

## АНОТАЦІЯ

Коренчук М. С. Підвищення ефективності біологічного очищення стічних вод з видаленням іонів Феруму. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 16 Хімічна та біоінженерія за спеціальністю 162 Біотехнології та біоінженерія. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2020.

В Україні впродовж останніх десятиліть спостерігається погіршення якості поверхневих та підземних вод. Це екологічно небезпечне явище спричиняється скидом недостатньо очищених стічних вод, і, незважаючи на наявність державних та місцевих нормативів щодо регулювання гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин у водоймах різного виду водокористування та правил приймання промислових стічних вод у комунальні та відомчі каналізаційні системи, відбувається забруднення поверхневих водойм органічними речовинами, важкими металами, сполуками Нітрогену, Фосфору [1]. Причинами такого стану є недостатній ступінь очищення на існуючих очисних спорудах з причини їх зношеності, використання старих малоефективних технологій.

Діяльність промислових підприємств, зокрема солодових заводів, картонно-паперових фабрик, включає технологічні процеси промивки і обробки сировини, в результаті яких утворюються стічні води, що містять завислі речовини, розчинені органічні сполуки, іони важких металів, зокрема Феруму, сполуки Нітрогену й Фосфору, солі та ін. у концентраціях, які перевищують норми, і тому потребують належного очищення перед відведенням у природну водойму.

Серед технологій очищення стічних вод від іонів Феруму широко застосовуються технології фізико-хімічного очищення стічних вод з використанням таких методів: хімічне осадження; коагуляція і флоатація. Дані

методи очищення стічних вод від сполук Феруму є дорогавартісними, супроводжуються утворенням значних об'ємів вологоємких осадів, що потребують утилізації. Методи сорбції, іонного обміну потребують використання процесів регенерації сорбентів та іонітів, а електрохімічні методи є енергоємними, внаслідок їх застосування можливе утворення у стічних водах токсичних продуктів відновлення.

Перспективними біологічними об'єктами для очищення стічних вод від іонів важких металів, зокрема Феруму, нітратів та фосфатів вважаються водні макрофіти, через їх високу здатність до вилучення цих забруднень. Найперспективнішим водним макрофітом вважають рослину *Lemna minor*, яка може ефективно видаляти іони Феруму з води, стійка до температур нижче 10°C, є вільноплаваючою рослиною з одним із найшвидших темпів росту і часом подвоєння кожні 5-6 діб.

Значний внесок в галузі очищення води від іонів важких металів зроблений такими іноземними вченими: Бругеманном В., Апенротом К., Кобаяші Т., Маршнером Х., Нішизавою Н. і вітчизняними вченими Астреліним І.М., Запольським А.К., Максимим В.І., Саблій Л.А., Хоружим П.Д. Невирішеними залишаються питання ефективності використання *L. minor* для очищення стічних вод від іонів Феруму; вплив питомої біомаси ряски, тривалості, вихідної концентрації іонів Феруму на ефективність видалення іонів Феруму зі стічних вод.

**Метою роботи** є удосконалення біотехнології очищення стічних вод з використанням *Lemna minor* для підвищення ефективності видалення іонів Феруму.

В дисертації вперше отримані такі **нові наукові результати**:

1. Вперше встановлено ефективність використання ряски *L. minor* для очищення стічних вод промислових підприємств від іонів  $Fe^{3+}$  до 90 % з одержанням концентрацій Феруму в очищеній воді менше 0,3 мг/дм<sup>3</sup>, що відповідає нормативним вимогам до скиду стічних вод у природні водойми.

2. Вперше визначено раціональні параметри видалення іонів  $Fe^{3+}$  зі стічних вод за допомогою *L. minor*: тривалість  $8 \pm 0,2$  год; питома біомаса ряски  $25 \pm 1$  г/дм<sup>3</sup>; питоме навантаження на ряску за іонами Феруму  $q_F 0,24 \pm 0,05$  мг/(г·доба); питома швидкість видалення іонів Феруму рясковими  $\rho 0,20 \pm 0,05$  мг/(г·доба); потужність біореактора щодо видалення іонів Феруму  $P_{Fe} 5,0 \pm 0,3$  мг/(дм<sup>3</sup>·доба). за температури води 18-20 °С, штучного освітлення протягом 12 год на добу інтенсивністю 3000 лк і початкової концентрації Феруму 2,0 мг/дм<sup>3</sup>.

