

ABSTRACT AND REFERENCES

ECOLOGY

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215129

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF UTILIZATION OF PRODUCTS OF FERRITIZATION PROCESSING OF GALVANIC WASTE IN THE COMPOSITION OF ALKALINE CEMENTS (p. 6–13)

Gennadii Kochetov

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0041-7335>

Oleksandr Kovalchuk

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6337-0488>

Dmitry Samchenko

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3305-8180>

A study of the products of ferritization processing of galvanic waste: sludge and spent process solutions is carried out. As a result of experiments on dynamic leaching of heavy metal ions, the immobilization properties of the sludge, obtained at different process parameters of ferritization are determined. It is shown that the level of immobilization of heavy metals in ferrite sludge after leaching is 99.96 wt % and in the sludge of traditional wastewater neutralization <97.83 wt %. The studies determine the possibility of reliable utilization of ferritized galvanic waste – introduction into the charge to produce alkaline cements. It is found that the main crystalline phases in the structure of alkaline cements with ferrite sludge are calcite, quartz and heavy metal ferrites. In addition, jelly-like formations are found, which are further capable of crystallization. Such formations reliably bind heavy metals in the chemical structure of cement. It is found that when using up to 10 wt % of ferrite sludge in the total weight of cement, the compressive strength of artificial stone reaches 40 MPa, which meets the requirements of the current standard. The chemical stability of the alkali cement matrix using ferrite sludge is confirmed by the study of leaching of heavy metals for one day in neutral, alkaline and acidic media. It is shown that the degree of immobilization of heavy metal ions in cement with a ferrite sludge content of 30 wt % is >99.98 %. In addition, the concentrations of heavy metal ions during leaching meet the national and international standards for their MPC in drinking water and soil. This approach will allow solving the problem of utilization of hazardous galvanic waste and production of general construction materials.

Keywords: galvanic waste, ferritization, alkaline cements, heavy metals, sludge, leaching, electromagnetic pulses.

References

- Boshnyak, M. V., Galimianov, A. R., Kolmachikhina, O. B. (2018). Evaluation of the Processing Opportunity of Galvanic Production Sludges with Nickel Recovery. *Solid State Phenomena*, 284, 790–794. doi: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.284.790>
- Pashayan, A. A., Karmanov, D. A. (2018). Recycling of Electroplating Wastes without Formation of Galvanic Sludges. *Ecology and Industry of Russia*, 22 (12), 19–21. doi: <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-12-19-21>
- De Oliveira, C. L. M., de Paula Filho, F. J., Moura, J. V. B., Freitas, D. M. G., Santiago, M. O. (2018). Characterization of Galvanic Sludges Waste Derived of the Metal Plating Industry from Cariri Region, Northeastern of Brazil. *Materials Science Forum*, 930, 541–545. doi: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.930.541>
- Zlebek, T., Hodul, J., Drochytka, R. (2018). Repairing composite using hazardous waste containing heavy metals. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 385, 012068. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/385/1/012068>
- Król, A. (2018). Effect of high temperature on immobilization of heavy metals in concrete with an addition of galvanic sludge. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 109, 331–339. doi: <http://doi.org/10.2495/wm080351>
- González-Corrochano, B., Alonso-Azcárate, J., Rodríguez, L., Lorenzo, A. P., Torio, M. F., Ramos, J. J. T. et al. (2016). Valorization of washing aggregate sludge and sewage sludge for lightweight aggregates production. *Construction and Building Materials*, 116, 252–262. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.095>
- Bednarik, V., Vondruska, M., Koutny, M. (2005). Stabilization/solidification of galvanic sludges by asphalt emulsions. *Journal of Hazardous Materials*, 122 (1-2), 139–145. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.03.021>
- Kovalchuk, O., Grabovchak, V., Govdun, Y. (2018). Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions. *MATEC Web of Conferences*, 230, 03007. doi: <http://doi.org/10.1051/mateconf/201823003007>
- Castañeda Bocanegra, J. J., Espejo Mora, E., Cubillos González, G. I. (2017). Encapsulation in ceramic material of the metals Cr, Ni, and Cu contained in galvanic sludge via the solidification/stabilization method. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5 (4), 3834–3843. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jece.2017.07.044>
- Ol'shanskaya, L. N., Lazareva, E. N., Bulkina, L. A. (2016). Recycling of Heavy Metals and Their Compounds from Galvanic Sludges to Produce Pigments and Fillers and the Active Species of Nickel–Iron (Cadmium) Battery Cathodes. *Chemical and Petroleum Engineering*, 52 (1-2), 138–142. doi: <http://doi.org/10.1007/s10556-016-0163-z>
- Vilarinho, C., Teixeira, J., Araújo, J., Carvalho, J. (2017). Effect of time and acid concentration on metal extraction from galvanic sludges. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Proceedings (IMECE)*, 14, 71370. doi: <http://doi.org/10.1115/imece2017-71370>
- Huyen, P. T., Dang, T. D., Tung, M. T., Huyen, N. T. T., Green, T. A., Roy, S. (2016). Electrochemical copper recovery from galvanic sludge. *Hydrometallurgy*, 164, 295–303. doi: <http://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.06.028>
- Makovskaya, O. Y., Kostromin, K. S. (2019). Leaching of Non-Ferrous Metals from Galvanic Sludges. *Materials Science Forum*, 946, 591–595. doi: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.946.591>
- Kumar, M., Dosanjh, H. S., Singh, H. (2019). Biopolymer modified transition metal spinel ferrites for removal of fluoride ions from water. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 12, 100237. doi: <http://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100237>
- Heuss-Abbichler, S., John, M., Klapper, D., Bläß, U. W., Kochetov, G. (2016). Recovery of copper as zero-valent phase and/or copper oxide nanoparticles from wastewater by ferritization.

- Journal of Environmental Management, 181, 1–7. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.053>
16. Kochetov, G., Prikhna, T., Kovalchuk, O., Samchenko, D. (2018). Research of the treatment of depleted nickel-plating electrolytes by the ferritization method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (93)), 52–60. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133797>
 17. Birčáková, Z., Fúzer, J., Kollár, P., Streckova, M., Szabó, J., Bureš, R., Fáberová, M. (2019). Magnetic properties of Fe-based soft magnetic composite with insulation coating by resin bonded Ni-Zn ferrite nanofibres. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 485, 1–7. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.04.060>
 18. Marciniak, K., Grabowska, K., Stempień, Z., Ciesielska-Wróbel, I., Ciesielska-Wróbel, I., Rutkowska, A., Taranek, D. (2016). Woven Fabrics Containing Hybrid Yarns for Shielding Electromagnetic Radiation. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 24 (6 (120)), 109–115. doi: <http://doi.org/10.5604/12303666.1221744>
 19. Antipov, V. B., Potekaev, A. I., Vorozhtsov, A. B., Melentyev, S. V., Tsyganok, Y. I. (2016). Radio-Absorbing Nanocoatings on Corrugated Surfaces. *Russian Physics Journal*, 59 (8), 1225–1230. doi: <http://doi.org/10.1007/s11182-016-0895-4>
 20. Kryvenko, P., Guzii, S., Kovalchuk, O., Kyrychok, V. (2016). Sulfate Resistance of Alkali Activated Cements. *Materials Science Forum*, 865, 95–106. doi: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.865.95>
 21. Kovalchuk, O., Kochetov, G., Samchenko, D. (2019). Study of service properties of alkali-activated cement using wastewater treatment residues. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708, 012087. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012087>
 22. Kovalchuk, O., Kochetov, G., Samchenko, D., Kolodko, A. (2019). Development of a technology for utilizing the electroplating wastes by applying a ferritization method to the alkaline activated materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (98)), 27–34. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160959>
 23. Kochetov, G., Prikhna, T., Samchenko, D., Kovalchuk, O. (2019). Development of ferritization processing of galvanic waste involving the energy-saving electromagnetic pulse activation of the process. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (102)), 6–14. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184179>
 24. Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Sykchin, A. A., Mudryi, I. A., Ananchenko, B. A., Burkov, A. A. et al. (2016). Nickel hydroxide obtained by high-temperature two-step synthesis as an effective material for supercapacitor applications. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 21 (3), 683–691. doi: <http://doi.org/10.1007/s10008-016-3405-2>
 25. Krivenko, P., Petropavlovskiy, O., Kovalchuk, O., Rudenko, I., Konstantynovskiy, O. (2020). Enhancement of alkali-activated slag cement concretes crack resistance for mitigation of steel reinforcement corrosion. *E3S Web of Conferences*, 166, 06001. doi: <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202016606001>

