

## ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 504.122:582.685.4

DOI: 10.31471/2415-3184-2020-2(22)-41-47

*Н. І. Глібовицька, Л. В. Плаксії  
Івано-Франківський національний  
технічний університет нафти і газу*

### ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПІВ БУРОВИХ РОЗЧИНІВ ТА ЇХ ДІЯ НА РОСЛИНИ

Охарактеризовано проблему забруднення довкілля буровими розчинами, що використовуються у процесі експлуатації нафто-газових свердловин. Висвітлено біологічні та технічні методи збереження чистоти довкілля у процесі нафтовидобутку та запобігання потрапляння забруднювачів у довкілля. Проаналізовано вплив токсичних сполук бурового розчину на функціонування біотичного і абіотичного блоків екосистеми. Описано склад та типи бурових розчинів, наведено їх класифікацію за рівнем екологічної небезпеки. Найбільшим токсичним впливом на екосистеми володіє полімер-калієвий буровий розчин, а глинистий тип бурового розчину відзначається найменш несприятливою дією на довкілля. Одними із найбільш небезпечних компонентів бурових розчинів є солі натрію, кальцію і хлориди, які спричиняють засолення едафотопів. Засолення ґрунтів порушує водний режим рослин, що призводить до появи некрозів вегетативних органів, посилення транспірації води, погіршення фотосинтетичних процесів, дихання, блокування утворення органічних сполук та передчасної загибелі фіто-організмів. Потрапляння у ґрунти гідроксидів кальцію і натрію, як компонентів бурових розчинів, зумовлює підвищення лужності ґрунтового розчину, що гальмує ріст та розвиток рослин. Встановлено широкі адаптаційні можливості деяких рослин в умовах впливу складових бурових розчинів. В умовах надмірного засолення едафотопів галофіти завдяки особливим метаболічним та структурним особливостям організації є добре пристосованими до стресових умов росту. Нафта, що входить до складу бурових розчинів у невеликих концентраціях, накопичуючись з плином часу у довкіллі, викликає деструктивні зміни у живих системах – блокування ферментативної активності у клітинах, сповільнення ростових процесів, перевагу катаболічних процесів над анаболічними. Для боротьби із забрудненням довкілля нафтопродуктами та буровими розчинами під час експлуатації нафтових родовищ доцільно поєднувати технічні та біологічні методи. Дослідження ремедіаційних властивостей рослинних організмів в умовах нафтового забруднення є актуальним завданням сучасної практичної екології.

**Ключові слова:** бурові розчини, рослини, нафтове забруднення, довкілля, біоремедіація, екосистема.

**Постановка проблеми.** Серед глобальних екопроблем сьогодення нафтове забруднення довкілля займає чільне місце. Ароматичні та аліфатичні вуглеводні, важкі метали, сполуки сульфуру і нітрогену, як компоненти нафти, володіють мутагенною, канцерогенною дією, блокують активність ферментних систем у біологічних об'єктах, генерують вільні радикали, пероксидне окислення ліпідів біологічних мембран та прискорюють передчасне старіння організмів [3, 4, 5]. Крім безпосередньої небезпеки самої нафти та нафтопродуктів, загрозу для довкілля становлять бурові розчини, що використовуються при експлуатації нафтових свердловин. Бурові розчини є складними багатоконпонентними дисперсними системами суспензійних, емульсійних і аерованих рідин, які застосовуються для промивання свердловин у процесі їх експлуатації. Токсичність бурового розчину та ступінь потенційної загрози експлуатаційних робіт залежить від кількості і класу небезпеки хімічних реагентів, що входять у склад бурового розчину [14].

**Аналіз досліджень і публікацій.** За здатністю накопичувати забруднювачі антропогенного походження рослини поділяються на три групи – елімінатори, біоіндикатори, акумулюатори. Елімінатори відзначаються вибірковою проникністю щодо токсикантів та акумулюють їх у низьких концентраціях. Біоіндикатори віддзеркалюють рівень забруднення довкілля низкою морфологічних, фізіолого-біохімічних реакцій та накопичують полутанти пропорційно їх вмісту

у навколишньому середовищі. Акумулятори поглинають техногенні полютанти у великих кількостях та найбільш ефективно виконують середовищеві роль [10, 12].