3. Вперше встановлено раціональні параметри доочищення стічних вод солодового заводу з використанням біоценозу іммобілізованих мікроорганізмів та ряскових від іонів Феруму та нітратів за початкової концентрації, відповідно, до 1,3 мг/дм<sup>3</sup> та до 53 мг/дм<sup>3</sup>: тривалість –  $8 \pm 0,2$  год; питома величина біомаси ряски –  $25 \pm 1$  мг/дм<sup>3</sup>, біомаси іммобілізованих мікроорганізмів –  $2,0 \pm 0,1$  мг/дм<sup>3</sup>; щільність волокнистого носія в біореакторі –  $2,4 \pm 0,1$  г/дм<sup>3</sup>; ступінь видалення іонів Феруму та нітратів становила, відповідно, до 40 % та до 53 % за температури води 18-24 °С.

4. Вперше для біологічного очищення стічних вод встановлено раціональний режим роботи струминного аератора роторного типу, оснащеного кільцевою насадкою з периферійними отворами діаметром 12 мм з кутовою швидкістю  $38 \text{ с}^{-1}$ , що забезпечує збільшення ступеня очищення стічних вод за ХСК до 40 %, агрегативну стійкість пластівців і життєздатність мікроорганізмів активного мулу, муловий індекс до 90 см<sup>3</sup>/г та зниження енергетичних витрат.

**Методи та методики досліджень.** Дослідження зміни показників хімічного складу (концентрації іонів Феруму, нітратів, нітритів, амонійного азоту, фосфатів, ХСК, розчиненого кисню) та фізико-хімічних параметрів (водневий показник, температура) стічних вод визначали методами спектроскопії, потенціометрії, титрування. Біомасу ряски, іммобілізованих мікроорганізмів, показники активного мулу визначали за допомогою

гравіметричного методу, склад мікроорганізмів – за допомогою мікроскопування.

**Практична цінність дисертаційної роботи полягає у наступному:**

Розроблено конструкцію біореактора (патент України на корисну модель № 136188), який забезпечує ефективне очищення стічних вод від іонів Феруму.

Розроблена і впроваджена біотехнологія доочищення стічних вод солодового заводу у біореакторі з рясковими, що забезпечує видалення сполук Феруму і нітратів до нормативних вимог. Розроблена технологічна та апаратурна схеми доочищення стічних вод Славутського солодового заводу в біореакторі з рясковими (акт впровадження). Собівартість доочищення 1 м<sup>3</sup> стічних вод – 1,34 грн.

Розроблено технологію культивування ряскових, її апаратурну та технологічну схеми. Ряска використовується для очищення стічних вод. Культивування здійснюється на середовищі Штейнберга за таких параметрів: температура середовища 18-25°C; концентрація розчиненого кисню 1,5-2,0 мг/дм<sup>3</sup>.

Встановлено раціональне питоме навантаження на ряску за іонами Феруму 0,24±0,05 мг/(г·доба), питома швидкість видалення іонів Феруму – 0,20±0,05 мг/(г·доба), потужність біореактора щодо видалення 5,0±0,3 мг/(дм<sup>3</sup>·доба), які дозволяють розрахувати технологічні і конструктивні параметри біореактора для різних витрат стічних вод і вихідних концентрацій іонів Феруму.

Результати досліджень впроваджено в навчальний процес для студентів спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» в дисциплінах «Біотехнології очищення води» та «Екобіотехнологія».

В першому розділі приведено аналітичний огляд літератури щодо технологій видалення іонів важких металів, зокрема Феруму. Проаналізовано фізико-хімічні та біологічні методи очищення. Встановлено ефективність використання ряскових для видалення іонів Феруму. В другому розділі