DOI: [10.15587/1729-4061.2020.215043](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.215043)

THE KINETICS OF THE PROCESSES OF EXTRACTING THE Cu(II) AND Fe(III) IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY THE BIOSORBENTS BASED ON PEA PROCESSING WASTE (p. 14–25)

Olena Kovalenko

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8009-1103>

Viktoriia Novoseltseva

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3400-1776>

Oleh Vasylyv

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0597-8863>

Olena Liapina

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6739-5225>

Olga Beregova

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8455-2061>

Effective purification of natural and wastewater from heavy metals is a relevant environmental and national-economic problem. It can be solved by using plant-waste-derived biosorbents in water treatment technologies. They are formed in large quantities by agricultural and food enterprises. Taking into consideration data on the peculiarities of mechanical and thermal effects on the components of plant biomass, the techniques have been substantiated to obtain biosorbents from pea processing waste. It has been shown that the dehydration of the waste, its carbonization, and the crushing of char can produce biosorbents with different sorption properties. The nature of influence exerted by the process parameters of the Cu(II) and Fe(III) ions biosorption from model aqueous solutions on a change in the concentration of the solution, the value, and adsorption uptake has been established. In particular, the effect of the process duration, the type and initial content of metal in the solution, dosage, and a biosorbent production technique was studied. It has been shown that 38 to 98 % of heavy metals can be removed from solutions at their initial concentration between 2 and 20 mg/dm³ and a biosorbent dosage between 1 and 30 g/dm³. It was found that char is more efficient at removing heavy metals. It was also determined that the biosorbents made from pea processing waste are better at removing the Cu(II) ions from aqueous solutions than the Fe(III) ions. The generalization of the results of kinetic research is represented in the form of a multifactor regression equation. The equation makes it possible to calculate a change in the concentration of heavy metal in the solution depending on its initial concentration, the duration of the biosorption process, and the dosage of a biosorbent. For the mathematical notation of the experimental adsorption isotherms, values of the coefficients in a Langmuir equation have been determined. The derived equations could make it possible to optimize the technological parameters of the process.

Keywords: aqueous solutions, heavy metals, plant waste, biosorbents, kinetics, adsorption isotherms.

References

1. Masindi, V., Muedi, K. L. (2018). Environmental Contamination. *Heavy Metals*. doi: <http://doi.org/10.5772/intechopen.76082>
2. Science for Environment Policy (2017) Tackling mercury pollution in the EU and worldwide. In-depth Report 15 produced for the European Commission, DG Environment by the Science Communication Unit. Bristol: UWE. Available at: https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/tackling_mercury_pollution_EU_and_worldwide_IR15_en.pdf
3. Abdel-Raouf, M. S., Abdul-Raheim, A. R. M. (2016). Removal of Heavy Metals from Industrial Waste Water by Biomass-Based Materials: A Review. *Journal of Pollution Effects & Control*, 5 (1). doi: <http://doi.org/10.4172/2375-4397.1000180>

4. Musilova, J., Arvay, J., Vollmannova, A., Toth, T., Tomas, J. (2016). Environmental Contamination by Heavy Metals in Region with Previous Mining Activity. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 97 (4), 569–575. doi: <http://doi.org/10.1007/s00128-016-1907-3>
5. Vasyliuk, T. P. (2013). Akumulatsiia ta rozpodil vazhkykh metaliv u fitomasi hidrobiontiv vydu Eichhornia Crassipes (Mart.) Solms pry bioochyshchenni silskohospodarskykh stichnykh vod. *Visnyk NUVHP*, 1 (61), 67–73.
6. Nwosu, U. L., Ajiwe, V. I. E., Okoye, P. A. C. (2014). Assessment of Heavy Metal Pollution of Effluents from three (3) Food Industries in Nnewi/Ogidi areas of Anambra State, Nigeria. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8 (11), 13–21. doi: <http://doi.org/10.9790/2402-081131321>
7. Kanamarlapudi, S. L. R. K., Chintalpudi, V. K., Muddada, S. (2018). Application of Biosorption for Removal of Heavy Metals from Wastewater. *Biosorption*. doi: <http://doi.org/10.5772/intechopen.77315>
8. Mussatto, S. I. (Ed.) (2016). *Biomass Fractionation Technologies for a Lignocellulosic Feedstock Based Biorefinery*. Elsevier, 647. doi: <http://doi.org/10.1016/c2014-0-01890-4>
9. Iamansarova, E. T., Khasanova, D. N., Abdullin, M. I., Gromyko, N. V. (2016). Ekonomicheskie aspekty primeneniia sorbentov na osnove selskokhoziaistvennykh otkhodov dlia ochistki prirodnykh vod ot nefiti i produktov na ee osnove. *Nauchnii zhurnal NIU ITMO*, 1, 118–122.
10. Jamshaid, A., Hamid, A., Muhammad, N., Naseer, A., Ghauri, M., Iqbal, J. et al. (2017). Cellulose-based Materials for the Removal of Heavy Metals from Wastewater – An Overview. *ChemBio-Eng Reviews*, 4 (4), 240–256. doi: <http://doi.org/10.1002/cben.201700002>
11. Angin, D. (2014). Utilization of activated carbon produced from fruit juice industry solid waste for the adsorption of Yellow 18 from aqueous solutions. *Bioresource Technology*, 168, 259–266. doi: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.100>
12. Yavari, S., Malakahmad, A., Sapari, N. B., Yavari, S. (2017). Synthesis optimization of oil palm empty fruit bunch and rice husk biochars for removal of imazapic and imazapyr herbicides. *Journal of Environmental Management*, 193, 201–210. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.035>
13. Kovalenko, E. A., Kurchevich, I. V., Vasyliiv, O. B. (2012). Eksperimentalnye issledovaniia vliianiia uslovii vymorazhivaniia na kachestvo opresnennoi vody. *Opyt i molodost v reshenii vodnykh problem*. Saint Petersburg, 2, 126–134.
14. Adilla Rashidi, N., Yusup, S. (2020). A Mini Review of Biochar Synthesis, Characterization, and Related Standardization and Legislation. *Applications of Biochar for Environmental Safety*. doi: <http://doi.org/10.5772/intechopen.92621>
15. Garg, M. (2015). Nutritional Evaluation and Utilization of Pea Pod Powder for Preparation of Jaggery Biscuits. *Journal of Food Processing & Technology*, 6 (12). doi: <http://doi.org/10.4172/2157-7110.1000522>
16. Pfaltzgraff, L. A., De bruyn Mario, Cooper, E. C., Budarin, V., Clark, J. H. (2013). Food waste biomass: a resource for high-value chemicals. *Green Chemistry*, 15 (2), 307–314. doi: <http://doi.org/10.1039/c2gc36978h>
17. Rehman, A., Gulfranz, M., Raja, G. K., Inam Ul Haq, M., Anwar, Z. (2015). A Comprehensive Approach to Utilize an Agricultural Pea peel (*Pisum sativum*) Waste as a Potential Source for Bio-ethanol Production. *Romanian Biotechnological Letters*, 20 (3), 10422–10430.
18. Swain, S. K., Patel, S. B., Panda, A. P., Patnaik, T., Dey, R. K. (2018). Pea (*Pisum sativum* L.) peel waste carbon loaded with zirconium: study of kinetics, thermodynamics and mechanism of fluoride adsorption. *Separation Science and Technology*, 54 (14), 2194–2211. doi: <http://doi.org/10.1080/01496395.2018.1543320>
19. Pathak, P. D., Mandavgane, S. A., Kulkarni, B. D. (2016). Characterizing Fruit and Vegetable Peels as Bioadsorbents. *Current Science*, 110 (11), 2114. doi: <http://doi.org/10.18520/cs/v110/i11/2114-2123>
20. Haq, A. ul, Saeed, M., Anjum, S., Bokhari, T. H., Usman, M., Tubbsum, S. (2017). Evaluation of Sorption Mechanism of Pb (II) and Ni (II) onto Pea (*Pisum sativum*) Peels. *Journal of Oleo Science*, 66 (7), 735–743. doi: <http://doi.org/10.5650/jos.ess17020>
21. Dod, R., Banerjee, G., Saini, S. (2012). Adsorption of methylene blue using green pea peels (*Pisum sativum*): A cost-effective option for dye-based wastewater treatment. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 17 (4), 862–874. doi: <http://doi.org/10.1007/s12257-011-0614-5>
22. Novoseltseva, V., Yankovych, H., Kovalenko, O., Václavíková, M., Melnyk, I. (2020). Production of high-performance lead(II) ions adsorbents from pea peels waste as a sustainable resource. *Waste Management & Research*. doi: <http://doi.org/10.1177/0734242x20943272>
23. Yankovych, H., Novoseltseva, V., Kovalenko, O., Melnyk, I., Václavíková, M.; Petkov, P., Achour, M., Popov, C. (Eds.) (2020). Determination of Surface Groups of Activated Carbons from Different Sources and Their Application for Heavy Metals Treatment. *Nanoscience and Nanotechnology in Security and Protection against CBRN Threats. NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics*. Dordrecht: Springer, 34, 431–436. doi: http://doi.org/10.1007/978-94-024-2018-0_34
24. ISO 24512:2007: Activities relating to drinking water and wastewater services – Guidelines for the management of drinking water utilities and for the assessment of drinking water services. Available at: <https://www.iso.org/standard/37248.html>
25. ISO 17294-2:2016 Water quality – Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) – Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes). Available at: <https://www.iso.org/standard/62962.html>
26. pH–metr pH–150MI Rukovodstvo po ekspluatatsii GRBA. 414318.001RE. Obschestvo s ogranichennoi otvetstvennostiu «Izmeritelnaia tekhnika». Available at: [https://www.izmteh.ru/upload/Instr\(Pribor\)/pH-150%D0%9C%D0%98_re.pdf](https://www.izmteh.ru/upload/Instr(Pribor)/pH-150%D0%9C%D0%98_re.pdf)
27. Sheveleva, I. V., Kholomeidik, A. N., Voit, A. V., Zemnukhova, L. A. (2009). Sorbenty na osnove risovoi shelukhi dlia udaleniia ionov Fe (III), Cu (II), Cd (II), Pb (II) iz rastvorov. *Khimiia rastitelnoho syria*, 4, 171–176.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215160

