

АНОТАЦІЯ

Фещюх А.Б. Фізіологічні аспекти стійкості рослин *Salix viminalis* L. в умовах техногенного забруднення. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 «Біологія» галузі знань 09 «Біологія». Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, 2022.

В даний час проблема забруднення навколишнього середовища є надзвичайно актуальною. Особливо це стосується техногенно забруднених територій. Прикладом такої території є Стебницьке хвостосховище, яке містить 22 млн тонн соляно-глинистих відходів флотаційного збагачення, утворених внаслідок збагачення мінеральної сировини.

Вивчення захисних механізмів рослин за впливу абіотичних стресорів має велике значення в сучасних умовах розвитку сільського господарства та змін клімату. Стійкість рослин до техногенного забруднення є складною ознакою, яка включає фізіологічні механізми в організмі рослин.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню впливу абіотичного стресу, а саме засолення та важких металів (ВМ) в умовах техногенно забрудненого хвостосховища м. Стебника на морфометричні параметри, антиоксидантну та білок-синтезувальну системи рослин верби прутувидної (*Salix viminalis* L.) та їх фіторемедіаційний потенціал, а також угруповання ендofітних бактерій (ЕБ) коренів *S. viminalis* за впливу ризосферних бактерій *Salicornia europaeae* L. та забруднення хвостосховища м. Стебник.

Метою дисертаційної роботи було оцінити вплив техногенного забруднення на морфометричні та фізіологічні показники *S. viminalis*, а також вивчення складу угруповань ендofітних бактерій коренів рослин в умовах Стебницького хвостосховища.

Основні завдання роботи:

- виявити вплив техногенного забруднення на морфометричні показники та вміст води у органах *S. viminalis* в умовах Стебницького хвостосховища;
- визначити вміст ВМ у рослинному матеріалі та субстраті хвостосховища за умов росту рослин, а також оцінити відповідність вмісту ВМ екологічним нормам;
- визначити склад угруповань ЕБ коренів *S. viminalis* за сумісного впливу техногенного забруднення Стебницького хвостосховища та інокулювання ризосферою *Salicornia europaea* L.;
- дослідити вплив умов хвостосховища на накопичення білків у органах *S. viminalis*;
- встановити інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) у тканинах *S. viminalis* за утворенням малонового діальдегіду (МДА);
- дослідити вплив умов хвостосховища на стан окремих компонентів антиоксидантної системи (АОС) рослин – активність каталази (КАТ) (КФ 1.11.1.6) та пероксидази (ПОД) (КФ 1.11.1.7), вміст аскорбінової (АК), дегідроаскорбінової (ДГАК) та дикетогулонової кислот (ДКГК), фенольних сполук, проліну та розчинних цукрів у органах *S. viminalis*.

Для проведення досліджень використовували листки, стебла та корені 30-ти добових *S. viminalis*, вирощених у лабораторних умовах на субстраті із ділянок хвостосховища м.Стебник та 120-ти добових *S. viminalis*, вирощених на території Стебницького хвостосховища у польових умовах. Варіантами досліджень слугували рослини вирощені на субстраті Стебницького хвостосховища із ділянок відновленого біогеоценозу (контроль) та із ділянок, де поширені піонерні глікогалофіти (дослід). Для дослідження ЕБ коренів *S. viminalis*, окрім вище перелічених варіантів, використовували субстрат із найбільш забруднених ділянок Стебницького хвостосховища та ризосферні бактерії *Salicornia europaea* L., рослин, які ростуть на найбільш засолених ділянках даного хвостосховища.

Визначення морфометричних показників проводили на 30 добу росту у лабораторних умовах та на 120-ту – в польових.

На 30-ту добу росту *S. viminalis* досліджено активність АОС та процесів ПОЛ, проаналізовано вміст загальних та стресових білків у органах рослин, виявлено властивість рослин верби прутовидної накопичувати ВМ.

Відбір зразків коренів *S. viminalis* для скринінгу ЕБ було проведено після 90 діб росту рослин у лабораторних умовах.

Аналіз ферментної та неферментної АОС проведено на 120-ту добу росту *S. viminalis* в польових умовах.

