

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛИГНОСУЛЬФОНАТА НАТРИЯ, АНИОННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ СМЕСЕЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЦЕМЕНТАЦИИ ИОНОВ МЕДИ ЦИНКОМ

© 2020 г. Э.Б. Колмачихина, А.В. Свиридов, К.Д. Наумов

Уральский федеральный университет (УрФУ)
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ), г. Екатеринбург

Статья поступила в редакцию 15.01.20 г., доработана 11.03.20 г., подписана в печать 16.03.20 г.

Изучено влияние лигносульфоната натрия (ЛСН), анионных поверхностно-активных веществ (ПАВ) (додецилсульфата натрия (ДСН), додецилбензолсульфоната натрия (ДДБСН)) и их смесей на показатели цементации меди цинком. Полученные результаты свидетельствуют о снижении скорости цементации меди при увеличении концентраций ЛСН и ДДБСН. Также был зафиксирован избыточный расход цинка на цементацию ионов меди в связи с адсорбцией отрицательно заряженных ионов ЛСН и ДДБСН на положительно заряженных катодных участках цементатора и цементата. Это привело к уменьшению скорости роста зародышей частиц меди, расходованию энергии на формирование новых центров зародышеобразования и созданию условий для снижения перенапряжения выделения водорода. При этом увеличение температуры приводило к снижению расходования цементатора в присутствии ЛСН. Исследуемые ПАВ можно разместить по степени возрастания негативного влияния на цементацию ионов меди в следующий ряд: ДСН < ДДБСН < ЛСН. Испытание смеси ЛСН + ДСН показало ее неоднородное влияние на скорость цементации при исследуемых температурах. В случае использования смеси ЛСН + ДДБСН было зафиксировано линейное снижение скорости цементации ионов меди при повышении концентрации ДДБСН с одновременным ростом расхода цементатора. В связи с обнаруженным негативным влиянием исследуемых реагентов предложен способ очистки растворов от органических примесей с помощью высокослоистого алюмосиликата, модифицированного катионным ПАВ. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности удаления органических примесей из растворов, что позволило повысить скорость цементации в присутствии смеси ЛСН + ДДБСН на 50 %, одновременно сократив расход цементатора.

Ключевые слова: цементация, медь, цинк, лигносульфонат натрия, додецилсульфат натрия, додецилбензолсульфонат натрия, поверхностно-активные добавки (ПАВ).

Колмачихина Э.Б. — канд. техн. наук, вед. инженер кафедры металлургии цветных металлов (МЦМ) УрФУ (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19). E-mail: e.b.khazieva@urfu.ru.

Свиридов А.В. — канд. техн. наук, доцент кафедры химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов УГЛТУ (620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37). E-mail: asv1972@mail.ru.

Наумов К.Д. — канд. техн. наук, инженер кафедры МЦМ УрФУ. E-mail: naumov.konstantin@urfu.ru.

Для цитирования: Колмачихина Э.Б., Свиридов А.В., Наумов К.Д. Изучение влияния лигносульфоната натрия, анионных поверхностно-активных веществ и их смесей на показатели цементации ионов меди цинком. *Известия вузов. Цветная металлургия*. 2020. No. 4. С. 29–35. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2020-4-29-35.

Kolmachikhina E.B., Sviridov A.V., Naumov K.D.

Study into the effect of sodium lignosulfonate, anionic surfactants and their mixtures on the rate of copper ion cementation by zinc