викладено методи та методики аналізу, наведено опис експериментальних установок, на яких проведено дослідження. У третьому розділі наведено опис біологічного агенту та його властивостей, приводяться теоретичні дослідження механізмів вилучення іонів важких металів клітинами біологічного агенту та їх подальший метаболічний шлях, вплив якісного складу і параметрів води на ефективність перебігу процесу транспорту іонів Феруму у клітини рослин ряски. У четвертому розділі наведено результати лабораторних досліджень щодо видалення іонів Феруму з модельного розчину, ефективності перебігу процесу з урахуванням впливу таких факторів, як температура, рН, вихідна концентрація іонів Феруму, питома біомаса ряскових та наведено результати перевірки на стічних водах Понінківської картонно-паперової фабрики. В п'ятому розділі наведено результати досліджень у напіввиробничих умовах на базі очисних споруд Славутського солодового заводу (акт промислових випробувань). У шостому розділі подано розроблені технологічну та апаратурну схеми біотехнології доочищення стічних вод Славутського солодового заводу від іонів Феруму за допомогою ряскових, впроваджені на підприємстві (акт впровадження), та наведено її техніко-економічні показники.

**Особистий внесок дисертанта.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі екобіотехнології та біоенергетики факультету біотехнології та біоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» та на базі ПАТ «Славутський солодовий завод». Планування досліджень та обговорення результатів проводили спільно з науковим керівником д.т.н., проф. Саблій Л.А. Особистий внесок дисертанта полягає у проведенні досліджень біологічного очищення стічних вод від іонів Феруму за допомогою ряскових; встановленні впливу режимів перемішування в різних конструкціях аераційно-роторної установки на стан активного мулу; підготовці до публікацій статей та апробації отриманих експериментальних даних; розробці і впровадженні біотехнології очищення стічних вод від іонів Феруму.

За темою дисертації опубліковано 28 наукових праць, в тому числі: 13 наукових статей, з яких 11 опубліковані в українських наукових виданнях України з технічних наук, 1 стаття у періодичному науковому фаховому виданні держави, яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку та Європейського Союзу (Угорщина), 1 – в інших виданнях; 1 патент України на корисну модель; 14 тез доповідей на всеукраїнських та міжнародних конференціях.

**Ключові слова:** стічні води, іони Феруму, ряска, біотехнологія, очищення, культивування, солодовий завод, картонно-паперова фабрика, біореактор, біомаса, собівартість

## SUMMARY

Korenchuk M. Increase of the efficiency of biological wastewater treatment with removal of iron ions. – Qualifying scientific work, the manuscript.

PhD thesis in the field of knowledge 16 Chemical technology and bioengineering in specialty 116 Biotechnology and bioengineering. – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, 2020.

In recent decades, surface and groundwater quality has deteriorated in Ukraine. This environmentally hazardous phenomenon is caused by the discharge of insufficiently treated wastewater, and contamination of surface water with organic substances, heavy metals, compounds of nitrogen, phosphorus, despite the availability of state and local standards for the regulation of maximum permissible concentrations pollutants in natural waterbodies for different water utilization and the rules for the acceptance of industrial wastewater into municipal and departmental sewage systems [1]. The reasons for this condition are the insufficient degree of purification on the existing wastewater treatment plants due to their deterioration, the use of old inefficient technologies.

The activities of industrial enterprises, in particular malt plants, cardboard and paper mills, include technological processes of washing and processing of raw materials, which result in wastewater containing suspended solids, dissolved organic compounds, heavy metal ions, in particular ferum, compounds of nitrogen and phosphorus, et cetera, above concentrations and therefore need to be properly cleaned before being discharged into the natural waterbodies.

Among the technologies of wastewater treatment from ferric ions are widely used technologies of physico-chemical treatment using the following methods: chemical deposition; coagulation and flotation. These methods of watertreatment from ferum compounds are costly and are accompanied by the formation of large volumes of moisture-intensive sediments that require disposal. Sorption, ion exchange methods require the use of sorbent and ionite regeneration processes, and the electrochemical methods are energy-intensive, resulting in the formation of toxic reduction products in wastewater.

Water macrophytes are considered the promising biological objects for the treatment of wastewater from heavy metal ions, in particular ferum, nitrates and phosphates, because of their high ability to remove these contaminants. The most promising aquatic macrophyte is the plant *Lemna minor*, which can effectively remove ferum ions from water, is resistant to temperatures below 10 ° C and is a free-floating plant with one of the fastest growth rates with a doubling time every 5-6 days.