У результаті проведених досліджень встановлено, що *S. viminalis* зазнавали стресу в умовах росту на техногенному субстраті Стебницького хвостосховища та проявляли адаптивні реакції. Зокрема виявлено незначне пригнічення ростових параметрів *S. viminalis* за росту на техногенному субстраті Стебницького хвостосховища як у лабораторних, так і у польових умовах вирощування. Визначення інтегрального показника стабільності росту *S. viminalis* показало, що на ділянках відновленого біогеоценозу є умови переходу до стресових умов (від норми до забруднення). Виявлено накопичення води у коренях 30-ти добових рослин у лабораторних умовах та у листках 120-ти добових *S. viminalis* у польових умовах.

Виявлено вплив фіторемедіації рослинами *S. viminalis* на вміст деяких ВМ у субстраті хвостосховища. Виявлено значне зменшення вмісту цинку в дослідному субстраті, порівняно з початковим вмістом, тобто перед вирощуванням рослин. Екологічну інформативність вмісту ВМ оцінювали за еколого-геохімічними коефіцієнтами. Найвищий коефіцієнт концентрації був у кадмію, який значно перевищував середній вміст елемента в орних землях України, та молібдену. Поліелементне забруднення субстрату зі хвостосховища, згідно з індексом забруднення ґрунту (ІЗГ), було однаковим до росту рослин, а після – показник зменшився у досліді. Дослідження біогеохімічної активності рослин підтвердили, що рослини верби мають високу здатність накопичувати ВМ із субстрату хвостосховища м.Стебник. Слід відмітити, що вміст ВМ у субстраті хвостосховища досить значний, однак рослини *S. viminalis* проявили фіторемедіаційні властивості та стійкість до комплексного стресу засолення та ВМ в умовах Стебницького хвостосховища.

Виконано скринінг ЕБ коренів *S. viminalis* за умов впливу ризосферних бактерій *Salicornia europaea* L. та техногенно забрудненого субстрату хвостосховища м. Стебник. Результати досліджень показали, що різноманітність бактерій у досліджуваних зразках *S. viminalis* з та без додавання ризосфери *S. europaea* відрізнялись не значно. Однак, слід відмітити позитивний ефект ризосферних бактерій *S. europaea* на збільшення відносної кількості бактерій у зразках. У всіх досліджуваних зразках коренів *S. viminalis* на рівні роду найбільше були представлені бактерії *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas*, *Rhizobacteriaceae* та *Flavobacterium*. Виявлено роди *Marinobacterium*, *Idiomarina*, *Marinamicrobium* та *Halomonas*, які були представлені у більшій кількості у зразках *S. viminalis*, які росли на субстраті із найбільш забруднених ділянок Стебницького хвостосховища. Виявлено наявність бактерій-поглиначів попередника «стресового» етилену АСС (1-аміноциклопропан-1-карбонової кислоти). За умов додавання ризобактерій *S. europaea*, зміни концентрації АСС були більш виразнішими.

Виявлено накопичення білків у стеблах та коренях 30-ти добових *S. viminalis* за росту на засоленому субстраті із хвостосховища в лабораторних умовах вирощування. В електрофореграмах проаналізованих органів *S. viminalis* виявлено низькомолекулярні поліпептиди із Mr 30, 23, 22, 20, 17, 15, 12, 10 та 8 кДа, вміст яких істотно варіював в залежності від органа рослин. Помічено якісні та кількісні відмінності спектрів низькомолекулярних білків у контрольному та дослідному варіантах, зокрема у органах дослідних *S. viminalis* зміни білків були виразнішими. У коренях *S. viminalis* виявлено низькомолекулярні білки із Mr 19—21 кДа у контрольному та дослідному варіантах, однак за впливу техногенного забруднення їх кількість збільшувалась. Виявлено більший вміст білків із Mr 22 кДа у стеблах дослідних рослин у порівнянні з контрольним варіантом. За стресових умов, у стеблах *S. viminalis* утворювались білки із Mr 17 кДа. У листках дослідних рослин був менший вміст білків із Mr 20—23 кДа у порівнянні із контролем, однак більше білків Mr 10 кДа. Отже, за дії техногенного забруднення в органах рослин *S.*

viminalis накопичувались низькомолекулярні стресові білки, що може бути пов'язано з певними особливостями пристосування рослин.