IMPLEMENTATION OF THE PLASMOCHEMICAL ACTIVATION OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN THE PROCESS OF ECOLOGIZATION OF MALT PRODUCTION (p. 26–35)

Olena Kovaliova

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9508-2701>

Olexandr Pivovarov

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0520-171X>

Viktoriia Kalyna

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3061-3313>

Yuriy Tchoursinov

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4774-646X>

Ekaterina Kunitsia

Kharkiv Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5577-7026>

Anton Chernukha

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0365-3205>

Dmytro Polkovnychenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7875-3350>

Natalia Grigorenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4972-4515>

Tetiana Kurska

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6377-9240>

Olena Yermakova

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3786-9001>

This study has established patterns in the plasmochemical activation of technological solutions in the process of malt production. Of importance is the application of innovative technologies to purify water and technological solutions used at malt enterprises that consume large quantities of water resources. A promising technology is the plasmochemical treatment of water and technological solutions in order to purify them and, partially or completely, destroy pathogenic microflora. Due to the use of plasmochemical activation, it has become possible not only to improve the malting process but also to reduce the consumption of water resources for technological purposes by 2–3 times. This is achieved by improving the technological malting process and by the possibility of reuse of wastewater after its filtering and plasmochemical treatment. The experimental laboratory tests have proven the effectiveness of using plasmochemical activation of technological solutions in order to improve the qualitative indicators of wastewater and the possibility of reuse of such solutions after their plasmochemical activation. Applying the proposed method for treating technological solutions decreased the level of contamination of wastewater from malt production. Sewage contamination after activation decreased. Thus, pollution indicators decreased as follows: per dry residue – by 65–95 %; the content of suspended substances – by 33–66 %; residue after roasting – by 58–79 %; total nitrogen – by 58–80 %; P₂O₅ (phosphorus) – by 75–88 %; K₂O (potassium) – by 75–92 %; CaO (calcium) – by 81–92 %; Na₂O – by 67–83 %; Cl⁻ – not detected; oxidation – by 78–95 %; BOC₅ (biochemical oxygen consumption) – by 92–97 %; pH became alkaline. In plasmochemical treatment, there is a disinfection of wastewater, namely, during an activation mode of 60 min the phytopathogenic microflora (*Aspergillus*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Mucor*) were destroyed. This indicates the effectiveness of the purification and decontamination of technological solutions. Its application is the key to the environmental safety of malt production when all its stages meet the requirements of “green” technologies.

Keywords: malt production, plasmochemical activation, technological solutions, ecologization, wastewater.

References

- Deineko, L. V., Sheludko, E. I. (2006). Ekolo-ho-ekonomichni problemy realizatsiyi prodovolchoho potentsialu Ukrainy u konteksti rozshyrennia YeS i formuvannia YeEP. Yevropeiski in-tehratsiyini protsesy i transkordonne spivrobitnytstvo. Tezy dop. III Mizh nar. nauk.-prakt. konf. studentiv, aspirantiv i molodykh naukovtsiv. Vol. 2. Lutsk, 188–193.
- Deineko, L. V., Khlobystov, Ye. V., Sychevskiy, M. P. (2007). Ekolohichni ta sotsialno-ekonomichni problemy zabezpechen-nia yakosti ta konkurentozdatnosti natsionalnoi kharchovoi promyslovosti: dyskusiynyi pohliad. Hospodarskyi mekhanizm ekolohichno zbalansovanoho rozvytku: Zbirnyk tez dopovidei Vseukrainskoi nauk. konf. Sumy: Vyd-vo SumDU, 30–39.
- Pivovarov, O., Kovaliova, O. (2019). Features of grain germina-tion with the use of aqueous solutions of fruit acids. Food Sci-ence and Technology, 13 (1). doi: <https://doi.org/10.15673/fst.v13i1.1334>
- Pivovarov, O., Kovaliova, O., Khromenko, T., Shuliakevych, Z. (2017). Features of obtaining malt with use of aqueous solu-tions of organic acids. Food Science and Technology, 11 (4). doi: <https://doi.org/10.15673/fst.v11i4.728>
- Lewis, M. J., Young, T. W. (1995). Malting technology: malt, specialized malts and non-malt adjuncts. Brewing, 48–70. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1801-3_4
- Narziß, L., Back, W., Gastl, M., Zarnkow, M. (2017). Abriss der Bierbrauerei. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9783527812820>
- Vanginkel, S., Oh, S., Logan, B. (2005). Biohydrogen gas production from food processing and domestic wastewaters. International Journal of Hydrogen Energy, 30 (15), 1535–1542. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2004.09.017>
- Keiser, D. A., Kling, C. L., Shapiro, J. S. (2018). The low but un-certain measured benefits of US water quality policy. Proceed-ings of the National Academy of Sciences, 116 (12), 5262–5269. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1802870115>
- Heidt, O. P. (2010). Rozvytok ekobezpechnykh tekhnolohiy v silskohospodarskomu vyrobnytstvi. Zb. nauk. prats Tavriyskoho derzhavnogo ahrotekhnichnoho universytetu. Seriya: ekonomi-chni nauky, 3 (11), 308–315.
- Galech'yan, N., Guseva, Yu. (2009). Ekoprodukty v sovremen-nom mire. Prodovolcha industriya APK, 2, 14–17.
- Pivovarov, O. A., Tyshchenko, A. P., Kovalova, O. S. (2010). Ekolohichni aspekty rozvytku ta udoskonalennia vyrobnytstv solodovoi haluzi. Zbirnyk statei uchasnykiv VI Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsiyi «Okhorona navkolyshnoho seredovyshcha promyslovykh rehioniv yak umova staloho roz-vytku Ukrainy». Zaporizhzhia: Vydavnytstvo TOV «Finvei», 248–252.
- Rai, M., Yadav, A., Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. Biotechnology Advances, 27 (1), 76–83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.09.002>
- Krut'yakov, Y. A., Kudrinskiy, A. A., Olenin, A. Y., Lisichkin, G. V. (2008). Synthesis and properties of silver nanoparticles: advanc-es and prospects. Russian Chemical Reviews, 77 (3), 233–257. doi: <https://doi.org/10.1070/rc2008v077n03abeh003751>
- Abou El-Nour, K. M. M., Eftaiha, A., Al-Warthan, A., Am-mar, R. A. A. (2010). Synthesis and applications of silver nano-particles. Arabian Journal of Chemistry, 3 (3), 135–140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.04.008>
- Qin, Y., Ji, X., Jing, J., Liu, H., Wu, H., Yang, W. (2010). Size con-trol over spherical silver nanoparticles by ascorbic acid reduc-tion. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 372 (1-3), 172–176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2010.10.013>
- Goncharuk, V. V. (2014). Water Clusters. Drinking Water, 51–103. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-04334-0_3