Одним із пріоритетних напрямків екологічної науки є ремедіація нафто-забруднених екосистем за допомогою екологічно безпечних біологічних методів [2, 7, 13, 17, 26, 28]. Рослини, що характеризуються цінними метаболічними показниками перетворювати токсичні ароматичні вуглеводні до нешкідливих для довкілля речовин – води та вуглекислого газу – широко використовуються у створенні зелених зон територій нафто-видобутку. Рослини-акумулятори накопичують важкі метали, які присутні у нафті у великих кількостях, та переводять їх у безпечні для організму нерухомі форми, таким чином, блокуючи здатність металів взаємодіяти з компонентами клітин рослин. Серед способів захисту рослинного організму від дії важких металів є синтез фітохелатинів, металотіонеїнів, переміщення металів у вакуолі та лізосоми, зв'язування металів з клітинною стінкою рослин [1, 6, 10, 19]. Підвищення рівня акумуляції металів рослинами має місце при їх переході з нерозчинної у розчинну форму у ґрунті, що стимулюється підкисленням ґрунту. Причиною зростання кислотності ґрунтового розчину є потрапляння у ґрунт оксидів сульфуру та нітрогену, присутніх у нафті [11, 12, 13]. Незважаючи на наявність наукових публікацій щодо реакцій рослин на вплив нафти [2, 7, 16, 17, 24, 28], питання впливу компонентів бурового розчину на рослини досі не досліджене.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Чимала кількість публікацій присвячена дослідженню впливу нафтового забруднення довкілля на живі організми, зокрема, рослинні об'єкти [21, 24, 25, 29]. Вивчені аспекти впливу нафтових вуглеводнів та важких металів, як складових нафти, на трав'янисті та деревні рослини на різних рівнях організації біосистем [20, 23, 27]. Виявлено вплив нафтових компонентів на фізико-хімічні властивості ґрунтів, водою та якістю повітря [24, 29]. Однак, робіт, метою яких є вивчення дії бурових розчинів, що використовуються у ході експлуатації свердловин, на екологічний стан довкілля і, зокрема, рослинних організмів, не виявлено. Тому актуальним завданням є аналіз хімічного складу різних типів бурових розчинів та їх можливий вплив на рослини, як первинні реципієнти і поглиначі забруднювачів техногенного походження.

**Постановка завдання.** Метою нашої роботи є дослідження типів бурових розчинів, що використовуються при розробці нафто-газових родовищ, та аналіз хімічного впливу компонентів бурових розчинів на рослини.

**Виклад основного матеріалу.** Виділяють наступні типи бурових розчинів – глинистий, полімер-глинистий, полімер-акриловий, полімер-калієвий табл. 1.

Таблиця 1

Типи бурових розчинів та їх компонентний склад

| Тип бурового розчину | Компонентний склад бурового розчину  |
|----------------------|--|
| Глинистий            | глинопорошок, карбонат натрію, графіт  |
| Полімер-глинистий    | глинопорошок, карбоксиметилцелюлоза, карбонат натрію   |
| Полімер-акриловий    | глинопорошок, хлорид калію, карбонат натрію, гідроксид натрію, поліаніонна целюлоза високов'язкої та низьков'язкої форми, біополімер-структуруювач, гідролізований поліакриламід, графіт           |
| Полімер-калієвий     | глинопорошок, хлорид калію, карбонат натрію, гідроксид натрію, нафта, поліаніонна целюлоза високов'язкої та низьков'язкої форми, полісахарид-стабілізатор, вапно, графіт, крейда, карбонат кальцію |

Найменша кількість компонентів входить у склад глинистого бурового розчину, найбільша – у склад полімер-калієвого бурового розчину. Токсичність складових бурових розчинів є неоднаковою та визначається хімічною природою цих складових. Характеристика компонентів бурового розчину наведена у табл. 2.

Серед наведених сполук до другого класу належать каустична сода і гідроксид кальцію, які характеризуються як високо-небезпечні речовини. Кальцинована сода, хлорид калію, карбоксиметилцелюлоза, гідролізований поліакриламід, карбонат кальцію відносяться до третього класу безпеки та є помірно небезпечними речовинами. До четвертого класу належить глинопорошок, полісахарид-стабілізатор, структуруювач, графіт, нафта, поліаніонна целюлоза високов'язкої і низьков'язкої форми.