Significant contribution to the field of watertreatment from heavy metal ions has been made by such foreign scientists: Brugemann V., Appenroth K., Kobayashi T., Marschner H., Nishizawa N. and domestic scientists I. Astrelin, A. Zapolsky. V. Maksin, L. Sabliy, V. Khoruzhiy. The questions of *Lemna minor* efficiency for wastewater treatment of ferric ions remain unresolved in such points: the influence of the specific biomass of duckweed, the duration, the initial concentration of ferric ions on the efficiency of removal of ferric ions from wastewater.

**The aim** of the thesis is to improve the wastewater treatment biotechnology with usage of *Lemna minor* to increase the efficiency of ferric ion removal.

### **Scientific novelty.**

1. For the first time, the efficiency of using *L. minor* duckweed for industrial wastewater treatment from  $\text{Fe}^{3+}$  ions up to 90% as obtained with iron concentrations in treated water less than  $0.3 \text{ mg/dm}^3$ , which meets the regulatory requirements for wastewater discharge into natural reservoirs.

2. For the first time, the rational parameters for the removal of  $\text{Fe}^{3+}$  ions from wastewater using *L. minor* were determined: duration  $8 \pm 0.2 \text{ h}$ ; specific duckweed biomass  $25 \pm 1 \text{ g/dm}^3$ ; load on duckweed for iron ions  $0.30 \pm 0.05 \text{ mg/(g} \cdot \text{day)}$ ; specific rate of extraction of iron ions by duckweed  $0.25 \pm 0.05 \text{ mg/(g} \cdot \text{day)}$ ; at a water temperature of  $18\text{-}20 \text{ }^\circ \text{C}$ , artificial lighting for 12 hours a day with an intensity of 3000 lux and an initial iron concentration of  $2.0 \text{ mg/dm}^3$ .

3. For the first time rational parameters of malt plant wastewater treatment was established using biocenosis of immobilized microorganisms and duckweed from iron ions and nitrates at the initial concentration, respectively, up to  $1.3 \text{ mg/dm}^3$  and up to  $53 \text{ mg/dm}^3$ : duration –  $8 \pm 0.2 \text{ hour}$ ; the specific value of duckweed biomass –  $25 \pm 1 \text{ mg/dm}^3$ , biomass of immobilized microorganisms –  $2.0 \pm 0.1 \text{ mg/dm}^3$ ; the density of the fibrous carrier in the bioreactor is  $2.4 \pm 0.1 \text{ g/dm}^3$ ; the degree of removal of iron ions and nitrates was, respectively, up to 40% and up to 53% at a water temperature of  $18\text{-}24 \text{ }^\circ \text{C}$ .

4. For the first time for biological wastewater treatment a rational mode of operation of a jet aerator of rotor type equipped with a ring nozzle with peripheral holes with a diameter of 12 mm with an angular velocity of  $38 \text{ s}^{-1}$ , aeration intensity of  $12\text{-}14 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$  is established. Degree of wastewater treatment by COD up to 40%, aggregative resistance of flakes and viability of activated sludge microorganisms, sludge index up to  $90 \text{ cm}^3/\text{g}$  and reduction of energy costs.

**Research methods and techniques.** The study of the chemical composition (concentration of ferric ions, nitrates, nitrites, ammonium nitrogen, phosphates, HCC, dissolved oxygen) and physicochemical parameters (hydrogen index,



temperature) of wastewater was determined by spectroscopy, potentiometry, titration. The study of duckweed growth was determined by gravimetric method, microscopy. Changes in the parameters of activated sludge (activated sludge index, mixed liquor suspended solids, qualitative evaluation) were investigated by gravimetric method and microscopy.

**The practical value of a thesis is as follows:**

The design of the bioreactor has been developed (patent of Ukraine for utility model No. 136188), which ensures efficient sewage treatment of ferric ions.

The wastewater treatment plant biotechnology in the bioreactor with the duckweed was developed and implemented, which ensures the removal of iron and nitrate compounds as per the regulatory requirements. The technological and instrumental schemes of sewage treatment of Slavuta Malt House in the bioreactor with duckweed have been developed (the act of introduction). Cost of wastewater treatment – 1,34 UAH/m<sup>3</sup>.

The duckweed cultivation technology, its equipment and technological scheme are developed. The technology is used for wastewater treatment. Cultivation parameters were established: medium temperature 18-25 ° C, Steinberg medium, dissolved oxygen concentration 1.5-2.0 mg/dm<sup>3</sup>.