The article focuses on the effect of sodium lignosulfonate (LS), anionic surfactants (sodium dodecylsulfate (SDS), sodium dodecylbenzene sulfonate (SDBS)), and their mixtures on the rate of copper cementation by zinc. The results obtained demonstrate a decrease in copper cementation rate with the increasing LS and SDBS concentrations. There was also excessive zinc consumption for copper ion cementation noted due to LS and SDBS anion adsorption on positively charged zinc cathodic areas of the cementing agent and the precipitate. This led to a decrease in the rate of copper particle nucleation, energy consumption for forming new copper nucleation centers, and conditions for hydrogen overpotential reduction. In addition, rising temperature led to a decrease in zinc consumption in the presence of LS. Surfactants under investigation may be ranked by the negative impact on copper ion

cementation in an ascending order as follows: $\text{SDS} < \text{SDBS} < \text{LS}$. $\text{LS} + \text{SDS}$ mixture testing showed its irregular effect on copper cementation rate at test temperatures. Experiments with LS and SDBS mixtures demonstrated a linear decrease in copper ion cementation rate with increasing SDBS concentration and simultaneously rising zinc consumption. Due to the negative impact of investigated reagents discovered, we proposed a method for removing organic impurities from solutions using multilayered aluminosilicates modified by cationic surfactants. The results obtained indicate the high effectiveness of organic impurity removal from solutions providing for a 50 % increase in cementation rate in the presence of $\text{LS} + \text{SDBS}$ mixture together with a decrease in zinc consumption.

Keywords: cementation, copper, zinc, sodium lignosulfonate, sodium dodecylsulfate, sodium dodecylbenzenesulfonate, surfactants.

Kolmachikhina E.B. — Cand. Sci. (Eng.), Senior engineer, Department of metallurgy non-ferrous metals (MNFМ), Ural Federal University (UrFU) (620002, Russia, Ekaterinburg, Mira str., 19).
E-mail: e.b.khazieva@urfu.ru.

Sviridov A.V. — Cand. Sci. (Eng.), Assistant prof., Department of wood chemical technology, Biotechnologies and Nanomaterials of Ural State Forest Engineering University (620100, Russia, Ekaterinburg, Sibirskii tract, 37).
E-mail: asv1972@mail.ru.

Naumov K.D. — Cand. Sci. (Eng.), Engineer, Department of MNFM, UrFU. E-mail: naumov.konstantin@urfu.ru.

Citation: Kolmachikhina E.B., Sviridov A.V., Naumov K.D. Study into the effect of sodium lignosulfonate, anionic surfactants and their mixtures on the rate of copper ion cementation by zinc. *Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya (Universities' Proceedings. Non-Ferrous Metallurgy)*. 2020. No. 4. P. 29–35 (In Russ.).
DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2020-4-29-35..

Введение

В гидрометаллургии довольно часто используют органические реагенты и поверхностно-активные вещества (ПАВ), например при электролизе для создания плотной пены на поверхности ванны [1, 2] или для получения порошков заданной крупности [3–7]. При автоклавной переработке сульфидного цинкового сырья ПАВ также часто применяются для снижения смачиваемости минералов расплавленной серой, образующейся в процессе выщелачивания [8–10]. Ряд работ [11–13] свидетельствуют об ухудшении показателей гидролитической очистки от железа, цементационной очистки от меди, никеля и кобальта из растворов после автоклавного выщелачивания в присутствии высоких количеств лигносульфонатов.

Исследования показывают, что процесс цементации очень чувствителен к присутствию поверхностно-активных веществ и органических примесей [11–14]: снижается извлечение металлов из растворов, уменьшается крупность частиц цементата [15–17], что связывают с повышенным выделением водорода и пассивацией поверхности цементатора. Однако отдельные работы свидетельствуют о положительном влиянии некоторых органических соединений (экстракт крапивы, диэтилдитиокарбамат натрия) на скорость цементации меди цинком и снижение расхода цинка, в том числе на выделение водорода [18–20]. Поэтому большую роль для прогнозирования целесообразности применения реагентов играет

предварительная оценка влияния используемых при выщелачивании органических реагентов на последующие стадии процесса.

Ранее проведенные нами исследования показали возможность снижения расхода лигносульфонатов за счет дополнительного введения анионных поверхностно-активных веществ [21, 22]. Данная работа посвящена изучению влияния лигносульфоната натрия, анионных поверхностно-активных веществ и их смесей на показатели цементационной очистки растворов от меди.

