

## ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

Борецька І.Ю.<sup>1</sup>, Джура Н.М.<sup>1</sup>, Романюк О.І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Грушевського, 4, 79005, Львів

<sup>2</sup>Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії  
імені Л.М. Литвиненка Національної академії наук України  
вул. Наукова, 3А, 79022, м. Львів  
[ira.boretska2017@gmail.com](mailto:ira.boretska2017@gmail.com)

У статті розглядаються проблеми антропогенної трансформації ґрунтів, забруднених важкими металами, радіонуклідами, пестицидами, нафтою і нафтопродуктами. Відновлення родючості ґрунтів та захист їх від забруднення є складними науковими завданнями сучасності, що потребують проведення комплексу фізико-хімічних і біологічних заходів. Важливим теоретично-прикладним аспектом є розроблення нових способів ремедіації для зниження процесів деградації ґрунтів за впливу хімічного забруднення. Проаналізовано екологічні особливості енергетичних культур: *Camelina sativa* L., *Melilotus officinalis* L., *Brassica napus* L., *Switchgrass – Panicum virgatum* L., *Miscanthus giganteus* L., *Salix* L., *Populus* L., які можна використовувати для фіторемердіації техногенно забруднених ґрунтів. Енергетичні рослини спеціально вирощують для використання як палива або для виробництва на їх основі біопалива. Вагомим аргументом для розвитку зеленої енергетики є те, що енергетичні культури здатні рости на малородючих ґрунтах і нагромаджувати за таких умов велику кількість біомаси. Коренева система за довготривалого вирощування культури на одному місці збагачує вміст органічної речовини у ґрунті, тим самим підвищуючи його родючість. Окреслено переваги енергетичних рослин як фіторемердіантів. Фіторемердіаційна технологія об'єднує багато методів, які базуються на процесах фітостабілізації (іммобілізації органічних і неорганічних забруднювачів шляхом адсорбції кореннями рослин і перетворення поллютантів у нерозчинні, малорухомі форми ґрунтового комплексу); фітоекстракції (поглинання поллютантів кореннями і переміщення у надземну частину, акумуляції у різних органах; використовують для очищення ґрунтів, забруднених важкими металами й радіонуклідами); фітовипаровування (вилучення токсикантів із ґрунту рослинами і виділення в атмосферу летких нетоксичних сполук); фітостимуляції (збільшення мікробного метаболізму у ризосфері). Узагальнено і систематизовано матеріал про використання енергетичних культур для відновлення деградованих ґрунтів. Наведено перелік енергетичних рослин та обґрунтовано доцільність їх вирощування як перспективну фітотехнологію підвищення агрономічної ефективності ґрунтів. *Ключові слова*: фіторемердіація, техногенно забруднені ґрунти, важкі метали, пестициди, радіонукліди, нафтозабруднені ґрунти, енергетичні культури.

### Phytoremediation of technogenically contaminated soils by means of energy crops. Boretska I., Dzhura N., Romanyuk O.

The article considers the issue of anthropogenic transformation of soils contaminated with heavy metals, radionuclides, pesticides, oil and petroleum products. Restoring soil fertility and protecting it from pollution is a complex scientific task of our time, which requires taking physical, chemical and biological measures. An important theoretical and applied aspect is the development of new remediation methods to reduce soil degradation under the influence of chemical pollution. Ecological features of the following energy crops were analyzed: *Camelina sativa* L., *Melilotus officinalis* L., *Brassica napus* L., *Switchgrass – Panicum virgatum* L., *Miscanthus giganteus* L., *Salix* L., *Populus* L. They can be used for phytoremediation of technogenically contaminated soils. Energy crops are grown to be used as solid fuels or for the production of biofuels. A strong argument in favour of green energy is that energy crops can be grown on low-fertile soils and can accumulate a large amount of biomass under such conditions. In the process of long-term cultivation of such crops in one place, the root system enriches the amount of organic matter in the soil, thereby increasing its fertility. The benefits of energy plants as phytoremediants are outlined in the article. Phytoremediation technology combines many methods that are based on the processes of phytostabilization (immobilization of organic and inorganic pollutants which are absorbed by plant roots and transformed into insoluble, sedentary forms of the soil complex); phytoextraction (pollutants are absorbed by roots, moved to the aboveground part and accumulated in various organs; used for cleaning soils contaminated with heavy metals and radionuclides); phytovolatilization (toxicants are removed from the soil by plants and then the non-toxic volatile compounds are released into the atmosphere); phytostimulation (increase of microbial metabolism in the rhizosphere). The advantages of growing energy plants as a promising phytotechnology for restoring degraded soils and increasing their agronomic efficiency are substantiated. The article systematizes and generalizes information on the use of energy crops for the restoration of degraded soils. The list of energy crops is provided together with the justification of their cultivation as a promising phytotechnology used to increase the agronomic efficiency of soils. *Key words*: phytoremediation, technogenically contaminated soils, heavy metals, pesticides, radionuclides, oil-contaminated soils, energy crops.