17. Bockstedte, M., Kley, A., Neugebauer, J., Scheffler, M. (1997). Density-functional theory calculations for poly-atomic systems: electronic structure, static and elastic properties and ab initio molecular dynamics. *Computer Physics Communications*, 107 (1-3), 187–222. doi: [https://doi.org/10.1016/s0010-4655\(97\)00117-3](https://doi.org/10.1016/s0010-4655(97)00117-3)
18. Zaharov, S. D., Mosyagina, I. V. (2011). *Klasternaya struktura vody (obzor)*. Moscow, 24.
19. Ignatov, I., Mosin, O. V. (2003). Isotopic Composition of Water and its Temperature in Modeling of Primordial Hydrosphere Experiments. *Science Review*, 1, 17–27.
20. Maheshwary, S., Patel, N., Sathyamurthy, N., Kulkarni, A. D., Gadre, S. R. (2001). Structure and Stability of Water Clusters (H₂O)_n, n=8–20: An Ab Initio Investigation. *The Journal of Physical Chemistry A*, 105 (46), 10525–10537. doi: <https://doi.org/10.1021/jp013141b>
21. Larson, M. A., Garside, J. (1986). Solute clustering in super-saturated solutions. *Chemical Engineering Science*, 41 (5), 1285–1289. doi: [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(86\)87101-9](https://doi.org/10.1016/0009-2509(86)87101-9)
22. Chaplin, M. F. (2000). A proposal for the structuring of water. *Biophysical Chemistry*, 83 (3), 211–221. doi: [https://doi.org/10.1016/s0301-4622\(99\)00142-8](https://doi.org/10.1016/s0301-4622(99)00142-8)
23. Kojtari, A., Ercan, U. K., Smith, J., Friedman, G., Sense-nig, R. B. et. al. (2013). Chemistry for Antimicrobial Properties of Water Treated With Non-Equilibrium Plasma. *Journal of Nanomedicine & Biotherapeutic Discovery*, 04 (01). doi: <https://doi.org/10.4172/2155-983x.1000120>
24. Chen, T.-P., Liang, J., Su, T.-L. (2018). Plasma-activated water: antibacterial activity and artifacts? *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (27), 26699–26706. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9169-0>
25. Oehmigen, K., Hähnel, M., Brandenburg, R., Wilke, C., Weltmann, K.-D., von Woedtke, T. (2010). The Role of Acidification for Antimicrobial Activity of Atmospheric Pressure Plasma in Liquids. *Plasma Processes and Polymers*, 7 (3-4), 250–257. doi: <https://doi.org/10.1002/ppap.200900077>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.211933

COMPARING THE RADIOACTIVE CONTAMINATION OF MARSH LABRADOR TEA (LEDUM PALUSTRE L.) OVER DIFFERENT PERIODS SINCE CHERNOBYL ACCIDENT (p. 35–43)

Volodymyr Krasnov

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1779-9544>

Oleksandr Orlov

Poliskiy Branch of Ukrainian Research Institute of Forestry and Agro-Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Dovzhyk vil., Zhytomyr reg., Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2923-5324>

Oleh Zhukovskiy

Poliskiy Branch of Ukrainian Research Institute of Forestry and Agro-Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Dovzhyk vil., Zhytomyr reg., Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3351-9856>

Mariia Korbut

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2395-3456>

Iryna Davydova

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6535-3948>

Viktoriia Melnyk

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3551-5085>

Olha Zborovska

Poliskiy Branch of Ukrainian Research Institute of Forestry and Agro-Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Dovzhyk vil., Zhytomyr reg., Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1649-0297>

Radioactive contamination of the above-ground phytomass of marsh Labrador tea (*Ledum palustre* L.) in different periods after the Chernobyl accident was studied. Marsh Labrador tea is widely used in official and folk medicine. The studied species grows in over-moistened pine (less mixed) forests and open oligotrophic and mesotrophic marshes. It was found that in the first four years since the beginning of observations (1991), the magnitude of the specific activity of ¹³⁷Cs in above-ground vegetative phytomass of marsh Labrador tea, depending on a permanent sample area (PSA), decreased by 1.2–1.4 times. After 10 years, it decreased by 1.6–1.7 times, after 16 years by 1.9–2.1 times, after 21 years by 2.7–3.1 times, and after 27 years by 3.1–6.5 times. An increase in the magnitude of transitions factors was also observed on all PSA over time. Thus, the minimal increase within 1991–2018 was recorded in PSA 11 – by 1.2 times and on PSA 13 – by 1.4 times. The maximum decrease in the magnitude of transition coefficient was observed in PSA 16 – by 2.7 times, in PSA 15 – by 3.0 times, and in PSA 18 – by 2.0 times. It was found that marsh Labrador tea belongs to the group of plants that are characterized by the high content of ¹³⁷Cs in the above-ground vegetative phytomass. Within the observation period (1991–2018), this content significantly exceeds the admissible levels of radionuclide content in plant medicinal raw materials that are used for manufacturing medical preparations. In the PSA with maximum magnitudes of soil contamination density (400.5±50.73 kBk·m⁻²) this excess made up 158.4 times in 1991, and 33.7 times (166.9±23.56 kBk·m⁻²) in 2018. For 27 years of observations, there has been a decrease in the density of radioactive soil contamination by 2.1–2.7 times, which is due to radionuclide decomposition, its vertical migration in the soil, and towards the components of forest ecosystems.

Keywords: specific activity of ¹³⁷Cs, radioactive contamination, migration of radionuclides, phytomass, forest ecosystems.

References

1. Krasnov, V. P., Orlov, O. O., Vedmid, M. M. (2009). Atlas roslyn-indykatoriv i typiv lisoroslynnykh umov Ukrainskoho Polissia. Novohrad-Volynskiy: NOVOhrad, 488.
2. Krasnov, V. P., Orlov, O. O., Hetmanchuk, A. I. (2005). Radioekolohiya likarskykh roslyn. Zhytomyr: Polissia, 214.
3. Dobrochaeva, D. N., Kotov, M. I., Prokudin, Yu. N. et. al. (1999). *Opredelitel' vysshih rasteniy Ukrainy*. Kyiv: Fitosotsiotsentr, 548.
4. Minarchenko, V. M. (2014). *Resursoznavstvo. Likarski roslyn*. Kyiv: Fitosotsiotsentr, 215.
5. Konishchuk, V. V. (2015). Klasyfikatsiya torfovykh bolit u rozvytku i tyopolohiyi helolandshaftiv. *Agroecological journal*, 4, 22–31. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2015_4_5
6. Cheshire, M. V., Shand, C. (1991). Translocation and plant availability of radio caesium in an organic soil. *Plant and Soil*, 134 (2), 287–296. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00012048>
7. Bunzl, K., Schimmack, W., Krouglov, S. V., Alexakhin, R. M. (1995). Changes with time in the migration of radiocesium in the soil, as observed near Chernobyl and in Germany, 1986–1994. *Science of The Total Environment*, 175 (1), 49–56. doi: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04842-1](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04842-1)