Методика эксперимента

Опыты по цементации меди проводили с использованием методики вращающегося диска, изготовленного из цинка марки Ц1, который вклеивали в обечайку из полиамида. В ходе экспериментов варьировали температуру ($t = 25 \div 65$ °C), продолжительность ($\tau = 60 \div 900$ с), концентрации лигносульфоната натрия (ЛСН) производства АО «Соликамскбумпром», додецилсульфата натрия (ДСН), додецилбензолсульфоната натрия (ДДСН) и их смесей (50–400 мг/дм³). Скорость вращения диска оставалась неизменной и составляла 800 об/мин, начальная концентрация меди — 0,54 г/дм³, pH раствора — 5,0. Растворы после цементации анализировали на содержание меди и цинка на атомно-абсорбционном спектрофотометре Analytic Jena novAA 300.

Удельную приведенную скорость цементации меди (W , г/(с·см²)) рассчитывали по формуле

$$W = \frac{(C_{0\text{Cu}} - C_{\tau\text{Cu}})V}{\tau S}, \quad (1)$$

где V — объем раствора, дм³; $C_{0\text{Cu}}$ и $C_{\tau\text{Cu}}$ — начальная и текущая концентрации меди, г/дм³; τ — продолжительность опыта, с; $S = 3,14$ см² — площадь диска.

Удельную скорость растворения цинка (v , г/(с·см²)) определяли для установления его избыточного расхода в процессе цементации меди. При этом использовали следующее уравнение:

$$v = \frac{C_{\tau\text{Zn}}V}{\tau S}. \quad (2)$$

Крупность частиц цементата оценивали микрометрическим способом с помощью микроскопа Микромед 3. Пробу предварительно разбавляли техническим спиртом в ≈ 10 раз и наносили на предметное стекло. С помощью видеоокуляра делали снимки частиц. Полученные изображения обрабатывали при помощи специализированного программного обеспечения ImageJ и определяли среднее значение размеров частиц.

Адсорбционное удаление органических примесей осуществляли с помощью высокодисперсного слоистого алюмосиликата, модифицированного катионным поверхностно-активным веществом (далее — МАС) [23], содержание которого достигало 5 %. Расход МАС поддерживали на уровне 0,5 г/дм³, продолжительность сорбции составляла 10 мин.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Предварительные опыты по цементации ионов меди в присутствии индивидуальных реагентов (рис. 1) показали значительное негативное влияние на процесс ЛСН, при добавке которого его скорость снизилась на 30–55 %. При введении 100 мг/дм³ ДДБСН скорость цементации ионов меди уменьшилась на 15 %, а дальнейшее повышение его концентрации до 400 мг/дм³ привело к плавному снижению W еще на 6 %. Добавка ДСН не оказывала влияния на скорость цементации при $t = 45$ °С, но при 65 °С она уменьшилась на 11 %. Таким образом, исследуемые ПАВ можно разместить по степени возрастания негативного влияния на цементацию ионов меди в ряд ДСН < ДДБСН < ЛСН.

Испытание смеси ЛСН + ДСН показало ее неоднородное влияние на скорость цементации при различных температурах (рис. 2). Так, при комнатной температуре значения W практически линейно снижаются с $4,4 \cdot 10^{-6}$ до $2,5 \cdot 10^{-6}$ г/(с·см²) при $C_{\text{ЛСН}} = 400$ мг/дм³. Увеличение t до 45 °С привело к линейному повышению скорости цементации ионов меди с ростом концентрации ДСН в смеси до $8,3 \cdot 10^{-6}$ г/(с·см²). Это может быть связано с физической десорбцией ЛСН с поверхности цинкового диска при нагреве. Минимум на кривой при $t = 65$ °С (100 мг/дм³) может быть обусловлен снижением перенапряжения выделения водорода при добавлении ЛСН к ДСН при повышении температуры.