Полімери, які входять до складу бурового розчину – поліаніонна целюлоза високов'язкої та низьков'язкої форми, гідролізований поліакриламід, карбоксиметилцелюлоза, полісахарид-

стабілізатор, структуроутворювач не виявляють вираженого токсичного впливу на доквілля, а графіт та глинопорошок при потраплянні у доквілля у великій кількості спричиняють порушення фізико-хімічної структури ґрунту [14]. Хімічні реагенти, які входять до складу бурових розчинів наведені у таблиці (табл. 3.).

Таблиця 2

## Характеристика компонентів бурового розчину

| №  | Назва компоненту                         | Вміст в буровому розчині, % | ГДК ґрунту, мг/кг | Клас токсичності |
|----|--|-----------------------------|-------------------|------------------|
| 1  | Глинопорошок                             | 6.0                         | -                 | 4                |
| 2  | Карбонат натрію                          | 0.3                         | 200               | 3                |
| 3  | Гідроксид натрію                         | 0.2                         | 2000              | 2                |
| 4  | Хлорид калію                             | 6.0                         | -                 | 3                |
| 5  | Поліаніонна целюлоза високов'язкої форми | 0.3                         | 3000              | 4                |
| 6  | Поліаніонна целюлоза низьков'язкої форми | 0.6                         | 400               | 4                |
| 7  | Полісахарид-стабілізатор                 | 1.2                         | -                 | 4                |
| 8  | Карбоксиметилцелюлоза                    | 0.9                         | 3000              | 3                |
| 9  | Гідролізований поліакрил                 | 0.4                         | 4000              | 3                |
| 10 | Структуроутворювач                       | 0.5                         | 8000              | 4                |
| 11 | Графіт                                   | 2.0                         | 0                 | 4                |
| 12 | Гідроксид кальцію                        | 2.0                         | 8000              | 2                |
| 13 | Нафта                                    | 10.0                        | 4000              | 4                |
| 14 | Карбонат кальцію                         | 8.0                         | 4500              | 3                |

У невеликих концентраціях нафта, що входить до складу бурових розчинів, зумовлює прискорення росту і розвитку рослин. Проте високий її вміст у доквіллі спричиняє незворотні деструктивні зміни у клітинах більшості рослинних організмів [16]. Гідроксиди кальцію та натрію, які є складовими бурових розчинів, потрапляючи у ґрунт, призводять до підлугування ґрунту, що, у свою чергу, знижує доступність фосфору, заліза, марганцю, міді, цинку, бору для рослин. Таким чином порушується мінеральне живлення рослин [18]. Карбонат натрію і кальцію, хлорид кальцію, як компоненти бурових розчинів, спричиняють засолення ґрунту, що зменшує доступність води до рослин і призводить до їх некротизації, всихання та передчасної загибелі [8, 22]. Найбільш токсичний вплив на рослини мають іони натрію та хлору, які підвищують осмотичний потенціал ґрунтового розчину, призводять до порушення обміну нітрогену та сірки. В умовах засолення ґрунту порушується структура і функціональна здатність хлоропластів клітин, пригнічується асиміляційна функція рослин, проникність біологічних мембран, сповільнюється ріст і розвиток рослин, зростає рівень вільно-радикальних реакцій та оксидативного стресу. Особливо чутливою до впливу солей є генеративна сфера рослини, що проявляється у пригніченні проростання насіння та утворенні генеративних клітин через низку деструктивних процесів: порушення гормональної рівноваги рослинного організму, синтезу білкових молекул, нуклеїнових кислот [9, 18].

У великих концентраціях бурові розчини становлять екологічну небезпеку при потраплянні у водойми та ґрунт. Причинами потрапляння компонентів бурових розчинів у доквілля є технологічні та аварійні. До технологічних причин відносяться недотримання правил техніки безпеки при роботі з буровими розчинами, забруднення підземних вод внаслідок негерметичності колон і неякісного цементування, прориви трубопроводів, порушення вимог при транспортуванні та зберіганні хімічних реагентів для приготування бурових розчинів. Аварійні причини виникають як результат порушення технологій випробування свердловини, що зазначені вище [14].