Встановлено вплив техногенного забруднення на АОС 30-ти добових *S. viminalis*. Виявлено зниження вмісту фенольних сполук за дії стресу, внаслідок адаптації рослин до нових умов та токсичної дії засолення. Отримані дані можна пояснити дефіцитом вологи, який виникає при засоленні. Виявлено зростання вмісту АК, ДАК та ДКГК у листках та коренях *S. viminalis* у порівнянні із контрольними рослинами. У стеблах *S. viminalis* встановлено інтенсивне використання АК та зростання вмісту ДАК та ДКГК відносно контролю. Отримані результати можуть свідчити про пристосування рослин *S. viminalis* до впливу техногенного забруднення. Ферментативна активність 30-ти добових *S. viminalis* була найвищою у листках дослідних рослин, порівняно із контрольними. Відомо, що за росту на забрудненому субстраті спостерігається підвищення загальної пероксидазної активності, що підтверджується отриманими даними. У результаті лабораторних досліджень встановлено накопичення проліну в стеблах і коренях 30-ти добових *S. viminalis* дослідного варіанту, порівняно із контролем. Результати дослідження можна пояснити фізіологічною посухою, яка виникає як наслідок засолення субстрату хвостосховища.

За умов росту в польових умовах Стебницького хвостосховища, 120-ти добові *S. viminalis* були використані для дослідження системи антиоксидантного захисту рослин в умовах техногенного засолення. У стеблах *S. viminalis* виявлено активність пероксидази та накопичення проліну за умов техногенного забруднення. Однак у коренях спостерігалось підвищення активності каталази. Адаптаційні механізми *S. viminalis* проявлялись у збільшенні кількості спирто- та водорозчинних цукрів у листках та коренях рослин. Отже, збільшення кількості та зміни активності ферментів показали участь АОС в адаптації *S. viminalis* до техногенного забруднення в умовах Стебницького хвостосховища.

Отримані результати дисертаційної роботи засвідчують адаптивні реакції *S. viminalis* в умовах росту на субстраті хвостосховища м. Стебник, які

проявлялись у активності антиоксидантних ферментів та збільшення вмісту неферментативних антиоксидантів. Також виявлено чітке накопичення низькомолекулярних стресових білків порівняно із контрольними рослинами. Важливо відмітити, що *S.viminalis* проявляли фітореMediaційні властивості. Отримані дані стануть відправною точкою для розуміння механізмів адаптації *S. viminalis* до комплексного впливу засолення та ВМ в умовах Стебницького хвостосховища. Вважаємо, що отримані результати у майбутньому дадуть змогу використовувати *S. viminalis* у природоорієнтованих рішеннях та еко-інженерних проектах на техногенно забруднених територіях.

Ключові слова: *Salix viminalis*, хвостосховище, засолення, мінеральні елементи, важкі метали, фітореMediaція, антиоксидантна система, каталаза, пероксидаза, розчинні цукри, фенольні сполуки, аскорбінова кислота, пролін, стресові білки, ендofітні бактерії.

SUMMARY

Fetsiukh A. Physiological Aspects of *Salix viminalis* L. Tolerance to Technogenic Pollution Conditions. – Qualifying scientific work with manuscript rights.

Ph.D. thesis, field of knowledge 09 "Biology", speciality 091 "Biology". Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, 2022.

Currently, the problem of environmental pollution is extremely significant. This especially applies to technogenically polluted areas. An example of such an area is the Stebnyk tailing, which contains 22 million tons of salt-clay waste from flotation enrichment, formed as a result of enrichment of mineral raw materials.

The study of the protective mechanisms of plants under the influence of abiotic stressors is of great importance in the modern conditions of agricultural development and climate change. Plant tolerance to technogenic pollution is a complex trait that involves physiological mechanisms in the plant organism.