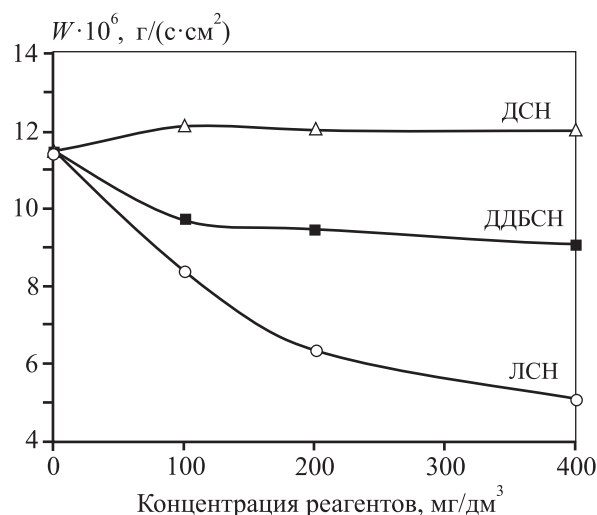


Рис. 1. Влияние концентрации реагентов на скорость цементации ионов меди ($t = 45$ °С)

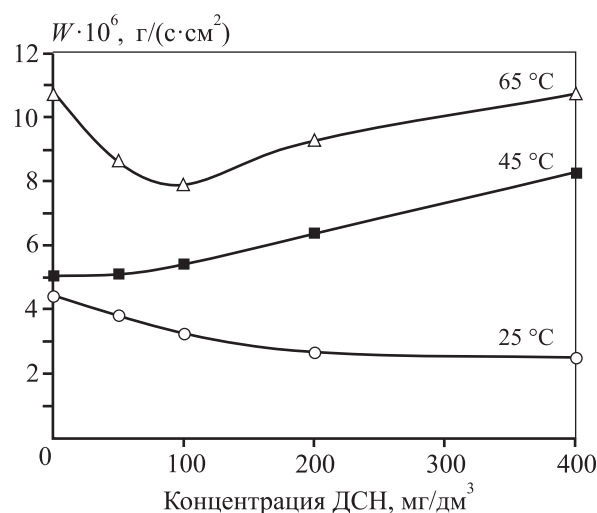


Рис. 2. Влияние смеси ЛСН + ДСН на скорость цементации ионов меди при различных температурах ($C_{\text{ЛСН}} = 400$ мг/дм³)

При испытании смеси ЛСН + ДДБСН (рис. 3) в условиях комнатной температуры было зафиксировано линейное снижение скорости цементации ионов меди при повышении концентрации ДДБСН на 54 % (при $C_{\text{ДДБСН}} = 400 \text{ мг/дм}^3$). В диапазоне $C_{\text{ДДБСН}} = 100 \div 400 \text{ мг/дм}^3$ при $t = 45$ и 65°C также происходило линейное снижение величины W . Однако при концентрациях ДДБСН до 100 мг/дм^3 в смеси с 400 мг/дм^3 ЛСН наблюдается незначительный рост скорости цементации с $5,1 \cdot 10^{-6}$ до $5,6 \cdot 10^{-6} \text{ г/(с} \cdot \text{см}^2)$ при $t = 45^\circ\text{C}$ и с $10,8 \cdot 10^{-6}$ до $12,6 \cdot 10^{-6} \text{ г/(с} \cdot \text{см}^2)$ при 65°C .

В табл. 1 представлены результаты расчетов расхода металла-цементатора на восстановление ионов меди относительно стехиометрического мольного расхода цинка. Полученные данные свидетельствуют об избыточном расходе цинка (Zn/Cu) при цементации в присутствии ЛСН, причем его значения снижаются при повышении температуры с 1,33 (при $t = 45^\circ\text{C}$) до 1,15 (при 65°C) за счет десорбции ЛСН с поверхности цемен-