Testing showed that when the load on the duckweed in the bioreactor for ferric ions 0.30 mg/(g·dm<sup>3</sup>) the concentration of ferum in treated wastewater reached 0.8 mg/dm<sup>3</sup>, which meets the regulatory requirements. The developed biotechnology is implemented at the treatment plants of the Slavuta Malt House, which is confirmed by the act of introduction.

**Personal contribution of the Ph.D. student.** The dissertation was performed at the Department of Ecobiotechnology and Bioenergy of the Faculty of Biotechnology and Bioingeniring of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" and on the basis of PJSC "Slavuta Malt House". Research planning and discussion of the results was carried out jointly with the supervisor. The personal contribution of the dissertation is to conduct research on the biological treatment of wastewater from iron ions with duckweed; research

on the influence of mixing modes of different constructions of aeration-rotor installation on the state of activated sludge; preparation for publication of articles and approbation of the obtained experimental data; development and implementation of biotechnology for wastewater treatment from iron ions.

The first chapter of thesis provides an analytical review of the literature on technologies for the extraction of heavy metal ions, in particular iron. Physicochemical and biological purification methods are analyzed. The efficiency of the use of duckweed for removal of iron ions has been established. The second chapter describes the methods of analysis, and describes the experimental installations on which the research was conducted. The third chapter describes the biological agent and its properties, provides theoretical studies of the mechanisms of heavy metal ions extraction by biological agent cells and their subsequent metabolic pathway, the influence of qualitative composition and water parameters on the efficiency of the iron ion transport process in duckweed cells. The fourth chapter presents the results of laboratory studies of the iron ions removal from the model wastewater, the efficiency of the process taking into account the influence of factors such as temperature, pH, the initial concentration of ferric ions, specific biomass of duckweed and sewage control Poninka Paper Mill factory. Chapter 5 presents the results of the semi-production research on the basis of the treatment plants of the Slavutf Malt House (industrial testing act). In the sixth chapter, technological and instrumental schemes of wastewater treatment biotechnology of Slavuta Malt House from iron ions by duckweed (introduction act) are developed and technical and economic indicators are given.

**Publications.** 28 scientific papers have been published on the topic of the dissertation, including 13 scientific articles, 11 of which have been published in Ukrainian scientific publications of Ukraine on technical sciences, 1 article in scientific journal registered in country-member of Organisation for Economic Co-operation and Development (Hungary); 1 - in other publications; 1 patent of Ukraine for a utility model; 14 abstracts of reports at national and international conferences.

**Keywords:** wastewater, iron ions, duckweed, biotechnology, treatment, cultivation, malt plant, paper mill, bioreactor, biomass, production cost

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

### СТАТТІ В ФАХОВИХ ТА МІЖНАРОДНИХ ВИДАННЯХ

1. Саблій Л. А., Кононцев С. В., Коренчук М. С. Підвищення ефективності аерування мулової суміші в аеротенках шляхом використання низьконапірного аератора. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. 2017. Вип. 28. С. 290–295. *(Здобувачем проведено дослідження впливу аераційно-окиснювальної установки на активний мул)*
2. Саблій Л. А., Ободович О. М., Сидоренко В. В., Коренчук М. С. Дослідження можливості використання аераційно-окиснювальної установки роторного типу для біологічного очищення стічних вод. Вісник НУВГП. 2017. Вип. 77, № 1. С. 94–102. *(Здобувачем проведено дослідження зміни показника хімічного споживання кисню стічних вод, оброблених в установці)*
3. Konontcev S., Sabliy L., Kozar M., Korenchuk N. Treatment of recirculating water of industrial fish farms in phytoreactor with lemnoideae. Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Вип. 5, № 10–89. (SCOPUS) *(Здобувачем проведено аналіз очищення стічних вод від сполук азоту водними макрофітами)*
4. Кононцев С. В., Гроховська Ю. Р., Саблій Л. А., Коренчук М. С. Адаптація ряскових (Lemnoideae) до умов органічного забруднення води. Вісник Хмельницького національного університету. 2018. Вип. 259, № 2. С. 141–145. *(Здобувачем встановлено вплив показника хімічного споживання кисню на життєздатність Lemna minor)*
5. Саблій Л. А., Коренчук М. С., Кононцев С. В. Аналіз ефективності застосування роторних аераторів при очищенні води у системах з оборотним водопостачанням. Вісник КНУТД. 2018. Вип. 120, № 2. С. 56–