This thesis is devoted to the study of the effect of abiotic stress, namely salinity and heavy metals (HM), in the conditions of the technogenically polluted tailing in Stebnyk on the morphometric parameters, antioxidants and protein profile of willow plants (*Salix viminalis* L.), and their phytoremediation potential as well as the community of endophytic bacteria (EB) in *S. viminalis* roots under the influence of rhizospheric bacteria of *Salicornia europaeae* L. and pollution of Stebnyk tailing.

The aim of the investigation was to evaluate the nature of the impact of technogenic pollution on the morphometric and physiological parameters of *S. viminalis*, as well as to examine the composition of endophytic bacteria of plant roots under the Stebnyk tailing conditions.

The main tasks of the thesis:

- to reveal the influence of technogenic pollution on the morphometric parameters and water content in organs of *S. viminalis* under Stebnyk tailing conditions;

- to determine the content of HM in *S. viminalis* organs and substrate of the tailing after plant growth, as well as to assess the compliance of HM to ecological norms;

- to determine the community composition of endophytic bacteria of *S. viminalis* roots under the combined influence of technogenic pollution of the Stebnyk tailing and rhizosphere bacteria of *Salicornia europaeae* L.;

- to investigate the influence of tailing conditions on the accumulation of proteins in *S. viminalis* organs;

- to establish the intensity of lipid peroxidation in *S. viminalis* tissues based on the formation of malondialdehyde (MDA);

- to investigate the influence of tailing conditions on some components of the antioxidative system (AOS) of plants – the activity of catalase (CAT) (EC 1.11.1.6) and peroxidase (POD) (EC 1.11.1.7), the content of ascorbic (AsA), dehydroascorbic (DHA), and diketogulonic acids (DKG), phenolic compounds, proline, and soluble sugars in *S. viminalis* organs.

Leaves, stems, and roots of *S. viminalis* after 30 and 120 days of growth in a greenhouse on substrate from the Stebnyk tailing, and in the field conditions of the

Stebnyk tailing respectively were used for the research. For our research, we used plants grown on Stebnyk tailing substrate from areas of restored biogeocenosis (control) and where pioneer glycohalophytes are common (experiment). To study the EB of *S. viminalis* roots, in addition to the variants listed above, we used substrate from the most polluted areas of the Stebnyk tailing and rhizospheric bacteria of *Salicornia europaea* L., plants that grow on the most saline areas of the Stebnyk tailing.

Determination of morphometric parameters was carried out after 30 days of growth in a greenhouse and after 120 days of growth under field conditions.

The activity of the antioxidative system and lipid peroxidation processes in organs of *S. viminalis* after 30 days of growth was investigated; the content of common and stress proteins in plant organs was analyzed; the ability of basket willow to accumulate heavy metals was revealed.

Selection of *S. viminalis* root samples for screening of EB was carried out after 90 days of plant growth in a greenhouse.

Analysis of the enzymatic and non-enzymatic antioxidants was carried out after 120 days of growth of *S. viminalis* under field conditions.

It was established that *S. viminalis* was stressed under growth conditions on the technogenically polluted substrate of the Stebnyk tailing and showed adaptive reactions. In particular, a slight suppression of the growth parameters of *S. viminalis* during growth on the Stebnyk tailing was found both under laboratory and field conditions. The determination of the integral indicator of developmental stability of *S. viminalis* showed that conditions of transition to stressful (from normal to pollution) exist on the area of restored biogeocenosis. Water accumulation was detected in the roots of 30 day-old plants in greenhouse conditions and the leaves of 120-day old *S. viminalis* under field conditions.

A positive effect of *S. viminalis* growth on the content of some HM in the substrate of the tailing was found. A significant decrease in the content of zinc in the experimental substrate was revealed, compared to the initial content before plant growth. The ecological informativeness of the HM content was assessed by ecological-geochemical coefficients. The highest coefficient of the concentration was

for cadmium, which significantly exceeded the average content of the element in arable lands of Ukraine, and molybdenum. Polyelement pollution of the tailing substrate according to the soil pollution index (SPI), was the same before the growth of plants, but after plant growth, the indicator was decreased in the experiment. Studies of the biogeochemical activity of plants have confirmed that willow plants have a high ability to accumulate HM from the substrate of the Stebnyk tailing. It should be noted that the content of HM in the substrate of the tailing is significant, however, *S. viminalis* showed phytoremediation properties and resistance to the complex stress of salinity and HM under the Stebnyk tailing conditions.