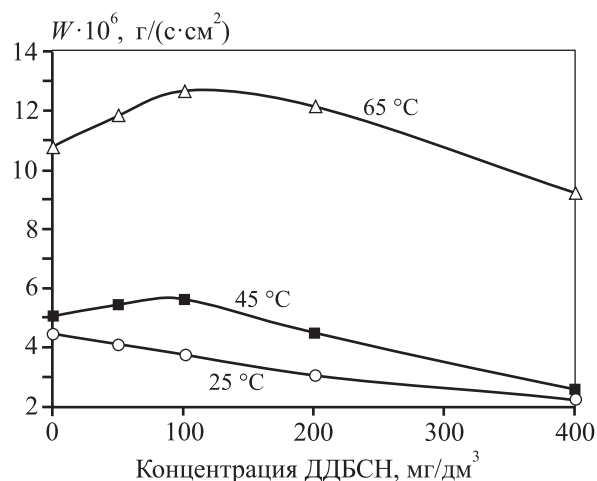


Рис. 3. Влияние смеси ЛСН + ДДБСН на скорость цементации ионов меди при различных температурах ($C_{\text{ЛСН}} = 400 \text{ мг/дм}^3$)

татора. Реагент ДДБСН незначительно повышал расход цементатора с ростом температуры. Кроме того, средняя крупность частиц цементата в при-

Таблица 1

Расход цинка на цементацию ионов меди в присутствии реагентов

Реагент	$C_{\text{ПАВ}}, \text{ мг/дм}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$W \cdot 10^6, \text{ г/(с} \cdot \text{см}^2)$	$v \cdot 10^6, \text{ г/(с} \cdot \text{см}^2)$	Zn/Cu
Без ПАВ	—	25	84,48	89,05	1,03
		45	114,56	126,75	1,09
		65	158,08	180,05	1,12
ЛСН	100	25	64,64	91,65	1,40
		45	83,84	113,75	1,33
		65	106,88	124,15	1,15
ДСН	100	25	80,64	75,4	0,92
		45	121,6	117,0	0,95
		65	152,96	161,2	1,04
ДДБСН	100	25	109,44	118,95	1,07
		45	97,28	113,1	1,15
		65	145,92	165,1	1,12
ЛСН	400	25	44,16	58,5	1,30
		45	51,2	64,35	1,24
		65	107,52	133,9	1,22
ЛСН + ДСН	400 + 100	25	32,64	36,4	1,10
		45	54,4	69,55	1,26
		65	78,72	117,0	1,46
ЛСН + ДДБСН	400 + 100	25	37,76	41,6	1,08
		45	56,32	66,95	1,17
		65	126,72	161,85	1,26