**Постановка проблеми.** Відновлення деградованих земель є складним, а інколи неможливим завданням, оскільки втрата їх природної родючості тісно пов'язана з порушенням низки процесів і явищ, що відбуваються за участі рослин та інших ґрунтових

організмів. Вирощування енергетичних культур на забруднених та деградованих ґрунтах – перспективний варіант уникнення використання орних земель сільськогосподарського призначення з такою метою, зменшення конкуренції між продовольчим та біоенер-

гетичним землекористуванням. Актуальним є пошук нових потенційних енергетичних культур для виробництва рідкого та твердого біопалива та дослідження фіторемераційних можливостей таких рослин на забруднених землях. Проте літературних даних та наукових досліджень про ремераційну здатність енергетичних культур сьогодні бракує. Не повною мірою вивчено й особливості використання енергетичних культур для фіторемерації забруднених земель на фоні різних забруднювачів.

**Актуальність дослідження.** Відновлення родючості ґрунтів, охорона їх від забруднення є однією з найскладніших наукових проблем сучасності, що потребує проведення комплексу фізико-хімічних і біологічних заходів. Актуальним та важливим як у теоретичному, так і в прикладному аспектах є розроблення нових способів ремерації забруднених ґрунтів. Фіторемерація є одним із найефективніших методів дезактивації забруднюючих речовин у ґрунті за допомогою рослин. Фіторемерація не вимагає екскавації ґрунту, сприяє збереженню й відновленню навколишнього середовища, сприяє поліпшенню якості ґрунтів, захисту їх від ерозії, може застосовуватися на великих площах [5, 11, 13, 14].

Вагомим аргументом для розвитку зеленої енергетики є те, що енергетичні культури здатні рости на малородючих ґрунтах і нагромаджувати за таких умов велику кількість біомаси. Коренева система за довготривалого вирощування культури на одному місці збагачує вміст органічної речовини у ґрунті, тим самим підвищуючи його родючість. Після вегетації надземна біомаса рослин може підлягати відповідній переробці і бути додатковим джерелом кольорових металів, біопаливом для енергетичних цілей. Висока продуктивність біомаси енергетичних культур може перетворити технологію фіторемерації у прибуткову галузь для біоенергетичної промисловості [4, 6, 15].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Узагальнено і систематизовано матеріал про використання енергетичних культур для відновлення деградованих ґрунтів. Наведено перелік енергетичних рослин-фіторемерантів та обґрунтовано доцільність їх практичного використання на забруднених територіях. Робота проводиться в межах науково-дослідної теми кафедри екології Львівського національного університету імені Івана Франка «Екологічний моніторинг абіотичних і біотичних компонентів середовища в умовах антропогенно-техногенного впливу на довкілля» (номер державної реєстрації – 0119U002396).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Техногенне забруднення довкілля має глобальний характер. Господарська діяльність людини призвела до деградації земель, їх забруднення пестицидами, радіонуклідами та важкими металами. До земель несільськогосподарського призначення належать

забруднені ґрунти поблизу гірничодобувних і металургійних виробництв; кар'єри, полігони твердих побутових відходів та інші маргінальні території, особливістю яких є перевищення ГДК неорганічних (важкі метали: Pb, Cr, Al, Zn, Ni та ін.) та органічних (поліциклічні ароматичні вуглеводні, пірен, фенатрен, поліфенольні сполуки та ін.) сполук [7, 8, 11, 12, 14].