Screening of the EB of *S. viminalis* roots was performed under the conditions of exposure to the technogenically polluted substrate of the Stebnyk and rhizosphere bacteria of *Salicornia europaea* L. The research results showed that the diversity of endophytic bacteria in *S. viminalis* samples with and without the supplementation of *S. europaea* rhizosphere did not have a significant difference. However, a positive effect of rhizosphere bacteria of *S. europaea* on EB amount was established. In root samples of *S. viminalis*, *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas*, *Rhizobacteriaceae*, and *Flavobacterium* were the most represented at the genus level. It should be noted that such genera as *Marinobacterium*, *Idiomarina*, *Marinamicrobium*, and *Halomonas* were represented in greater numbers in the roots samples of *S. viminalis*, which grew on the substrate from the most polluted areas of the Stebnyk tailing. ACC-utilizing bacteria were found. Changes in ACC concentration were more distinct in samples that were supplemented with rhizosphere bacteria of *S. europaea*.

Accumulation of proteins in the stems and roots of 30-days old *S. viminalis* during growth on technogenic saline substrate from Stebnyk tailings under greenhouse conditions was revealed. Low molecular weight polypeptides with Mr 30, 23, 22, 20, 17, 15, 12, 10, and 8 kDa were found in the electrophoregrams of the analyzed proteins in organs of *S. viminalis*. The content of proteins varied significantly depending on the plant organ. Qualitative and quantitative differences in the spectra of low molecular weight proteins were observed between the control and experimental variants, in particular, in the organs of the experimental *S. viminalis*, protein changes were more significant. Proteins with Mr 19-21 kDa were detected in

the control and experimental variants in *S. viminalis* roots, but their number increased under stress conditions. Higher content of proteins with Mr 22 kDa was found in the stems of the experimental plants compared to the control variant. Proteins with Mr 17 kDa were found in the stems of *S. viminalis* under stress conditions. Lower content of proteins with Mr 20-23 kDa and more proteins with Mr 10 kDa was found in the leaves of plants under stress conditions, compared to the control. Therefore, low molecular weight stress proteins accumulated in the organs of *S. viminalis* under technogenic pollution, which may be related to certain features of plant adaptation.

The influence of technogenic pollution on the antioxidative system of 30-day old *S. viminalis* was determined. The content of phenolic compounds was decreased as a result of plant adaptation to new conditions and the toxic effect of the tailing's substrate salinity. The obtained data can be explained by the moisture deficit that occurs under salinity. An increase in the content of AsA, DHA, and DKG in the leaves and roots of *S. viminalis* compared to the control plants was revealed. In the stems of *S. viminalis*, intensive use of AK was established. The content of DHA and DKG was increased relative to the control. The obtained results may indicate the adaptation of *S. viminalis* plants to technogenic pollution. Enzymatic activity of 30-days old *S. viminalis* was the highest in the leaves of the experimental plants, compared to the control. It is known that growing on polluted substrate showing an increase in total peroxidase activity, which is confirmed by the data we obtained. As a result of laboratory studies, the accumulation of proline in the stems and roots of the 30-days old *S. viminalis* experimental variant was established, compared to the control. The results of the study can be explained by physiological drought, which occurs as a result of substrate salinity.

One hundred and twenty days old *S. viminalis* were used to study the plant antioxidative defense system under Stebnyk tailing field conditions. Peroxidase activity and proline accumulation were detected in the stems of *S. viminalis* under technogenic pollution. However, an increase in catalase activity and the content of soluble sugars was observed in the roots. Therefore, the amount increase and changes in the activity of enzymes showed the participation of the antioxidative system in the

adaptation of *S. viminalis* to technogenic pollution under the conditions of the Stebnyk tailing.

