсивные технологии локального и общего очищения выбросов и стоков, которые нуждаются во все больших капитальных и эксплуатационных затратах.

В то же время в природе происходят процессы самоочищения, обусловленные действием энергии солнца и ветра, то есть фото- и механическими факторами [1, 2]. Процессы самоочищения протекают на границе раздела вода—минералы. Здесь осуществляется диссоциативная хемосорбция кислорода с образованием пероксидных соединений, способных в дальнейшем окислять органические загрязнения. Роль минералов сводится к оптимизации протонно-электронных переходов в сумме редокс-реакций.

В подавляющем большинстве редокс-процессы протекают при участии природных алюмосиликатов [3]. Эти минералы обладают двумя уникальными особенностями: "мягкой" кристаллической структурой и включениями ионов металлов переменной валентности, способных к обмену электрона. Но главнейшим фактором является химическое строение гидратированных ионных каналов в слоистой структуре минерала. Оно регулирует протонную проводимость и через нее — меру хемо-

сорбции кислорода и генерации пероксидных соединений на поверхности минерала.

Принудительно обогатить алюмосиликатами естественные водоемы достаточно просто и дешево. Однако возникает вопрос относительно оптимальной концентрации алюмосиликатов, размеров частиц и т.д., которые необходимы для оптимизации самоочищения водоема.

Алюмосиликаты присутствуют в природных водах преимущественно в виде суспензий. С позиций электрохимии они представляют собой суспензионный электрод (СЭ) — систему взвешенных в электролите токопроводящих частиц, полностью увлекаемых потоком электролита [4]. В СЭ суспензия более или менее равномерно распределена по всему объему системы (что осуществляется размешиванием или циркуляцией электролита), электродный потенциал частиц одинаков в различных точках, вероятность столкновения частицы с электродом-токосборником не зависит от времени, прошедшего с момента предыдущего столкновения, а обмен зарядами между сталкивающимися частицами практически можно пренебречь. В качестве СЭ используют, как правило, порошки Pt, Pd, Ni, углей. СЭ позволяют интенсифицировать электродные процессы, в которых лимитирующей стадией является диффузия реагента к поверхности электрода. Они перспективны для извлечения ме-

© В.В. Коханенко, Л.Н. Маслюк, Л.Л. Чмель, 2011