61. *(Здобувачем встановлено придатність конструкції ротора з круглими отворами для застосування в біологічному очищенні стічних вод з активним мулом)*
6. Obodovych O., Sablii L., Sydorenko V., Korenchuk M. Application of aeration-oxidative jet-looped setup for biological wastewater treatment. *Biotechnologia Acta*. 2018. Вип. 11, № 2. С. 57–63. *(Здобувачем проведено аналіз кількості живих найпростіших та коловерток в активному мулі до та після випробування аераційно-окиснювальної установки)*
7. Саблій Л. А., Ободович О. М., Сидоренко В. В., Кононцев С. В., Коренчук М. С. Використання аераційної системи ежекторного типу для біологічного доочищення стічних вод. *Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті*. 2018. Вип. 22, № 1. С. 50–58. *(Здобувачем проведено аналіз ефективності альтернативних систем аерації в очисних спорудах)*
8. Саблій Л. А., Коренчук М. С., Кононцев С. В., Колтишева Д. С. Дослідження ефективності видалення іонів Феруму вищими водними рослинами. *Наукові праці ВНТУ*. 2018. №2. С. 5. *(Здобувачем встановлено ефективність видалення іонів Феруму від тривалості процесу очищення)*
9. Sablii L., Korenchuk M., Kozar M. The influence of nitrate on the phosphate removal from wastewater in activated sludge treatment process. *Biotechnologia Acta*. 2019. Vol. 12, № 4. С. 50–56. *(Здобувачем було встановлено вплив концентрації нітратів на ефективність видалення фосфатів рясковими у стічних водах)*
10. Sablii L., Korenchuk M., Kozar M. Using of *Lemna minor* for polluted water treatment from biogenic elements. *Biotechnologia acta*. 2019. Vol. 12, № 5. P. 82–88. *(Здобувачем було встановлено залежність зниження концентрації нітратів від тривалості контакту з ряскою)*
11. Sablii L., Obodovich O., Sydorenko V., Korenchuk M. Increase in the efficiency of removal of iron ions from wastewater by aquatic plant “*Lemna*

minor”. Acta Periodica Technologica. 2019. Vol. 352, issue 50. P. 210–219. (SCOPUS) *(Здобувачем встановлено зміну концентрації іонів Феруму в очищеній стічній воді від питомої кількості біомаси та тривалості процесу очищення)*

12. Sablii L., Korenchuk M. Tertiary wastewater treatment in the bioreactor with *Lemna minor* and immobilized microorganisms. The scientific heritage. 2019. Vol. 1, № 41. С. 31–35. (Угорщина) *(Здобувачем встановлено динаміку зміни концентрації іонів Феруму в експериментальному біореакторі)*
13. Ободович О. М., Саблій Л. А., Сидоренко В. В., Коренчук М. С. Нове тепломасообмінне обладнання для інтенсифікації процесу біологічного очищення стічних вод. Енергетика та автоматика. 2017. №3 *(Здобувачем проведено дослідження впливу кутової швидкості роторів на стан активного мулу)*

#### **ПАТЕНТИ**

1. Саблій Л.А., Козар М.Ю., Кононцев С.В. Коренчук М.С., винахідники; Саблій Л.А., Козар М.Ю., Кононцев С.В. Коренчук М.С., патентовласники. Фітореактор для доочищення стічних вод. Патент України на корисну модель UA 136188. 2019 серп. 12. *(Здобувачем проведено патентний пошук найближчих аналогів, прийнято участь в оформленні заявки).*

#### **ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ**

1. Коренчук М.С., Саблій Л.А. Аналіз біологічних методів видалення зі стічних вод важких металів. «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (26-28 жовтня 2016): матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – С. 110-111.
2. Коренчук М.С., Саблій Л.А. Сучасні біологічні методи очищення стічної води від іонів важких металів. «Меліорація та водокористування – сталий розвиток водогосподарського комплексу країни» (17 березня 2017):