The obtained results of the dissertation prove the adaptive reactions of *S. viminalis* under the conditions of the Stebnyk tailing, which were shown in the activity of antioxidative enzymes and an increase in the amount of non-enzymatic antioxidants. A clear accumulation of low molecular weight stress proteins was also detected compared to control plants. Importantly, *S.viminalis* demonstrate phytoremediation properties. The obtained data will be a starting point for understanding the mechanisms of *S. viminalis* adaptation to complex impact of salinity and heavy metals under the conditions of the Stebnyk tailing. We believe that the obtained results will make it possible to use *S. viminalis* in nature-based solutions and eco-engineering projects on technogenically polluted areas in the future.

Key words: *Salix viminalis*, tailing, salinity, mineral elements, heavy metals, phytoremediation, antioxidant system, catalase, peroxidase, soluble sugars, phenolic compounds, ascorbic acid, proline, stress proteins, endophytic bacteria.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Статті, в яких висвітлені основні наукові результати дисертації:

1. **Fetsiukh, A.**, Bunio, L., Patsula, O., Timmusk, S., & Terek, O. (2022). Content of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in *Salix viminalis* L. grown on the Stebnyk tailing. *Acta Agrobotanica*, 75, 1-13. <https://doi.org/10.5586/aa.752> (Scopus).
2. **Фецюх, А. Б.**, Буньо, Л. В., Пацула, О. І., & Терек, О. І. (2020). Вплив засолення на склад білків і вміст проліну в органах рослин *Salix viminalis* L. *Фізіологія рослин і генетика*, 52(5), 412—421. <https://doi.org/10.15407/frg2020.05.412>
3. **Фецюх, А.**, Буньо, Л., Пацула, О., & Терек, О. (2019). Накопичення важких металів рослинами *S. viminalis* за росту на субстраті з Стебницького хвостосховища. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*, (81), 96-110. <http://dx.doi.org/10.30970/vlubs.2019.81.11>
4. **Фецюх, А.**, Буньо, Л., Пацула, О., & Терек, О. (2018). Екологічні проблеми, спричинені розробкою Прикарпатського родовища полімінеральних калійних руд у м. Стебник. *Біологічні студії*, (12, № 2), 157-166. <http://dx.doi.org/10.30970/sbi.1202.537>
5. Пацула, О., **Фецюх, А.**, & Буньо, Л. (2018). Використання *Salix viminalis* L. для фіторе mediaції ґрунтів, забруднених важкими металами. *Екологічні науки*, 1(20), 101-106.
6. Буньо, Л. В., **Фецюх, Н.**, Пацула, О. І., & Терек, О. І. (2017). Якість рослинної сировини одержаної з *Salix viminalis* L. вирощеної на засоленому субстраті хвостосховища м. Стебника. *Біологічні студії*, (11, № 3-4), 96-97.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. **Фецюх, А.**, & Пацула, О. (2016). Вплив важких металів на морфо-фізіологічні показники рослин верби прутовидної (*Salix viminalis* L.). *Молодь і поступ біології. Тези доповідей XII Міжнародної наукової конференції студентів та аспірантів (Львів, 19-21 квітня 2016 р.)* (С.343-344). Львів: ЛНУ.

8. **Фецюх, А. Б.,** Буньо, Л. В., & Пацула, О. І. (2016). Міцність зв'язку хлорофілу з білково-ліпідним комплексом рослин *Salix viminalis* L. за росту на засоленому субстраті з хвостосховища м. Стебник. *Фізіологія рослин у системі сучасних біологічних знань та наук. Тези доповідей II-го науково-методичного інтернет-семінару (Харків, Україна, 14 грудня 2016 р.)* (С. 32-33). Харків: ХНУ.

9. **Фецюх, А. Б.,** Буньо, Л. В., & Пацула, О.І. (2016). Вміст важких металів у рослин *Salix viminalis* L. за росту на засоленому субстраті з хвостосховища м. Стебник. *Біологія: від молекули до біосфери. Тези доповідей XI Міжнародної наукової конференції (Харків, Україна, 29 листопада – 2 грудня 2016)* (С. 106-107). Харків: ХНУ.

10. **Фецюх, А.,** Библів, Х., Гузар, О., Буньо, Л., & Пацула, О. (2017). Антиоксидантна система рослин *Salix viminalis* L. за росту на засоленому субстраті хвостосховища м. Стебник. *Молодь і поступ біології. Тези доповідей XIII Міжнародної наукової конференції студентів та аспірантів (Львів, Україна, 25-27 квітня 2017 р.)* (С. 293-294). Львів: ЛНУ.