Серед основних джерел забруднення є коксохімічне виробництво, установки спалювання вихопного палива – ТЕС, ГЕС, котельні, чорна й кольорова металургія, хімічна промисловість, виробництво будівельних матеріалів, целюлозно-паперова, нафтохімічна, паливна промисловості, а також транспорт, комунальне й сільське господарство [4]. Нафтовидобувна і нафтопереробна галузі промисловості за наслідками впливу на природне середовище створюють багатопланові проблеми. Узагальнено матеріал про вплив поллютантів на деградацію ґрунтів (табл. 1).

Ступінь деградації ґрунтів великий, а процес ремерації – складний, дорогий і повільний. Ґрунтознавці стверджують, що для відновлення продуктивності виснаженого і пошкодженого ґрунту необхідні значні інвестиції. Здійснення рекультивації забруднених земель необхідно розпочинати з розроблення способів їх використання в агропромисловому виробництві, що дало би змогу швидко відновлювати такі землі та отримувати з них безпечну продукцію [2].

**Виклад основного матеріалу.** Очищення забруднених ґрунтів є надзвичайно важливою проблемою для України. Рослини здатні накопичувати ксенобіотики у біомасі, піддавати їх метаболічним перетворенням і сорбувати на своїй поверхні. Саме тому перспективним і сучасним методом для відновлення деградованих хімічно забруднених ґрунтів різного генезису у промислово розвинених країнах є *фіторемерація*. Як динамічно розвинений напрям відновлення властивостей, екологічних функцій та якостей ґрунту фіторемерація об'єднує значну кількість методів, які базуються на процесах: *фітостабілізації* (імобілізації органічних і неорганічних забруднювачів шляхом адсорбції коренями рослин, часточками ґрунту або осадження в прикореневій зоні; передбачає перетворення поллютантів у нерозчинні, малорухомі форми і подальше підтримання їх у такому стані завдяки сполукам, що виділяються кореневою системою рослин у ґрунтовий комплекс; запобігає переміщенню поллютантів у ґрунті, ґрунтових водах або повітрі, зменшує ерозію, винос і вилуговування, сприяє відновленню екосистем і біорозмаїття); *фітоекстракції* (поглинання забруднювачів кореневою системою рослин разом із поживними речовинами і транслокація їх у надземні органи; по завершенні вегетації й транслокаційних процесів надземні органи рослин скошуюють і піддають відповідній переробці; використовують для очищення ґрунтів і водойм, забруднених важкими металами й радіонуклідами); *фітостимуляції* (збільшує мікробний метаболізм у рослинній ризосфері,