8. Orlov, A. A., Kurchenko, I. N., Sokolova, E. V., Zhdanova, N. N., Yur'eva, E. M. (2009). Printsipial'no novoe troficheskoe vzaimodeystvie v sisteme «mhi – endofitnye mikromitsety – sosudistye rasteniya» v oligotrofnih lesobolotnyh ekosistemah. Sb. mat. VII Mezhdunar. konf. «Problemy lesnoy fitopatologii i mikologii». Perm', 142–145.
9. Peterson, R. L., Massicotte, H. B., Melville, L. H. (2004). Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology. Ottawa, 173.
10. Joner, E. J., Johansen, A. (2000). Phosphatase activity of external hyphae of two arbuscular mycorrhizal fungi. Mycological Research, 104 (1), 81–86. doi: <https://doi.org/10.1017/s0953756299001240>
11. Tkachuk, V. I. (2004). Problemy vyroshchuvannya sosny zvychainoi na Pravoberezhnomu Polissi. Zhytomyr: Volyn, 464.
12. Ivaniuk, I. D. (2017). Typolohichna struktura dubovykh nasadzen Zakhidno- ta Tsentralnopoliskoho lisohospodarskoho okruhu. Zhytomyr: ZhDU im. I. Franka, 31–32.
13. Krasnov, V. P., Tkachuk, V. I., Orlov, O. O. (2013). Dovidnyk spetsialista lisovoho hospodarstva. Zhytomyr: Novohrad-Volynskiy, 436.
14. Dmitriev, S. V., Fetisov, A. A., Pertsev, V. A., Kotov, N. N., Grinkevich, N. I., Bakulina, L. A. (1991). O zagryaznenii dikorastushchih lekarstvennyh rasteniy tseziem-137. Gigiena i sanitariya, 12, 51–53.
15. Grishchenko, E. N., Grodzinskiy, D. N., Moskalenko, V. N. et. al. (1990). Radionuklidnaya zagryaznennost' rastitel'nogo syr'ya v razlichnyh oblastyah Ukrainy posle avarii na ChAES. Ekologicheskie aspekty v farmatsii: Tez. Dokl. Mezhdunar. simp. Moscow, 56.
16. Grodzinskiy, D. N., Kolomiets, K. D., Kutlahmedov, Yu. A. et. al. (1991). Antropogennaya radionuklidnaya anomalija i rasteniya. Kyiv: Lybid', 160.
17. Orlov, O. O., Dolin, V. V. (2010). Bioheokhimiya tseziyu-137 u lisobolotnykh ekosistemakh Ukrainskoho Polissia. Kyiv: Nauk. dumka, 198.
18. Ipat'ev, V. A., Bulko, N. I., Mitin, N. V., Shabaleva, M. A. (2004). Gidromeliorativnyy metod snizheniya kontsentratsii dozoo-brazuyushchih radionuklidov v lesnyh ekosistemah. Problemy radioekologii lesa. Les. Chelovek. Chernobyl', 61, 67–68.
19. Orlov, O. O., Golovko, O. V. (2011). Accumulation of 137Cs by Species of Grass-Dwarf-Shrub Layer of Forest Bogs of Western Polyssya of Ukraine. Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiya, 118, 73–80. Available at: <http://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/15/118-pdf>
20. Holovko, O., Orlov, A. (2019). Specifics of accumulation of 137CS in phytomass of species of grass-dwarf-shrub layer of oligotrophic and mesotrophic bogs of Western Polissya of Ukraine. Biological Systems: Theory and Innovation, 10 (3), 92–101. doi: <https://doi.org/10.31548/biologiya2019.03.092>
21. Rosén, K., Vinichuk, M., Johanson, K. J. (2009). 137Cs in a raised bog in central Sweden. Journal of Environmental Radioactivity, 100 (7), 534–539. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2009.03.005>
22. Livens, F. R., Howe, M. T., Hemingway, J. D., Goulding, K. W. T., Howard, B. J. (1996). Forms and rates of release of 137Cs in two peat soils. European Journal of Soil Science, 47 (1), 105–112. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01377.x>
23. Shcheglov, A. I., Tsvetnova, O. B., Kasatskiy, A. A. (2011). Some indicators of biological cycle of 137Cs and 39K in forest ecosystems of Bryansk woodland in the remote period after Chernobyl fallouts. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie, 3, 43–48.
24. Ipat'ev, V. A. (Ed.) (1999). Les. Chelovek. Chernobyl'. Lesnye ekosistemy posle avarii na Chernobyl'skoy AES: sostoyanie, prognoz, reaktsiya naseleniya, puti reabilitatsii. Gomel': IL NAN Belarusi, 454.
25. Ipat'ev, V. A., Bulko, N. I., Mitin, N. V., Shabaleva, M. A., Didenko, L. G. (2004). Radioekologicheskiy fenomen lesnyh ekosistem. Gomel': IL NAN Belarusi, 310.
26. Eliashevich, N. V., Matsko, V. P., Skvernyuk, I. I., Orehova, M. G. (1998). Verhovye bolota – fitomigratsionnye radionuklidnye anomalii. Fundamental'nye i prikladne aspekty radio-biologii: biologicheskie efekty malyh doz i radioaktivnoe zagryaznenie sredey: Tez. dokl. mezhdunar. nauchn. konf. Minsk, 73.
27. Ipatyev, V., Bulavik, I., Baginsky, V., Goncharenko, G., Dvornik, A. (1999). Forest and Chernobyl: forest ecosystems after the Chernobyl nuclear power plant accident: 1986–1994. Journal of Environmental Radioactivity, 42 (1), 9–38. doi: [https://doi.org/10.1016/s0265-931x\(98\)00042-3](https://doi.org/10.1016/s0265-931x(98)00042-3)
28. Kurchenko, I. N., Sokolova, E. V., Orlov, A. A. (2013). Endofitnye mikroskopicheskie griby vysshih rasteniy i ih ekologicheskaya rol' v biogeotsenozah sfagnovykh bolot Ukrainskogo Poles'ya. Mikobiota Ukrainskogo Poles'ya. Posledstviya Chernobyl'skoy katastrofy. Kyiv: Naukova dumka, 101–197.
29. Kurchenko, I. N., Sokolova, E. V., Orlov, A. A. (2013). Endofitnye mikroskopicheskie griby vysshih rasteniy i ih ekologicheskaya rol' v biogeotsenozah sfagnovykh bolot Ukrainskogo Polesya. Mikobiota Ukrainskogo Polesya. Posledstviya Chernobyl'skoy katastrofy. Kyiv: Naukova dumka, 101–197.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210462

MEMBRANE FILTRATION SIMULATION STUDY WITH VARIATION IN THE NUMBER OF FILTERS ON PEAT WATER MEDIA (p. 43–50)

Rachmat Subagyo

University of Lambung Mangkurat Banjarmasin, Banjarmasin-South Kalimantan, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6129-7395>

Hajar Isworo

University of Lambung Mangkurat Banjarmasin, Banjarmasin-South Kalimantan, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1529-8992>

The rapid population growth has an impact on the increasing need for drinking water. In swamp areas, the need for drinking water cannot be met immediately because it still contains organic compounds that make the water unfit for consumption. Peat water contains dissolved organic compounds that cause the water to turn brown and have an acidic character, so it needs special processing before it is ready for consumption. For peat water to be used by the community for drinking water, it is necessary to find an easy and cheap way to treat peat water. The use of a filtration device is one of the solutions that must be done in peat water treatment. The purpose of this study was to determine the effect of flow patterns, speed, and pressure on the filtration process with variations in the type of membrane and filtration arrangement. This research method was carried out by simulation using ANSYS 14.5 series. The simulation process begins with designing a filtration device with the following types: two-filter, three-filter, and four-filter. Then the simulation was performed by entering the value of the peat water properties into the regulatory equation.

The results of this study indicate that the collaboration of two membranes with different holes in type-2 and 3 filters produces a good filtration rate. However, in type-4 filters, the use of a similar membrane is highly recommended. This filtration rate is influenced by the presence of a cross-flow reversal (CFR) region

that appears, when using different filtration membranes at low pressure it doesn't matter. However, in other cases of systems operating at high pressure, CFR that appears tends to decrease the filtration rate, this is because CFR inhibits the flow rate in the filtration process.

Keywords: swamp areas, peat water, type of membrane, filtration arrangement, ANSYS 14.5.

