

Р.И.ИБРАГИМОВА, Б.В.АКСЕНОВ,
Н.В.ВОРОБЬЕВ-ДЕСЯТОВСКИЙ
ЗАО «Полиметалл Инжиниринг», Санкт-Петербург

ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ПРИ СОРБЦИИ ЗОЛОТА (I) ИЗ ЦИАНИДНЫХ РАСТВОРОВ

Рассмотрены процессы, происходящие на поверхности активированных углей, находящихся в контакте с насыщенным воздухом цианидным раствором $\text{Na}[\text{Au}(\text{CN})_2]$. Показано образование вблизи поверхности адсорбента анион-радикала $\text{O}_2^- \bullet$ и радикала $\text{OH} \bullet$. Обсуждается влияние этих частиц на сорбционную активность углей.

Processes on the surface of activated carbon interacting with air – saturated cyanid $\text{Na}[\text{Au}(\text{CN})_2]$ solution have been reviewed. Formation of anion-radical $\text{O}_2^- \bullet$ and radical $\text{OH} \bullet$ in the cage of the solvent near the surface of the adsorbent has been demonstrated. Impact of those on the sorption activity of the carbon has been discussed.

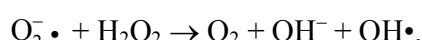
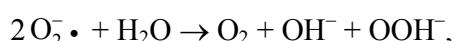
В настоящее время более 43 % добываемого в мире золота выделяется из цианидных растворов с помощью активированных углей. Разновидности этого метода – CIP, CIL и CIC постепенно вытесняют из золотодобычи как классический способ цементационного выделения золота с помощью цинковой пыли (процесс Меррилл – Кроу), так и более новую ионообменную технологию. Несмотря на это механизм сорбции цианидных комплексов Au (I) и Ag (I) активированными углами не установлен. Невозможно даже точно сказать, в виде какого или каких соединений золото фиксируется на угле. В большинстве случаев исследователи рассматривают возможные окислительно-восстановительные, донорно-акцепторные или кислотно-основные равновесия в системе $\text{C}_{\text{акт}} - [\text{Au}(\text{CN})_2]^- - \text{H}_2\text{O}$. Однако реальные процессы сорбции / десорбции дицианоуратного (I) иона происходят в насыщенных кислородом и азотом растворах, растворенные газы также могут принимать прямое или косвенное участие в рассматриваемых равновесиях. Между тем известно, что сорбционная емкость угля возрастает в аэрируемом или накислороженном растворе по сравнению с раствором, насы-

щенным азотом. Рассмотрим роль кислорода и азота в сорбционных процессах в системах $\text{C}_{\text{акт}} - \text{H}_2\text{O} - \text{O}_2 - \text{N}_2$, $\text{C}_{\text{акт}} - \text{H}_2\text{O} - [\text{Au}(\text{CN})_2]^- - \text{O}_2 - \text{N}_2$.

Использование теста с нитросиним тетразолием (НСТ) показывает, что в аэробных условиях при контакте активированных углей с НСТ происходит его восстановление на поверхности сорбента до соответствующего диформазана. Введение в систему фермента супероксиддисмутазы приводит к полному торможению восстановления НСТ. Данный результат однозначно подтверждает, что в растворе присутствует супероксидный анион-радикал $\text{O}_2^- \bullet$. Образование его связано с взаимодействием растворенного в воде кислорода $\text{O}_{2\text{aq}}^-$ с парамагнитными углеродными центрами в матрице сорбента. Наличие таких центров подтверждено экспериментально с помощью электронно-парамагнитного резонанса. Эти же центры по всей видимости ответственны и за сорбцию аниона $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$. Фуллерен C_{60} , не имеющий таких центров, не образует связей с анионом $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$, а вся масса $(\text{C}_{60})_n$ не обладает способностью к сорбции Au (I) из цианидных растворов. Окисление активиро-

ванного угля различными реагентами ($\text{Cl}_{2\text{aq}}$, $\text{Br}_{2\text{aq}}$, HNO_3 , H_2O_2) приводит к снижению емкости углей по золоту (I) вплоть до полной потери сорбционной активности. Реактивация, напротив, восстанавливает paramagnитные центры и, соответственно, емкостные характеристики углей.

Сам анион-радикал $\text{O}_2^- \cdot$ обладает мощными восстановительными свойствами, но способен диспропорционировать в соответствии с уравнениями



В последнем случае возникает гидроксидный радикал OH^\cdot , обладающий мощными окислительными свойствами. Его об-

разование доказано прямым определением методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с 1-пропанолом. Косвенно в пользу образования радикала OH^\cdot в рассматриваемой аэрируемой системе $\text{C}_{\text{акт}} - \text{H}_2\text{O}$ свидетельствует факт фиксации на углеродной матрице атмосферного азота.

Методами рентгенофазовой электронной спектроскопии изучено состояние поверхности углеродного сорбента, находящегося в контакте с водными растворами неорганических электролитов (NaOH , KJ_3 , NaCN). Показано, что имеющее место как в аэробных, так и в анаэробных условиях окисление поверхности сорбента контролирует сорбцию аниона $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$.