## Вплив забруднення на ґрунтові екосистеми

Пестициди	За дії пестицидів змінюється мікробіоценоз ґрунту, кількісні та якісні показники популяцій ґрунтових мікроорганізмів, що може спричинити погіршення процесів самоочищення [19]. Негативні наслідки застосування пестицидів: зменшення біологічної продуктивності, порушення функціонування ґрунтових мікробіоценозів, накопичення залишків пестицидів та їх похідних у поверхневих ґрунтових водах, перешкоджання відновленню родючості, зменшення харчової цінності сільськогосподарської продукції тощо. Інтенсивність шкідливого впливу залежить від технології застосування пестицидів, способів обробки ґрунту або рослин. Пестициди бувають не тільки токсичними, а і стійкими. Найстійкішими є хлорорганічні пестициди. Період напіврозпаду деяких пестицидів, що містять миш'як, свинець або ртуть, може затягтися до 20 років. У ґрунті відбувається фотохімічне та біохімічне руйнування препаратів: випаровування в атмосферу, адсорбція частинами ґрунту та гумусу, поглинання і трансформація ґрунтовими організмами, перехід у рослини тощо. Сукупність цих процесів визначає стабільність агрохімікатів у ґрунті [20].
Важкі метали та їхні сполуки	Найнебезпечніші забруднювачі ґрунту, які характеризуються значною стабільністю, високою токсичністю, вираженими акумулятивними властивостями, що глибоко впливають на живі організми. Викиди відпрацьованих газів автомобільного транспорту містять токсичні сполуки кадмію і свинцю. Забруднення ґрунтів вздовж автомагістралей цими важкими металами є тривалим і стійким [7]. Сільськогосподарські угіддя забруднюються важкими металами внаслідок атмосферних викидів підприємств, відходів тваринницьких ферм та застосування мінеральних добрив і пестицидів. Органічні добрива – гній і компост – можуть містити велику кількість важких металів. У результаті внесення у ґрунт органіки у ньому зростає концентрація свинцю, кадмію, міді, цинку, заліза, марганцю [1, 7]. Значна кількість кадмію надходить у довкілля із продуктами горіння. Вміст кадмію у деревній золі коливається у межах від 2 до 30 мг/кг, а в золі із соломи сягає 10 мг/кг. Значне забруднення кадмієм атмосфери, ґрунту і води відбувається під час лісових пожег. Оскільки зола має лужну реакцію, наявний у її складі кадмій нерозчинний у воді і погано засвоюється рослинами, проте він накопичується у ґрунті і під час закислення стає доступним для рослин [1].
Радіонукліди	Особливістю Чорнобильської аварії є <i>стійке, довготривале, нерівномірне, плямисте радіоактивне забруднення</i> великих територій цезієм, стронцієм і плутонієм. Одним із найважчих наслідків аварії є радіоактивне забруднення сільськогосподарських угідь. Із користування було виведено близько 5 млн га (50 тис. км <sup>2</sup> ) земель, з яких 3,5 млн – орних і 1,5 млн га – ліси. Радіонукліди стають складовими частинами загального колообігу речовин, мають здатність нагромаджуватися у ґрунті, воді, організмах. Нині радіаційна ситуація в Україні на забруднених територіях порівняно з раннім постчорнобильським періодом покращилася внаслідок природного радіоактивного розпаду, фіксації і перерозподілу радіонуклідів у ґрунті; проведення комплексу контрзаходів, спрямованих на посилення біогеохімічних бар'єрів із метою блокування радіонуклідів у ґрунтах. Особлива небезпека радіоактивно забрудненої продукції зберігається на пасовищах і сіножатях забруднених зон, що розташовані на лучно-болотних і торфово-болотних перезволожених ґрунтах, для яких характерні високі коефіцієнти переходу <sup>137</sup> Cs у рослини [12].
Нафта і нафтопродукти	Нафта і нафтопродукти – це рідкі забруднювачі, які активно мігрують у ґрунті. Висока рухливість поліютантів визначає не тільки небезпеку їхнього поширення на значних площах під час виникнення аварійних ситуацій, але й потрапляння в ґрунтово-підземні і поверхневі води. Шкідливий екологічний вплив смолянисто-альфальтенових компонентів на ґрунтові екосистеми полягає не в хімічній токсичності, а в порушенні водно-повітряного балансу, зменшенні вологоємності ґрунту, блокуванні доступності мінеральних речовин унаслідок гідрофобізації поверхні ґрунтових частинок важкими фракціями вуглеводнів, пригніченні біологічних процесів. Якщо нафта просочується згори, її смолянисто-асфальтенові компоненти сорбуються у верхньому гумусовому горизонті, міцно цементуючи його. При цьому зменшується поровий простір ґрунтів. Чорне забарвлення нафтозабруднених ґрунтів призводить до надмірного поглинання сонячної радіації [3, 9, 10].