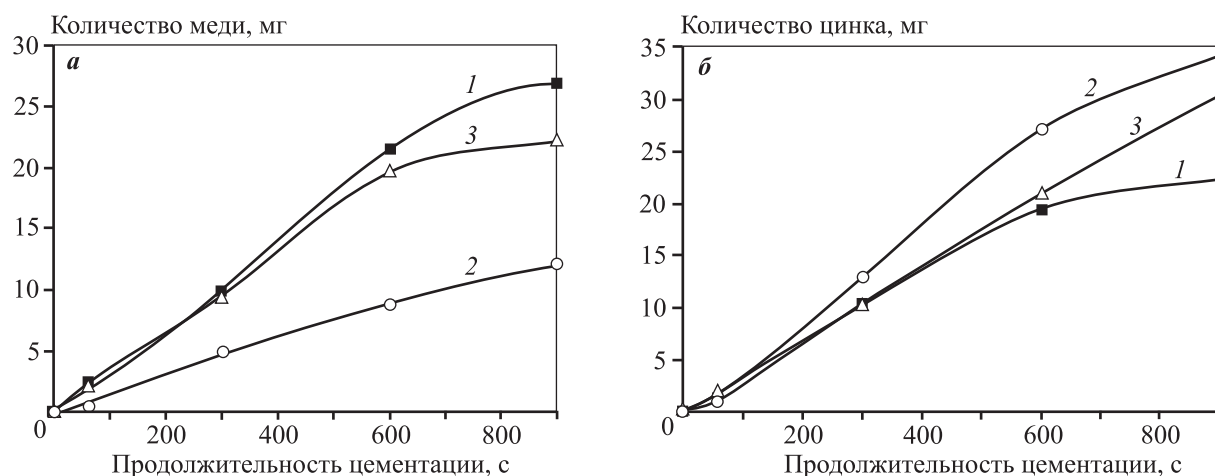


Рис. 4. Влияние очистки раствора модифицированным алюмосиликатом на кинетику выделения металлической меди (**а**) и растворения цинка (**б**) в процессе цементации ($t = 65^\circ\text{C}$, $C_{0\text{Cu}} = 0,5 \text{ г/дм}^3$, $V = 0,1 \text{ дм}^3$)

1 – раствор без добавки реагентов; 2 – раствор до очистки от реагентов, содержащий, мг/дм^3 : 400 ЛСН + 400 ДДБСН; 3 – раствор после очистки

сутствии органических примесей уменьшилась со 105 мкм без ПАВ до ≈ 90 мкм при их введении (табл. 2). В присутствии смесей ЛСН с анионными ПАВ отмечено повышение расхода цементатора с ростом температуры, что может быть связано со снижением перенапряжения выделения водорода за счет нагрева и вследствие адсорбции ПАВ на положительно заряженных катодных участках, в том числе на поверхности свежесаживаемой меди.

Таблица 2

Результаты анализа крупности частиц цементного осадка

Реагент	$C_{\text{ПАВ}}$, мг/дм^3	Ср. размер частиц, мкм
Без ПАВ	0	105,58
ЛСН	200	99,83
ДСН	200	88,40
ДДБСН	200	90,81
50 мг/дм^3 ЛС+ ДСН	200	90,96
200 мг/дм^3 ЛС+ДСН	200	87,54
400 мг/дм^3 ЛС+ДСН	200	80,45
50 мг/дм^3 ЛС+ДДБСН	200	67,71
200 мг/дм^3 ЛС+ДДБСН	200	68,30
400 мг/дм^3 ЛС+ДДБСН	200	69,69
Примечание. $C_{0\text{Cu}} = 0,5 \text{ г/дм}^3$, $\tau = 900 \text{ с}$, $t = 45^\circ\text{C}$.		

Последнее предположение подтверждается снижением средней крупности частиц цементата до 70–85 мкм, что свидетельствует о расходовании энергии системы на создание новых центров зародышеобразования, рост которых подавляется адсорбцией органических примесей.

Ввиду негативного влияния смесей ЛСН с анионными ПАВ была проведена оценка возможности очистки растворов с помощью алюмосиликата, модифицированного катионным ПАВ (МАС). Механизм действия данного сорбента заключается в физической адсорбции анионов положительно заряженной поверхностью МАС. Результаты экспериментов свидетельствуют (рис. 4) о повышении степени извлечения меди на $\approx 50\%$ после очистки от смеси реагентов ЛСН + ДДБСН. Скорость цементации при этом возрастала с $4,4 \cdot 10^{-6}$ до $10,3 \cdot 10^{-6} \text{ г/(с} \cdot \text{см}^2)$, а без добавок она составляла $11,3 \cdot 10^{-6} \text{ г/(с} \cdot \text{см}^2)$. Расход цинка (Zn/Cu) также снижался с 2,8 до 1,04 после очистки.

Заключение

Применение лигносульфонатов и их смесей с анионными ПАВ на стадии автоклавного выщелачивания может привести к снижению скорости выделения меди, повышению расхода цементатора из-за уменьшения перенапряжения выделения водорода. Показано, что исследуемые ПАВ можно разместить по степени возрастания негативного влияния на цементацию ионов меди в следующий

ряд: ДСН < ДДБСН < ЛСН. Совместная добавка ЛСН и ДДБСН приводит к падению скорости цементации ионов меди при увеличении концентрации ДДБСН. При использовании смеси ЛСН + ДСН наблюдалось линейное снижение скорости при комнатной температуре и ее повышение при $t = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ и увеличении расхода ДСН.