Reference

- Hosseini, S. A. (2011). Modeling Particle Filtration and Caking in Fibrous Filter Media. Virginia Commonwealth University, 224.
- Bernales, B. (2013). Modeling of hydro dynamics and transfer phenomena in cross-flow membrane filtration. Aix-Marseille University, 160.
- Gaulinger, S. (2007). Coagulation Pre-Treatment for Microfiltration with Ceramic Membranes, Techneau, 71.
- Brown, J. M. (2007). Effectiveness of Ceramic Filtration for Drinking Water Treatment in Cambodia. Chapel Hill, 256.
- Zularisam, A. W., Ismail, A. F., Salim, M. R., Sakinah, M., Matsuura, T. (2009). Application of coagulation-ultrafiltration hybrid process for drinking water treatment: Optimization of operating conditions using experimental design. Separation and Purification Technology, 65 (2), 193–210. doi: <http://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.10.018>
- Patel, R., Shah, D., Prajapati, B. G., Patel, M. (2010). Overview of industrial filtration technology and its applications. Indian Journal of Science and Technology, 3 (10), 1121–1127.
- Syafalni, S., Abustan, I., Brahmana, A., Farhana Zakaria, S. N., Abdullah, R. (2013). Peat Water Treatment Using Combination of Cationic Surfactant Modified Zeolite, Granular Activated Carbon, and Limestone. Modern Applied Science, 7 (2). doi: <http://doi.org/10.5539/mas.v7n2p39>
- Boutilier, M. S. H., Lee, J., Chambers, V., Venkatesh, V., Karnik, R. (2014). Water Filtration Using Plant Xylem. PLoS ONE, 9 (2), e89934. doi: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0089934>
- Österdahl, M. (2015). Slow sand filtration as a water treatment method An inventorying study of slow sand filters purification rates in rural areas in Colombia, 95.
- Ardiansyah, Bahri, S., Saryono, Wawan (2015). Peat Water Treatment with Natural Inorganic Coagulant International Journal of Science and Research (IJSR), 5 (8), 389–394. doi: <http://doi.org/10.21275/art2016833>
- Zein, R., Mukhlis, Swesti, N., Novita, L., Novrian, E., Ningsih, S., Syukri (2016). Peat Water Treatment by Using Multi Soil Layering (MSL) Method. Der Pharma Chemica, 8 (12), 254–261.
- Apriani, M., Masduqi, A., Hadi, W. (2016). Degradation of Organic, Iron, Color and Turbidity from Peat Water. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 11 (13), 8132–8138.
- Arhin, S. G., Banadda, N., Komakech, A. J., Pronk, W., Marks, S. J. (2017). Optimization of hybrid coagulation-ultrafiltration process for potable water treatment using response surface methodology. Water Supply, 18 (3), 862–874. doi: <http://doi.org/10.2166/ws.2017.159>
- Muhammad, J. (2020). Peat Water Purification by Hybrid of Slow Sand Filtration and Coagulant Treatment. Journal of Environmental Science and Technology, 13 (1), 22–28. doi: <http://doi.org/10.3923/jest.2020.22.28>
- Londono, I. C. (2011). Assessment of Causes of Irreversible Fouling in Powdered Activated Carbon/ Ultrafiltration Membrane (PAC/UF) Systems. Vancouver, 56.
- Mahmud, M., Abdi, C., Mu'min, B. (2013). Removal Natural Organic Matter (NOM) in Peat Water from Wetland Area by Coagulation-Ultrafiltration Hybrid Process with Pretreatment Two-Stage Coagulation. Journal of Wetlands Environmental Management, 1 (1), 42–49. doi: <http://doi.org/10.20527/jwem.v1i1.88>
- Sun, W., Liu, J., Chu, H., Dong, B. (2013). Pretreatment and Membrane Hydrophilic Modification to Reduce Membrane Fouling. Membranes, 3 (3), 226–241. doi: <http://doi.org/10.3390/membranes3030226>
- Basha, N., Cochrane, L., Culham, S., Hamad, F., Zulfikur, A. (2016). CFD Study of Filtration Process in Moulded Filters within a Vacuum pump. Filtech 2016 – G3 – Mist and Droplet Separation.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215130

ESTABLISHING REGULARITIES IN THE INSULATING CAPACITY OF A FOAMING AGENT FOR LOCALIZING FLAMMABLE LIQUIDS (p. 51–57)

Yuriy Tsapko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0625-0783>

Ivan Rogovskii

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6957-1616>

Liudmyla Titova

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7313-1253>

Tamara Bilko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3164-3298>

Aleksii Tsapko

Kyiv National University of

Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2298-068X>

Olga Bondarenko

Kyiv National University of

Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8164-6473>

Serhii Mazurchuk

National University of Life and

Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6008-9591>

Designing environmentally friendly protective materials for flammable liquids makes it possible to influence the processes of heat resistance and the physical-chemical properties of a protective coating over a certain time until the emergency is eliminated. Therefore, there is a need to study the conditions that form a barrier for thermal conductivity and to define a mechanism for decelerating the transfer of heat to a flammable liquid by using a foaming agent. Given this, a mathematical model has been built for the process of changing the concentration of a foaming agent when used as a coating. Based on the experimental data, it was established that the foaming layer destruction process took place over 618 s until the achieved critical thickness of the foaming layer made the conductivity cease. According to the derived de-

pendences, the concentration value was calculated at which the critical value of the foaming layer thickness is achieved, which leads to the ignition of a flammable liquid, and is about 25 %. It has been proven that the process of decelerating the temperature involves the decomposition of a foaming agent under the influence of the temperature, with heat absorption and foam release, the insulation of heat at the surface of the flammable liquid. Given this, it has become possible to define the conditions for protecting flammable liquids using foaming agents by forming a barrier to thermal conductivity. Experimental studies have confirmed that under the influence of water evaporation and foaming agent diffusion into a layer of the flammable liquid, the critical amount of the foaming agent reached a minimum in 606 s and only then the flammable liquid ignited. Thus, there is reason to argue about the possibility of using foaming agents to protect the leaks of flammable liquids, capable of forming a protective layer at the surface of the material. It also becomes possible to establish methods for assessing the insulating capacity of a foaming agent that could inhibit the rate of temperature penetration and the release of flammable liquids' vapors.

Keywords: protective equipment, fire resistance, weight loss, surface treatment, insulation of flammable liquid, diffusion.