що важливо для процесу очищення); *фітodeградації* і *фітотрансформації* (розкладання ксенобіотиків до нетоксичних сполук, базується на значному потенціалі метаболізму і біорозмаїтті рослин); *фітовипаровуванні* (вилучення токсикантів із ґрунту рослинами і виділення в атмосферу летких неотруйних сполук); *ризofільтрації* (вилучення рослинами розчинених форм токсикантів із рідкої фази завдяки значній поглинальній здатності кореневої системи рослин); *ризodeградації* (розкладання ксенобіотиків у ризосферній зоні рослин за допомогою мікроорганізмів) [4, 11, 13, 14].

Актуальними залишаються питання розроблення методів екологічної ремедіації забруднених ґрунтів, пов'язаних зі здатністю різних фіторемедіантів оптимізувати та відновлювати природний стан (структуру та функції) ґрунту, швидко формувати потужну кореневу систему та надземну вегетативну масу, проявляти високий коефіцієнт біоаккумуляції. Широкий спектр видів рослин має потенціал для використання в біоенергетичних та фіторемедіаційних цілях на основі їх екосистемних властивостей для встановлення кращого зв'язку між фітотерапією ґрунту – віднов-

лення та виробництва біопалива. Особливої уваги заслуговують енергетичні культури – рослини, які спеціально вирощують для використання як палива або ж для виробництва на їх основі біопалива. Вони здатні накопичувати неорганічні забруднювачі в кореневій системі та розкласти стійкі органічні забруднювачі у ґрунті, тому ці види рослин є оптимальними для фітостабілізації та фітодеструкції [15]. Найбільш поширеними енергетичними культурами є: міскантус, верба, тополя, світчграс, сорго, еспарцет, рижій, буркун тощо.

Сьогодні досліджено велику кількість рослин із можливістю використання їх як енергетичних, але тільки деякі види досягли комерційного рівня та вирощуються на великих площах [4, 6, 8]. Екологічні особливості деяких енергетичних

культур наведемо у таблиці 2. Ми вивчаємо фіторемедіаційні можливості енергетичних культур на техногенно забруднених ґрунтах.

Попередні дослідження показали, що нафтозабруднені ґрунти пригнічували ростові показники *Miscanthus giganteus*. Застосування гуматів (гуміфілд форте і фульвітал плюс) – обприскування надземної частини у процесі вегетації – покращувало загальну життєздатність міскантусу в умовах нафтового забруднення: рослини активно нагромаджували біомасу, розвивали потужну кореневу систему і надземну частину, у листках збільшувався вміст фотосинтетичних пігментів. Проведені дослідження можуть бути використані для підвищення стресостійкості й урожайності міскантусу в умовах нафтового забруднення та під час розроблення фіторемедіаційних технологій відновлення нафтозабруднених територій [9, 10].