Предложен способ минимизации влияния ПАВ за счет применения модифицированного высокослоистого алюмосиликата (МАК). Предлагаемый метод удаления органических примесей из растворов может быть актуален для традиционной технологии переработки цинковых концентратов, где лигносульфонаты в небольших количествах используются при электроэкстракции цинка.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00388.

The reported study was funded by RFBR, project number 18-38-00388.

Литература/References

1. Alfantazi A.M., Dreisinger D.B. Foaming behavior of surfactants for acid mist control in zinc electrolysis processes. *Hydrometallurgy*. 2003. Vol. 69. No. 1-3. P. 57–72. DOI: 10.1016/S0304-386X(03)00002-1.
2. Freire N.H.J., Majuste D., Angora, M.A., Ciminelli V.S.T. The effect of organic impurities and additive on nickel electrowinning and product quality. *Hydrometallurgy*. 2017. Vol. 169. P. 112–123. DOI: 10.1016/j.hydromet.2016.12.009.
3. Dang D.M.T., Dang C.M., Fribourg-Blanc E. Investigation of the influence of different surfactants on controlling the size of silver nanoparticles. *Int. J. Nanotechnol.* 2015. Vol. 12. No. 5-7. P. 505–514. DOI: 10.1504/IJNT.2015.067908.
4. Yue S.X., Su Y.C., Luo Z.B., Yu Q.S., Tursun R., Zhang J. Influence of surfactant interaction on ultrafine copper powder electrodeposition. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*. 2019. Vol. 50. No. 7. P. 856–863. DOI: 10.1002/mawe.201800103.
5. Demeev B.B., Dauletbay A., Nauryzbaiev M.K. The effect of organic surface-active additives upon the kinetics of electrodeposition of ultrafine copper powder. *Chem. Eng. Trans.* 2016. Vol. 47. P. 211–216. DOI: 10.3303/CET1647036.
6. Li Q., Zhao Y., Zhang C. Influence of cetyltrimethylammonium bromide and sodium lauryl sulfate on production of zinc powders by alkaline electrowinning. *Russ. J. Non-Ferr. Met.* 2014. Vol. 55. No. 1. P. 65–72. DOI: 10.3103/S1067821214010131.
7. Salem J.K., Hammad T.M., Almoqayyed S., Hejazy N.K. Influence of cationic surfactant and temperature on the growth of ZnO nanoparticles. *Tenside, Surfactants, Detergents*. 2018. Vol. 55. No. 3. P. 188–195. DOI: 10.3139/113.110563.
8. Owusu G., Dreisinger D.B., Peters E. Interfacial effects of surface-active agents under zinc pressure leach conditions. *Metal. Mater. Trans. B*. 1995. Vol. 26. No. 1. P. 5–12. DOI: 10.1007/BF02648972.
9. Owusu G., Dreisinger D.B. Interfacial properties determinations in liquid sulfur, aqueous zinc sulfate and zinc sulfide systems. *Hydrometallurgy*. 1996. Vol. 43. No. 1-3. P. 207–218.
10. Owusu G., Peters E., Dreisinger D.B. Surface tensions and contact angles due to lignin sulphonates in the system: Liquid sulphur, aqueous zinc sulphate and zinc sulphide. *Canad. J. Chem. Eng.* 1992. Vol. 70. No. 1. P. 173–180. DOI: 10.1002/cjce.5450700125.
11. Karavasteva M. The effect of certain surfactants on the cementation of copper by suspended zinc particles. *Hydrometallurgy*. 1996. Vol. 43. No. 1–3. P. 379–385.
12. Karavasteva M. The influence of copper on the effect of certain surfactants during the cementation of cadmium by suspended zinc particles. *Hydrometallurgy*. 1998. Vol. 48. No. 3. P. 361–366.
13. Karavasteva M. The effect of certain surfactants on the cementation of nickel from zinc sulphate solutions by suspended zinc particles in the presence of copper. *Canadian Metallurgical Quarterly*. 1999. Vol. 38. No. 3. P. 207–210. DOI: 10.1016/S0008-4433(99)00008-7.
14. Karavasteva M. The effect of certain surfactants on the cementation of cobalt from zinc sulphate solutions by suspended zinc particles in the presence of copper or antimony. *Canadian Metallurgical Quarterly*. 2001. Vol. 40. No. 2. P. 179–184. DOI: 10.1179/000844301794388416.
15. Granata G., Tsendorj U., Liu W., Tokoro C. Direct recovery of copper nanoparticles from leach pad drainage by surfactant-assisted cementation with iron powder. *Colloids and Surface. A*. 2019. Vol. 580. 123719. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2019.123719.
16. Begletsova N., Selifonova E., Chumakov A., Al-Alwani A., Zakharevich A., Chernova R., Glukhovskoy E. Chemical synthesis of copper nanoparticles in aqueous solutions in the presence of anionic surfactant sodium dodecyl sulfate. *Colloids and Surface. A*. 2018. Vol. 552. P. 75–80. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2018.05.023.
17. Cheng X., Zhang X., Yin H., Wang A., Xu Y. Modifier effects on chemical reduction synthesis of nanostructured copper. *Applied Surface Science*. 2006. Vol. 253. P. 2727–2732. DOI: 10.1016/j.apsusc.2006.05.125.
18. Zaabar A., Aitout R., Amoura D., Maizia R., Makhloufi L.,