References

- Krivenko, P., Petropavlovskiy, O., Kovalchuk, O., Rudenko, I., Konstantynovskiy, O. (2020). Enhancement of alkali-activated slag cement concretes crack resistance for mitigation of steel reinforcement corrosion. E3S Web of Conferences, 166, 06001. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016606001>
- Krivenko, P. V., Petropavlovskiy, O. M., Rudenko, I. I., Konstantynovskiy, O. P., Kovalchuk, A. V. (2020). Complex multifunctional additive for anchoring grout based on alkali-activated portland cement. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 907, 012055. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012055>
- Tsapko, Y., Lomaha, V., Bondarenko, O. P., Sukhaneych, M. (2020). Research of Mechanism of Fire Protection with Wood Lacquer. Materials Science Forum, 1006, 32–40. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.32>
- Tsapko, Y., Zavialov, D., Bondarenko, O., Marchenko, N., Mazurchuk, S., Horbachova, O. (2019). Determination of thermal and physical characteristics of dead pine wood thermal insulation products. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (10 (100)), 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175346>
- Tsapko, Y. V., Tsapko, A. Yu., Bondarenko, O. P., Sukhaneych, M. V., Kobryn, M. V. (2019). Research of the process of spread of fire on beams of wood of fire-protected intumescent coatings. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 708, 012112. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012112>
- Tsapko, Y., Bondarenko, O. P., Tsapko, A. (2019). Research of the Efficiency of the Fire Fighting Roof Composition for Cane. Materials Science Forum, 968, 61–67. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.61>
- Tsapko, Y., Tsapko, O., Bondarenko, O. (2020). Determination of the laws of thermal resistance of wood in application of fire-retardant fabric coatings. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (10 (104)), 13–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200467>
- Tsapko, Y. V., Tsapko, A. Y., Bondarenko, O. P. (2020). Modeling of thermal conductivity of reed products. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 907, 012057. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012057>
- Rivai, M., Hambali, E., Suryani, A., Fitria, R., Firmansyah, S., Pramuhadi, G. (2018). Formulation and performance test of palm-based foaming agent concentrate for fire extinguisher application. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 141, 012026. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/141/1/012026>
- Rakowska, J. (2018). Best practices for selection and application of firefighting foam. MATEC Web of Conferences, 247, 00014. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824700014>
- Sheng, Y., Jiang, N., Sun, X., Lu, S., Li, C. (2017). Experimental Study on Effect of Foam Stabilizers on Aqueous Film-Forming Foam. Fire Technology, 54 (1), 211–228. doi: <https://doi.org/10.1007/s10694-017-0681-z>
- Sheng, Y., Lu, S., Xu, M., Wu, X., Li, C. (2015). Effect of Xanthan Gum on the Performance of Aqueous Film-Forming Foam. Journal of Dispersion Science and Technology, 37 (11), 1664–1670. doi: <https://doi.org/10.1080/01932691.2015.1124341>
- Jia, X., Luo, Y., Huang, R., Bo, H., Liu, Q., Zhu, X. (2020). Spreading kinetics of fluorocarbon surfactants on several liquid fuels surfaces. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 589, 124441. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124441>
- Zhang, X.-Z., Bao, Z., Hu, C., Li-Shuai, J., Chen, Y. (2017). Organic pollutant loading and biodegradability of firefighting foam. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 94, 012137. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/94/1/012137>
- Sheng, Y., Jiang, N., Lu, S., Li, C. (2018). Fluorinated and fluorine-free firefighting foams spread on heptane surface. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 552, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.05.004>
- Hinnant, K. M., Conroy, M. W., Ananth, R. (2017). Influence of fuel on foam degradation for fluorinated and fluorine-free foams. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 522, 1–17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.02.082>
- He, Y.-H., Sun, Q., Xing, H., Wu, Y., Xiao, J.-X. (2018). Cationic–anionic fluorinated surfactant mixtures based on short fluorocarbon chains as potential aqueous film-forming foam. Journal of Dispersion Science and Technology, 40 (3), 319–331. doi: <https://doi.org/10.1080/01932691.2018.1468262>
- Jia, X., Bo, H., He, Y. (2019). Synthesis and characterization of a novel surfactant used for aqueous film-forming foam extinguishing agent. Chemical Papers, 73 (7), 1777–1784. doi: <https://doi.org/10.1007/s11696-019-00730-z>
- Potter, M. C. (2019). Engineering analysis. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91683-5>
- Movchan, T. G., Rusanov, A. I., Soboleva, I. V., Khlebunova, N. R., Plotnikova, E. V., Shchekin, A. K. (2015). Diffusion coefficients of ionic surfactants with different molecular structures in aqueous solutions. Colloid Journal, 77 (4), 492–499. doi: <https://doi.org/10.1134/s1061933x15040146>
- Tureková, I., Balog, K. (2010). The Environmental Impacts of Fire-Fighting Foams. Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology, 18 (29), 111–120. doi: <https://doi.org/10.2478/v10186-010-0033-z>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215129**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ УТИЛІЗАЦІЇ ПРОДУКТІВ ФЕРИТИЗАЦІЙНОЇ ПЕРЕРОБКИ ГАЛЬВАНІЧНИХ ВІДХОДІВ В СКЛАДІ ЛУЖНИХ ЦЕМЕНТІВ (с. 6–13)****Г. М. Кочетов, О. Ю. Ковальчук, Д. М. Самченко**

Проведено дослідження продуктів феритизаційної переробки гальванічних відходів: шламів і відпрацьованих технологічних розчинів. В результаті експериментів з динамічного вилуговування іонів важких металів визначено іммобілізаційні властивості осадів, які отримані при різних технологічних параметрах процесу феритизації. Показано, що рівень іммобілізації важких металів у феритних осадах після вилуговування становить 99,96 % мас., а в осадах традиційної нейтралізації стічних вод <97,83 % мас. Проведені дослідження визначають можливість надійної утилізації феритизованих гальванічних відходів – їх введення в шихту для отримання лужних цементів. Встановлено, що основними кристалічними фазами в структурі лужних цементів із феритними осадами є кальцит, кварц і ферити важких металів. Крім того, виявлені желеподібні новоутворення, які у подальшому здатні до кристалізації. Такі новоутворення надійно зв'язують важкі метали в хімічній структурі цементу. Встановлено, що при використанні до 10 % мас. феритних осадів в загальній масі цементу, міцність при стиску штучного каменю сягає 40 МПа, що відповідає вимогам діючого стандарту. Хімічну стійкість матриці лужних цементів з використанням феритних осадів підтверджено дослідженням вилуговування важких металів протягом однієї доби в нейтральному, лужному та кислому середовищах. Показано, що ступінь іммобілізації іонів важких металів в цементі із вмістом феритного осаду 30 % мас. становить >99,98 %. Крім того, концентрації іонів важких металів при вилуговуванні відповідають вимогам вітчизняним і міжнародним стандартам, щодо їх ГДК в питній воді та ґрунті. Застосування такого підходу дозволить розв'язати питання утилізації небезпечних гальванічних відходів та отримання матеріалів загальнобудівельного призначення.

Ключові слова: гальванічні відходи, феритизація, лужні цементи, важкі метали, осади, вилуговування, електромагнітні імпульси.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215043**КІНЕТИКА ПРОЦЕСІВ ВИЛУЧЕННЯ ІОНІВ Cu(II) ТА Fe(III) З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ БІОСОРБЕНТАМИ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ ГОРОХУ (с. 14–25)****О. О. Коваленко, В. В. Новосельцева, О. Б. Василів, О. В. Ляпіна, О. М. Берегова**

Ефективне очищення природних і стічних вод від важких металів – актуальна екологічна і народногосподарська проблема. Вирішувати її можна шляхом застосування в технологіях оброблення води біосорбентів з рослинних відходів. Останні утворюються в значних кількостях на сільськогосподарських і харчових підприємствах. З врахування відомостей про особливості механічного і термічного впливу на компоненти рослинної біомаси обґрунтовано способи отримання біосорбентів з відходів переробки гороху. Показано, що шляхом зневоднення відходів, їх карбонізації і подрібнення карбонізату можна отримати біосорбенти з різними сорбційними властивостями. Встановлено характер впливу параметрів процесу біосорбції іонів Cu(II) та Fe(III) з модельних водних розчинів на зміну концентрації розчину, величину і відсоток адсорбції. Зокрема вивчено вплив тривалості процесу, виду і початкового вмісту металу в розчині, дозування і способу отримання біосорбенту. Показано, що від 38 до 98 % важких металів можна вилучити з розчинів з їх початковою концентрацією в межах від 2 до 20 мг/дм³ і дозуванні біосорбентів в межах від 1 до 30 г/дм³. Встановлено, що карбонізати більш ефективно вилучають важкі метали. Також визначено, що біосорбенти з відходів переробки гороху краще вилучають з водних розчинів іони Cu(II), ніж іони Fe(III). Узагальнення результатів кінетичних досліджень представлено у вигляді багаточинного регресійного рівняння. Рівняння дозволяє розрахувати зміну концентрації важкого металу в розчині в залежності від його початкової концентрації, тривалості процесу біосорбції і дозування біосорбенту. Для математичного опису експериментальних ізотерм адсорбції визначені значення коефіцієнтів рівняння Ленгмюра. Отримані рівняння дозволять здійснити оптимізацію технологічних параметрів процесу.

Ключові слова: водні розчини, важкі метали, рослинні відходи, біосорбенти, кінетика, ізотерми адсорбції.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215160**ЗАПРОВАДЖЕННЯ ПЛАЗМОХІМІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗЧИНІВ В ПРОЦЕС ЕКОЛОГІЗАЦІЇ СОЛОДОВОГО ВИРОБНИЦТВА (с. 26–35)****О. С. Ковальова, О. А. Півоваров, В. С. Калина, Ю. О. Чурсінов, К. В. Куниця, А. А. Чернуха, Д. Ю. Полковниченко, Н. В. Григоренко, Т. М. Курська, О. А. Єрмакова**

Проведеними дослідженнями встановлені особливості плазмохімічної активації технологічних розчинів в процесі виробництва солоду. Важливим є застосування інноваційних технологій очищення води та технологічних розчинів, які використовуються на солодових підприємствах, оскільки вони є споживачами великої кількості водних ресурсів. Перспективною технологією є плазмохімічна обробка води та технологічних розчинів з метою їх очищення і часткового або повного знищення