Таблиця 2

**Екологічні особливості енергетичних культур**

**Одно- та дворічні насінні трав'янисті рослини**

Рижій посівний ( <i>Camelina sativa</i> L.)	Олійна рослина родини капустяні з коротким вегетаційним періодом (80–85 днів), можна вирощувати в усіх регіонах України, що дає змогу не лише ефективно використовувати запаси вологи осінньо-зимових опадів, а й сформувати врожай. Перевагою рижію є те, що він практично не заселяється шкідниками та не уражується хворобами, а це дає можливість значно знизити рівень витрат на його вирощування; невибагливий до родючості ґрунту [17].
Буркун лікарський ( <i>Melilotus officinalis</i> L.)	Дворічна трав'яниста рослина з родини бобових, найкращий азотфіксатор, добре підходить для сівозмін півдня. Його можна культивувати як однорічну рослину (сходить, цвіте та плодоносить у рік посіву) і як дворічну – сходи рослини з'являються навесні або восени, зимують і формують насіння на другий рік. Дворічний буркун є більш продуктивним. Рослину можна використовувати як сидерат, а це збагачує ґрунт азотом [17].
Ріпак ( <i>Brassica napus</i> L.)	Однорічна олійна рослина родини капустяні (Brassicaceae). Розрізняють 2 форми ріпаку: ярий (кольза) й озимий. Ріпак озимий має основне значення, добре адаптований до умов України, сидерат, може забезпечити збільшення органічної речовини в ґрунті у кількості, еквівалентній внесенню 10–15 т/га гною. Має високу врожайність і продуктивність, зимостійкий. Завдяки кореневій системі ріпаку знижується інтенсивність ерозії ґрунтів, покращується структура ґрунту [18].
<b>Багаторічні культури</b>	
Світчграс, або лозоподібне просо ( <i>Switchgrass</i> – <i>Panicum virgatum</i> L.)	Багаторічна трав'яниста злакова посухостійка культура, розмножується насінням, може рости на всіх типах ґрунтів, невимоглива до вмісту вологи та поживних речовин у ґрунті, стійка до шкідників та хвороб; корінь розвинений і може сягати до 2 м у глибину; добре переносить спеку в літні місяці; на одному місці може рости протягом 10–15 років [6].
Міскантус гігантський ( <i>Miscanthus giganteus</i> L.)	Багаторічна злакова культура, триплоїд має стерильний пилок, тому розмножується вегетативно, кореневищами (ризомами); має дуже розгалужену кореневу систему, тому його можна вирощувати на деградованих, піщаних, супіщаних ґрунтах; на одному місці може рости протягом 25 років. Рослина містить 64–71% целюлози, вміст золи становить 2,2%; погано переносить високу кислотність і високий рівень ґрунтових вод [17].
Енергетична верба ( <i>Salix</i> L.)	Найбільш розповсюджена енергетична культура у світі: генотип верби – один із найбагатших після рису, і це дає можливість створювати нові сорти та гібриди для різноцільового використання. Продуктивність верби – 10–15 т/га (за сприятливих ґрунтово-кліматичних умов урожайність зростає до 25–30 т/га) сухої маси в рік, що перевищує за продуктивністю традиційні лісові насадження у 14 разів [8].
Енергетична тополя ( <i>Populus</i> L.)	Багаторічна деревовидна енергетична культура, маловибаглива, росте практично на всіх типах ґрунтів, порівняно швидко накопичує біомасу, погано переносить підвищену кислотність ґрунту [8]. Останнім часом насадження тополі все активніше використовують як регенеративне джерело енергії для виробництва біопалива. Її деревина досить легка, широко використовується з технічною метою.



Багаторічні енергетичні культури здатні швидко утворювати надземну фітомасу та формувати потужну кореневу систему, що дозволяє їм акумулювати важкі метали із ґрунту, бути новими й важливими рослинами для фітореMediaції. Встановлено, що енергетичні культури, зокрема світчґрас і міскантус, є гіперакумулянтами – активно поглинають важкі метали і частково акумулюють їх у своїй підземній та надземній частинах. По завершенні вегетації надземна вегетативна маса цих рослин може підлягати відповідній переробці, що є додатковим джерелом кольорових металів або вироблення біопалива для енергетичних цілей [11].

**Висновки.** Розроблення нових способів ефективною ремедіації техногенно забруднених ґрунтів вимагає вирішення питань методичного, технологічного і правового змісту та потребує розроблення

і проведення комплексу фізико-хімічних і біологічних заходів, спрямованих на зниження інтенсивності процесів деградації таких ґрунтів. ФітореMediaція – ефективна й економічно вигідна технологія відновлення ґрунту, заснована на використанні рослин і асоційованих із ними мікроорганізмів-деструкторів, які здатні видаляти токсичні речовини із середовища або перетворювати їх у безпечні метаболіти.

Вирощування енергетичних культур як фітореMediaнтів на забруднених та деградованих ґрунтах вважаємо перспективним напрямом, що дозволить не лише знизити рівень деградації, а й підвищити агрономічну цінність цих ґрунтів. Висока продуктивність біомаси енергетичних культур може перетворити технологію фітореMediaції у прибуткову галузь для біоенергетичної промисловості.