- Saidani B.* Effect of nettle plant extract on the overconsumption diminution of zinc as sacrificial metal during cementation of copper. *Miner. Eng.* 2019. Vol. 142. No. 105933. DOI: 10.1016/j.mineng.2019.105933.
19. *Zaabar A., Aitout R., Makhloufi L., Alilat K., Maziz S., Saidani B.* Effect of nettle plant extract on the cementation of copper onto zinc in acidic sulfate solutions. *Hydrometallurgy*. 2013. Vol. 136. P. 58–64. DOI: 10.1016/j.hydromet.2013.03.004.
20. *El-Saharty A.A., El-Nammamy N.H., El-Araby H.A.* Sodium diethyldithiocarbamate as accelerator of the rate of copper cementation. *Egypt. J. Aquatic Res.* 2015. Vol. 41. P. 289–293. DOI: 10.1016/j.ejar.2015.08.002.
21. *Kolmachikhina E.B., Ryzhkova E.A., Dmitrieva D.V., Sviridov V.V., Naboichenko S.S.* Lignosulfonate, anionic surfactants and their mixtures influence on water solutions surface tension and zinc concentrate pressure leaching. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2019. Vol. 525. No. 1. 012023. DOI: 10.1088/1757-899X/525/1/012023.
22. *Хазиева Э.Б., Свиридов В.В., Меньщиков В.А., Набойченко С.С.* Влияние поверхностно-активных веществ на состояние серы при автоклавном выщелачивании цинковых концентратов. *Цвет. металлы*. 2017. No. 2. С. 46–50. DOI: 10.17580/tsm.2017.02.07.
- Khazieva E.B., Sviridov V.V., Menshchikov V.A., Naboichenko S.S.* Influence of surface-active substances on sulfur state during the autoclave leaching of zinc concentrates. *Tsvetnye Metally*. 2017. No. 2. P. 46–50 (In Russ.).
23. *Ординарцев Д.П., Свиридов А.В., Свиридов В.В.* Адсорбционное извлечение ванадия, молибдена и вольфрама из кислых растворов на модифицированном монтмориллоните. *Журн. физ. химии*. 2018. Т. 92. No. 10. С. 1648–1652.
- Ordinartsev D.P., Sviridov A.V., Sviridov V.V.* Extracting vanadium, molybdenum, and tungsten from acidic solutions via adsorption on modified montmorillonite. *Russ. J. Phys. Chem. A*. 2018. Vol. 92. No. 10. P. 2060–2064. DOI: 10.1134/S0036024418100229.