При проведенні земляних робіт, роботі транспорту під час експлуатації нафтових свердловин спостерігається механічне пошкодження ґрунту, що в комплексі з хімічним забрудненням компонентами бурового розчину сприяє деградації едафотопів. При спорудженні бурових установок, монтажеві, демонтажеві бурового устаткування необхідно застосовувати заходи, що виключають забруднення екосистем відходами металу, залізобетону, дерева. Технологія спорудження свердловини та природоохоронні заходи, орієнтовані на попередження можливих причин і шляхів забруднення навколишнього середовища при експлуатації свердловин,

повинні бути спрямовані на ліквідацію джерел забруднювальних речовин і наслідків їх негативної дії, а у випадку потрапляння у довкілля компонентів бурового розчину – не перевищувати гранично-допустимих концентрацій цих компонентів. Доставку бурових розчинів на свердловину потрібно здійснювати у герметичних ємностях і зберігати в облаштованому складі, подачу палива до двигунів необхідно проводити через герметичний трубопровід, збір і вивіз відпрацьованих бурових розчинів потрібно здійснювати у спеціальних металевих ємностях. Продукти освоєння свердловини підлягають обробці та захороненню в шламових амбарах з протифільтраційним екраном [14].

Таблиця 3

### Характеристика компонентів бурових розчинів

| №  | Назва компоненту                         | Характеристика компонентів   |
|----|--|--|
| 1  | Глино порошок                            | Висушена і подрібнена глина з хімічними реагентами чи без них  |
| 2  | Карбонат натрію                          | Порошок білого кольору, що використовується для покращення якості глино порошоків і глин   |
| 3  | Гідроксид натрію                         | Біла кристалічна маса добре розчинна у воді, що супроводжується виділенням великої кількості тепла   |
| 4  | Хлорид калію                             | Кристалічна речовина білого чи цегляно-червоного кольору розчинна у воді   |
| 5  | Поліаніонна целюлоза високов'язкої форми | Білий розсипчастий порошок без запаху добре розчинний у воді, що застосовується як стабілізатор бурового розчину   |
| 6  | Поліаніонна целюлоза низьков'язкої форми | Білий розсипчастий порошок без запаху добре розчинний у воді, що застосовується як стабілізатор бурового розчину   |
| 7  | Полісахарид-стабілізатор                 | Розсипчастий дрібнодисперсний порошок білого кольору без запаху, що є органічним полімером   |
| 8  | Карбоксиметил-целюлоза                   | Білий чи жовтуватий неоднорідний порошок, який використовують в якості стабілізатора бурового розчину  |
| 9  | Гідролізований поліакриламід             | Порошок білого кольору без запаху, що використовується в якості структуроутворювача бурового розчину   |
| 10 | Структуроутворювач                       | Біополімер, розсипчастий дрібнодисперсний порошок білого кольору без запаху, застосовується у якості структуроутворювача бурового розчину                              |
| 11 | Графіт                                   | Кристалічний сріблястий порошок нерозчинний у воді, який одержують шляхом флотаційного збагачення руд природного графіту   |
| 12 | Гідроксид кальцію                        | Порошкоподібний чи пастоподібний реагент білого кольору, за хімічною природою сильний луг, дозволяє легко регулювати структурно-механічні властивості бурового розчину |
| 13 | Нафта                                    | Складна суміш вуглеводнів різних класів з невеликою кількістю органічних, сірчистих і азотних сполук, що, являє собою густу оліїсту рідину                             |
| 14 | Карбонат кальцію                         | Утворений із спеціально обробленого кристалічного білого мармуру, нерозчинний у воді, використовується в якості обважнювача бурового розчину, розчинного у кислоті     |

Більшість рослин належать до глікофітів – фітооб'єктів, які непристосовані до високої концентрації солей у ґрунтах. Ефективним біологічним методом боротьби з підвищеним вмістом солей у едафотопі територій нафтовидобутку є висадка рослин-галофітів, стійких до засолення ґрунту. Галофіти можна розділити на три групи: евгалофіти, криптогалофіти, глікогалофіти. Евгалофіти акумулюють у клітинах велику кількість солей без шкоди для свого організму завдяки високій – до 7% – концентрації солей у клітинному соці, і тому можуть поглинати воду з висококонцентрованого ґрунтового розчину. Криптогалофіти поглинають солі коренями, але не накопичують у клітинному соці, а виділяють через спеціальні клітини на листках і стеблах. Рослини зазначеної групи характеризуються значною інтенсивністю фотосинтетичних процесів, що забезпечує високу концентрацію клітинного соку та дозволяє їм поглинати воду із засолених ґрунтів. Глікогалофіти відрізняються тим, що цитоплазма клітин їхніх коренів малопроникна для

солей, тому солі не надходять у рослину. Висока осмотична концентрація в клітинах рослин цієї групи створюється за рахунок інтенсивного фотосинтезу і накопичення розчинних вуглеводів. Усі групи галофітів володіють вираженими пристосувальними характеристиками фізіологічних і біохімічних процесів. Зокрема, у них має місце накопичення так званих протекторних речовин, які забезпечують вищу стійкість організму до дії підвищеної концентрації солей. При засоленні починають експресію гени, що кодують ферменти синтезу проліну і бетаїну, лігніну, а також кодуючі захисні білки, аквапорини, АТФази і протеази [15]. Використання рослин, які володіють стійкістю до засолення ґрунтів, може бути основою фіторе mediaційних технологій для відновлення техногенно-деградованих екосистем.