### Література

1. Брошак І.С., Венглінський М.О., Гаврилюк В.Б. Періодична доповідь про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України. Львів, 2015. 94 с.
2. Грабак Н.Х., Будикіна Ю.І. Техногенно забруднені землі та шляхи їх безпечного використання в агропромисловому виробництві. *Наукові праці : наук.-метод. журнал*. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. Т. 232. Вип. 220. Екологія. С. 83–87.
3. Джура Н.М., Подан І.Ю. Екологічні наслідки довготривалого нафтовидобутку на Старосамбірському родовищі. *Вісник Львівського університету. Сер. біол.* 2017. Вип. 76. С. 120–127.
4. Кулик М.І., Падалка В.В. Розвиток біоенергетики на основі рослинного енергетичного ресурсу (на прикладі Полтавської області). *Управління стратегіями випереджаючого інноваційного розвитку* : монографія / за ред. к.е.н., доц. Н.С. Ілляшенко. Суми : Триторія, 2020. С. 109–118.
5. Ласло О.О. Відновлення порушених земель сільськогосподарського призначення за допомогою біореMediaції. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування* : зб. наук. пр. Рівне, 2014. С. 94–100.
6. Мандровська С.М., Петриченко С.М., Герасименко Г.С., Гончарук Г.С., Литвенюк В.В. Перспективи вирощування світчґрасу як альтернативного джерела енергії в Україні. *Цукрові буряки*. 2011. С. 13–14.
7. Параняк Р.П., Васильцева Л.П., Макух Х.І. Шляхи надходження важких металів у довкілля та їх вплив на живі організми. *Біологія тварин*. 2007. С. 1–6.
8. Пацула О.І., Фецюх А.Б., Буньо Л.В. Використання *Salix viminalis* L. для фітореMediaції ґрунтів, забруднених важкими металами. *Екологічні науки*. 2018. Т. 2, № 20. С. 101–106.
9. Подан І.І., Джура Н.М. Вплив нафтового забруднення і гуматів на ріст рослин міскантусу. *Екологічні науки*. 2019. № 2 (25). С. 182–186.
10. Подан І.І., Джура Н.М. Діагностика і фітореMediaція нафтозабруднених природних і штучних наземних екосистем Старосамбірського нафтового родовища / Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural sciences : Collective monograph. Riga : Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2020. P. 2. С. 541–556 .
11. Самохвалова В.Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. *Біологічні студії*. 2014. С. 217–236.
12. Радіоактивно забруднені землі. *Юридична енциклопедія* : в 6 т. / за ред. кол. Ю.С. Шемшученко. Київ : «Українська енциклопедія» ім. М.П. Бажана, 2003. Т. 5. 736 с.
13. Basumatary B., Saikia R., Bordoloi S. Phytoremediation of crude oil contaminated soil using nut grass *Cyperus rotundus*. *Journal of Environmental Biology*. 2012. Vol. 33, №5. P. 891–896.
14. Moubasher H.A., Hegazy A.K., Mohamed N.H., Moustafa Y.M., Kabil H.F., Hamad A.A. Phytoremediation of soils polluted with crude petroleum oil using *Bassia scoparia* and its associated rhizosphere microorganisms. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2015. Vol. 98, P. 113–120.
15. Pandey, Vimal Chandra & Bajpai, Omesh & Singh, Nandita, 2016. Energy crops in sustainable phytoremediation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier. 2016. Vol. 54(C), P. 58–73.
16. Офіційний веб-ресурс ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» URL : <http://www.iogu.gov.ua/monitoringh-objektiv-dovkillya/vazhki-metaly/>
17. Офіційний веб-ресурс Biowatt. URL : <http://www.biowatt.com.ua/informatsiya/bioenergetichni-kulturi-polissya/>
18. Офіційний веб-ресурс компанії Агроресурс URL : <http://www.agro.kr.ua/uk/ozimiy-ripak-si-marten>
19. Офіційний веб-ресурс ООО «Информационное агентство Инфоиндустрия» URL : <https://infoindustria.com.ua/shlyah-u-zonu-ekologichnoyi-katastrofi/>
20. Офіційний веб-ресурс Професійної Асоціації Екологів України (ПАЕУ). URL : <https://ecolog-ua.com/news/pro-shkodou-pestycydiv>