11. **Фецюх, А.,** Библів, Х., Гузар, О., Пацула, О., & Буньо, Л. (2017). Водотримуюча здатність листків рослин *Salix viminalis* L. за росту на засоленому субстраті хвостосховища м. Стебник. *Шевченківська весна: досягнення біологічної науки/BioScience Advances. Тези доповідей XV Міжнародної наукової конференції молодих вчених (Київ, Україна, 18-21 квітня 2017)* (С. 124-125). Київ: ПАЛИВОДА А.В.

12. **Фецюх, А. Б.,** Буньо, Л. В., & Пацула, О. І. (2017). Вплив сольового забруднення на вміст фенольних сполук в органах *Salix viminalis* L., вирощених на субстраті з хвостосховища м. Стебник. *Біологія: від молекули до біосфери. Тези доповідей XII Міжнародної конференції молодих науковців (29 листопада – 1 грудня 2017)* (С. 110-111). Харків: ФОП Шаповалова Т. М.

13. **Фецюх, А. Б.,** Буньо, Л. В., & Пацула, О. І. (2017). Прооксидантно-антиоксидантна система у рослин *Salix viminalis* L. за дії сольового забруднення. *International research and practice conference: Modern methodologies, innovations, and operational experience in the field of biological sciences (Lublin, Poland, December 27-28, 2017)* (pp. 288-291). Lublin:

Izdevniecība «Baltija Publishing».

14. **Фецюх, А.,** Буньо, Л., Пацула, О., & Терек, О. (2018). Вплив засолення на вміст аскорбінової кислоти у органах рослин *Salix viminalis* L. *Молодь і поступ біології. Тези доповідей XIV Міжнародної наукової конференції студентів та аспірантів (Львів, 10 – 12 квітня 2018)* (С. 309-310).

15. **Фецюх, А.,** Пацула, О., Буньо, Л., & Терек, О. (2019). Біогеохімічна активність рослин *Salix viminalis* L. за росту на відвалах переробки полімінеральних калійних руд м. Стебник. *Молодь і поступ біології. Тези доповідей XV Міжнародної наукової конференції студентів та аспірантів (Львів, 9 – 11 квітня 2019)* (С. 180-181). Львів: ЛНУ.

16. **Фецюх, А.,** Пацула, О., Буньо, Л., & Терек, О. (2020). Роль ризосферних бактерій *Salix* sp. у мобілізації та фітоекстракції мікроелементів на забруднених ґрунтах. *Молодь і поступ біології. Тези доповідей XVI Міжнародної наукової конференції студентів та аспірантів (Львів, 27 – 29 квітня 2020)* (С. 210-211). Львів: ЛНУ.

17. **Фецюх, А.,** & Буньо, Л. (2020). Флуктуаційна асиметрія листків *Salix viminalis* L. в інтактній зоні і зоні техногенного забруднення. *Стан природних ресурсів: перспективи їх збереження та відновлення у контексті сталого розвитку. Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції (Дрогобич, 27–28 жовтня 2020 р.)* (С. 81-83). Дрогобич: ДДПУ.

18. **Фецюх, А.,** Буньо, Л., & Терек, О. (2021). Кінетика росту *Salix viminalis* L. за умов техногенного навантаження. *Актуальні проблеми фізіології рослин і генетики. Тези доповідей Міжнародної наукової конференції (Київ, 17 червня 2021 р.)* (С. 200-202). Київ: Інтерсервіс.

19. **Fetsiukh, A.,** & Timmusk, S. (2021). Phytostabilization of Mine Tailing at Northeastern Outskirts of Stebnyk Region: The Role of Plant-Soil-Microbe Interactions and Extremophilic Microbial Ability to Decontaminate Pollution. Ph.D. students' days Faculty of Food Engineering, Tourism and Environmental Protection (Arad, Romania, November 26, 2021) (P. 12). Arad: Ministry of Education "Aurel Vlaicu" University.