патогенної мікрофлори. Завдяки використанню плазмохімічної активації стало можливим не тільки вдосконалити процес солододорощення, а й скоротити споживання водних ресурсів на технологічні цілі в 2–3 рази. Це досягається шляхом удосконалення технологічного процесу солододорощення та можливості повторного використання стічних вод після їх фільтрування та плазмохімічної обробки. Експериментальними лабораторними дослідженнями доведена ефективність використання плазмохімічної активації технологічних розчинів з метою покращення якісних показників стічних вод та можливості повторного використання таких розчинів після їх плазмохімічної активації. При використанні запропонованого методу обробки технологічних розчинів знизився рівень забрудненості стічних вод солодового виробництва. Забруднення стічних вод після активації зменшилося. Так, показники забруднення знизились на: сухий залишок – 65–95 %; вміст завислих речовини н – 33–66 %; залишок після прожарювання – 58–79 %; загальний азот – 58–80 %; P₂O₅ (фосфор) – 75–88 %; K₂O – 7592 % (калій); CaO (кальцій) – 81–92 %; Na₂O – 67–83 %; Cl⁻ – не виявлено; окиснюваність – 78–95 %; БСК₅ (біохімічне споживання кисню) 92–97 %; рН стало лужним. При плазмохімічній обробці спостерігається знезараження стічних вод, а саме, при режимі активації 60 хв, повністю знищується фітопатогенна мікрофлора (*Aspergillus*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Mucor*). Це свідчить про ефективність очистки та знезараження технологічних розчинів. Її використання є запорукою екологічної безпеки солодового виробництва, а всі його етапи відповідають вимогам «зелених» технологій.

Ключові слова: виробництво солоду, плазмохімічна активація, технологічні розчини, екологізація, стічні води.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.211933

ПОРІВНЯННЯ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ БАГНА БОЛОТНОГО (*LEDUM PALUSTRE L.*) У РІЗНІ ПЕРІОДИ З ЧАСУ АВАРІЇ НА ЧАЕС (с. 35–43)

В. П. Краснов, О. О. Орлов, О. В. Жуковський, М. Б. Корбут, І. В. Давидова, В. В. Мельник, О. В. Зборовська

Досліджено радіоактивне забруднення надземної фітомаси багна болотного (*Ledum palustre L.*) у різні періоди після аварії на ЧАЕС. Багно болотне широко використовується в офіційній та народній медицині. Досліджуваний вид зростає в перезволожених соснових (рідше мішаних) лісах та на відкритих оліготрофних і мезотрофних болотах. Встановлено, що за перші чотири роки з початку спостережень (1991 р.) зменшення величини питомої активності ¹³⁷Cs у надземній вегетативній фітомасі багна болотного, в залежності від постійної пробної площі (ППП), складало 1,2–1,4 разів. Через 10 років зменшення було в 1,6–1,7 разів, через 16 років в 1,9–2,1 разів, через 21 рік в 2,7–3,1 разів, а через 27 років в 3,1–6,5 разів. Також на всіх ППП спостерігається зменшення величини коефіцієнтів переходу з роками. Так, мінімальне зменшення за період 1991–2018 рр. відмічене на ППП 11 і становить у 1,2 рази та ППП 13 – 1,4 рази. Максимальне зменшення величини коефіцієнтів переходу було на ППП 16 – 2,7 разів, на ППП 15 – 3,0 рази та на ППП 18 – 2,0 рази. Встановлено, що багно болотне відноситься до групи рослин, які характеризуються високим вмістом ¹³⁷Cs у надземній вегетативній фітомасі. Протягом періоду спостережень (1991–2018 рр.) даний вміст значно перевищує допустимі рівні вмісту радіонукліду в рослинній лікарській сировині, що використовується для виготовлення лікарських засобів. На ППП з максимальними величинами щільності радіоактивного забруднення ґрунту (400,5±50,73 кБк·м⁻²) у 1991 р. дане перевищення сягало 158,4 разів, у 2018 р. (166,9±23,56 кБк·м⁻²) – 33,7 разів. За 27 років спостережень відмічається зменшення щільності радіоактивного забруднення ґрунту в 2,1–2,7 разів, що пояснюється розпадом радіонукліду, його вертикальною міграцією у ґрунті та до компонентів лісових екосистем.

Ключові слова: питома активність ¹³⁷Cs, радіоактивне забруднення, міграція радіонуклідів, фітомаса, лісові екосистеми.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210462

ІМІТАЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕМБРАННОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ЗІ ЗМІНОЮ КІЛЬКОСТІ ФІЛЬТРІВ В БОЛОТНИХ ВОДАХ (с. 43–50)

Rachmat Subagyo, Hajar Isworo

Швидке зростання населення збільшує потребу в питній воді. У болотистій місцевості потреба в питній воді не може бути задоволена безпосередньо, оскільки вона все ще містить органічні сполуки, які роблять воду непридатною для споживання. Болотна вода містить розчинені органічні сполуки, через що вода стає коричневою і має кислотний характер, тому перед вживанням вона потребує спеціальної обробки. Для використання населенням болотної води в якості питної, необхідно знайти простий і дешевий спосіб обробки. Одним з рішень, необхідних при обробці болотної води є використання фільтруючого пристрою. Метою даного дослідження було визначити вплив режимів потоку, швидкості і тиску на процес фільтрації зі змінами типу мембрани і фільтруючого пристрою. Дане дослідження проводилося методом імітаційного моделювання з використанням ANSYS 14.5. Процес моделювання починається з проектування фільтруючого пристрою наступних типів: з двома фільтрами, з трьома фільтрами і з чотирма фільтрами. Потім виконувалося моделювання шляхом введення значення властивостей болотної води в нормативне рівняння.

Результати дослідження показують, що взаємодія двох мембран з різними отворами в фільтрах типу 2 і 3 забезпечує хорошу швидкість фільтрації. Однак у фільтрах типу 4 настійно рекомендується використовувати аналогічну мембрану. На швидкість фільтрації впливає наявність області обернення поперечного потоку (ОПП), при використанні різних фільтруючих мембран при низькому тиску це не має значення. Однак у випадках систем, що працюють під високим тиском, ОПП має тенденцію знижувати швидкість фільтрації, це відбувається тому, що ОПП уповільнює швидкість потоку в процесі фільтрації.

Ключові слова: болотиста місцевість, болотна вода, тип мембрани, фільтраційний пристрій, ANSYS 14.5.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215130

**ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ІЗОЛОВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ПІНОУТВОРЮВАЧА ДЛЯ
ЛОКАЛІЗАЦІЇ ГОРЮЧИХ РІДИН (с. 51–57)**

Ю. В. Цапко, І. Л. Роговський, Л. Л. Тітова, Т. О. Білько, О. Ю. Цапко, О. П. Бондаренко, С. М. Мазурчук

Створення екологічно безпечних захисних матеріалів для горючих рідин дозволить впливати на процеси термостійкості і фізико-хімічні властивості захисного покриття протягом певного часу до усунення надзвичайної ситуації. Тому виникає необхідність дослідження умов утворення бар'єру для теплопровідності і встановлення механізму гальмування передачі тепла до горючої рідини піноутворювачем. У зв'язку з цим розроблена математична модель процесу зміни концентрації піноутворювача при застосуванні в якості покриття. За експериментальними даними встановлено, що процес руйнування шару піноутворювача проходив протягом 618 с, коли наступила критична товщина шару піноутворювача і електропровідність стала відсутня. За виведеними залежностями розраховано значення концентрації за якої настає критичне значення товщини шару піноутворювача, що приводить до займання горючої рідини, та становить близько 25 %. Доведено, що процес гальмування температури полягає в розкладанні піноутворювача під дією температури з поглинанням тепла і виділенням піни, ізолюванням на поверхні горючої рідини тепла. Завдяки цьому стало можливим визначення умов захисту горючих рідин, піноутворювачами шляхом утворення бар'єру для теплопровідності. Експериментальними дослідженнями підтверджено, що під дією випаровування води і дифузії піноутворювача у шар горючої рідини, критичний розмір піноутворювача дійшов до мінімуму протягом 606 с і тільки тоді горюча рідина спалахнула. Таким чином, є підстави стверджувати про можливість застосування піноутворювачів для захисту проливів горючих рідин, здатних утворювати на поверхні матеріалу захисний шар. А також встановити методи оцінки ізолювальної здатності піноутворювача який гальмує швидкість проникнення температури та виходу парів горючих рідин.

Ключові слова: захисні засоби, вогнестійкість, втрата маси, оброблення поверхні, ізолювання горючої рідини, дифузія.