**Висновки.** Найбільш небезпечними компонентами бурового розчину для біоти є гідроксиди натрію та кальцію, що зумовлюють зміщення кислотної рівноваги ґрунтового розчину. Хлорид калію, карбонати натрію і кальцію теж відзначаються токсичним впливом на екосистеми, оскільки спричиняють засолення ґрунтів, знижують доступність води та біогенних елементів до рослин, порушують цілісність та функціонування рослинного організму. Інші компоненти нафти не проявляють істотного токсичного впливу на біоту, бо є полімерами природного походження або корисними копалинами. З метою запобігання забрудненню буровими розчинами навколишнього середовища передбачається впровадження низки технологічних заходів та дотримання правил техніки безпеки, а також використання у озелененні територій нафтовидобутку стійких до забруднення видів рослин.

*N. Glibovytska, L. Plaksii*  
Ivano-Frankivsk National  
Technical University of Oil and Gas

## CHARACTERISTICS OF DRILLING FLUIDS TYPES AND THEIR EFFECT ON PLANTS

The environmental pollution by drilling fluids, used in oil and gas wells operation, is described. The biological and technical methods of maintaining the environmental safety during oil production and preventing the emission of pollutants into the environment are highlighted. The influence of toxic drilling fluids solutions on the functioning of biotic and abiotic blocks of the ecosystems is analyzed. The composition and types of drilling fluids are described, their classification according to the level of environmental hazard is provided. The polymer-potassium drilling fluid has the greatest toxic effect on ecosystems, and the clay type of drilling fluid has the least adverse effect on the environment. Sodium, calcium and chloride salts, which cause the salinization of edaphotopes, are among the most dangerous components of drilling fluids. Soil salinization disrupts the water regime of plants, which leads to the vegetative organs necrosis, increase in water transpiration, deterioration of photosynthetic processes, decrease in the formation of organic compounds and respiration, premature death of phyto-organisms. Getting into the soil, calcium and sodium hydroxides, as the components of drilling fluids, cause the increase in the soil solution alkalinity, which inhibits the growth and development of plants. The extensive adaptive capabilities of some plants under the influence of drilling fluids components are established. Under the conditions of excessive salinization of edaphotopes, halophytes are well adapted to the stressful growth conditions due to their special metabolic and structural features. Oil, which is included in drilling fluids in small concentrations, accumulates over time in the environment and causes destructive changes in living systems by blocking the enzymatic activity in cells, slowing down the growth processes, causing the predominance of catabolic processes over the anabolic ones. To combat environmental pollution by petroleum products and drilling fluids during the development of oil fields, it is advisable to combine technical and biological methods. Studying the remediation properties of plant organisms in the conditions of oil pollution is an urgent task for the modern practical ecology.

**Key words:** drilling fluids, plants, oil pollution, environment, biological remediation, ecosystem.

### References

- 1 Alves-Silva E., Santos J.C., Cornelissen T.G. How many leaves are enough? The influence of sample size on estimates of plant developmental instability and leaf asymmetry // *Ecological Indicators*, 2018. – № 89. – P. 912-924. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.060>.
- 2 Ashraf S., Ali Q., Zahir Z. A., Asghar H. N. Phytoremediation: environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils // *Ecotox. Environ. Safe*, 2019. – № 174. – P. 714–727. [10.1016/j.ecoenv.2019.02.068](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.068).
- 3 Aydin Turkyilmaz, Hakan Sevik, Mehmet Cetin, Elnaji A. Ahmaida Saleh. Changes in Heavy

Metal Accumulation Depending on Traffic Density in Some Landscape Plants // *Pol. J. Environ. Stud.*, 2018. – № 27 (5). – P. 2277-2284.