- матеріали науково-практичної конференції, присвяченої 19-й річниці Університету «Україна». – Мелітополь, Мелітопольський інститут екології та соціальних технологій ВМУРоЛ «Україна», 2017.– С. 42-44.
3. Долінський А.А. Використання аераційно-окиснювальної установки роторного типу в технології біологічного очищення стічних вод. / А.А. Долінський, О.М. Ободович, Л.А. Саблій, В.В. Сидоренко, М.С. Коренчук // «Проблеми теплофізики та теплоенергетики» (23-26 травня 2017): Х міжнародна конференція.
  4. Саблій Л.А., Коренчук М.С. Вплив важких металів на вихід біогазу при анаеробному зброджуванні осадів стічних вод. «Відновлювальна енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті» (27-29 вересня 2017): матеріали ХVІІІ міжнародної науково-практичної конференції. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Інститут відновлювальної енергетики НАНУ, 2017.– С. 710-712.
  5. Коренчук М.С., Саблій Л.А. Видалення іонів важких металів зі стічної води біологічними методами. Біотехнологія ХХІ століття (Київ, 21 квітня 2017): матеріали ХІ Всеукраїнської науково-практичної конференції / Міністерство освіти і науки України, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Національна академія наук України, Інститут клітинної біології та генетичної інженерії. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – С. 120.
  6. Саблій Л. А. Використання гідромеханічної системи аерації для біологічного очищення стічних вод / Л. А. Саблій, О. М. Ободович, В. В. Сидоренко, С. В. Кононцев, М. С. Коренчук / «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (26-27 жовтня 2017 р., Київ): матер. V Міжнар. наук.-практ. конф. – К.: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2017. – С. 187–188. *(Здобувачем проведено аналіз впливу конструкції аератора на мікробіоту очисних споруд).*

7. Саблій Л.А. Пошук низькоенергетичних пристроїв для аерації стічних вод в аеротенках / Л.А. Саблій, М.С. Коренчук, О.М. Гіджеліцька // «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (26-27 жовтня 2017 р., Київ): матер. V Міжнар. наук.-практ. конф. – К.: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2017.– С. 189-190. (Здобувачем проведено аналіз зміни показника хімічного споживання кисню стічних вод від тривалості очищення)
8. Коренчук М.С., Саблій Л.А. Встановлення раціональних параметрів процесів біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики. «Біотехнологія ХХІ століття» (20 квітня 2018): матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С. 111.
9. Коренчук М.С., Саблій Л.А. Вплив біомаси *Letna minor* на кінетику очищення води від іонів Феруму. «Хімія, біо- і нанотехнології, екологія та економіка в харчовій та косметичній промисловості» (1-2 листопада 2018): збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції . – Харків: ХП, 2018. – С. 96-97.
10. Коренчук М.С., Саблій Л.А. Вплив гідравлічного режиму на ступінь очищення води від іонів Феруму за допомогою *Letna minor*. «Інноваційні матеріали та технології шкіряно-хутрового виробництва» (5 грудня 2018): збірник тез IV Міжнародного науково-практичного семінару. – Київ: КНУТД, 2018. – С.105-106.
11. Коренчук, М. С. Очищення води від іонів Феруму (III) за допомогою *L. minor* при різних гідравлічних режимах / М. С. Коренчук, Л. А. Саблій // Екологічні біотехнології та біоенергетика : матеріали науково-практичного семінару, присвяченого 120-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського (м. Київ, 14 грудня 2018 р.). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С. 48–52.

12. Коренчук М.С., Саблій Л.А. Вплив біомаси на вилучення іонів Феруму з води за допомогою *Letna minor* у проточних умовах. «Біотехнологія ХХІ століття» (19 квітня 2019): матеріали ХІІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 119.
13. Саблій Л. А. Застосування аераційно-окиснювальної установки роторного типу для біологічного очищення стічних вод / Л. А. Саблій, О. М. Ободович, В. В. Сидоренко, С. В. Кононцев, М. С. Коренчук / «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (14-15 листопада 2019 р., Київ): матер. VI Міжнар. наук.-практ. конф. – К.: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2019. – С. 177–178. (Здобувачем проведено аналіз впливу конструкції аератора на мікробіоту очисних споруд).
14. Коренчук М.С., Саблій Л.А. Використання *Letna minor* для доочищення стічних вод солодового заводу від сполук Феруму. «Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг» (23-25 жовтня 2019): матеріали 3-ї міжнародної науково-практичної конференції. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. – С. 212-213.