4 Aydin Turkyilmaz, Mehmet Cetin, Hakan Sevik, Kaan Isinkaralar, Elnaji A. Ahmaida Saleh. Variation of heavy metal accumulation in certain landscaping plants due to traffic density // *Environment, Development and Sustainability*, 2020. – № 22. – P. 2385–2398.

5 Behnam Asgari Lajayer, Mansour Ghorbanpour, Shahab Nikabadi. Heavy metals in contaminated environment: Destiny of secondary metabolite biosynthesis, oxidative status and phytoextraction in medicinal plants // *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017. – № 145. – P. 377-390. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.035>.

6 Birke M., Rauch U., Hofmann F. Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany // *Journal of Geochemical Exploration*, 2018. – № 187. – P. 97-117. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.09.007>.

7 Cristaldi A., Conti G., Eun HeaJho E., Zuccarello P., Grasso A., Copat C., Ferrante M. Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review // *Environmental Technology & Innovation*, 2017. – № 8. – P. 309-326. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.08.002>.

8 Derkach I.V., Romaniuk N.D. Influence of soil salinization on plant organisms // *Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University. Series Biology*, 2016. – № 3-4 (67). – P. 91-106.

9 Daliakopoulos I.N., Tsanis I.K., Kourgialas N.N., Varouchakis A.E., Karatzas G.P., Ritsema C.J. The threat of soil salinity: A European scale review // *Science of The Total Environment*, 2016. – № 573. – P. 727-739.

10 Ghazala M., Setsuko K. Toxicity of heavy metals and metal-containing nanoparticles on plants // *Plant Gene*, 2017. – № 11B. – P. 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2016.02.020>.

11 Ghorji N.-H., Ghorji T., Hayat M. Q., Imadi S. R., Gul A., Altay V. Ozturk M. Heavy metal stress and responses in plants // *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2019. – № 16. – P. 1807–1828.

12 Glibovytska N.I., Karavanovych K.B. Morphological and physiological parameters of woody plants under conditions of environmental oil pollution // *Ukrainian Journal of Ecology*, 2018. – № 8 (3). – P. 322-327.

13 Glibovytska N.I., Karavanovych K.B., Kachala T.B. Prospects of Phytoremediation and Phytoindication of Oil-Contaminated Soils with the Help of Energy Plants // *Journal of Ecological Engineering*, 2019. – № 20 (7). – P. 147-154. DOI 10.12911/22998993/109875

14 GOST 41-00 032 626-00-007-97 "Construction of exploration and production wells for oil and gas on land". Rules of the works. – 80 pp.

15 Nouri H., Borujeni S., Nirola R., Hassanli A., Beecham S., Alaghmand S., Saint C., Mulcahy D. Application of green remediation on soil salinity treatment: A review on halophytoremediation // *Process Safety and Environmental Protection*, 2017. – № 107. – P. 94-107.

16 Kaur N., Erickson T., Ball A., Ryan M. A review of germination and early growth as a proxy for plant fitness under petrogenic contamination – knowledge gaps and recommendations // *Science of The Total Environment*, 2017. – № 603. – P. 728-744. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.179>

17 Ikeura H., Kawasaki Yu., Kaimi E., Nishiwaki J., Noborio K., Tamaki M. Screening of plants for phytoremediation of oil-contaminated soil // *International Journal of Phytoremediation*, 2016. – № 18. – P. 460-466. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1115957>

18 Machado M.A., Serralheiro RP. Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth. Management Practices to Prevent and Mitigate Soil Salinization // *Horticulturae*, 2017. – № 3. – 30 pp.

19 Mahmood Maleki, Mansour Ghorbanpour, Khalil Kariman. Physiological and antioxidative responses of medicinal plants exposed to heavy metals stress // *Journal of Hazardous Materials*, 2017. – № 325. – P. 36-58. <https://doi.org/10.1016/j.jplgene.2017.04.006>

20 Markéta Mayerová, Šárka Petrová, Mikuláš Madaras, Jan Lipavský, Tomáš Šimon, Tomáš Vaněk. Non-enhanced phytoextraction of cadmium, zinc, and lead by high-yielding crops // *Environmental Science and Pollution Research*, 2017. – № 24. – P. 14706–14716.

21 Musilova L., Ridl J., Polivkova M., Macek T., Uhlík O. Effects of Secondary Plant Metabolites on Microbial Populations: Changes in Community Structure and Metabolic Activity in Contaminated Environments // *Int. J. Mol. Sci.*, 2016. – № 17(8). – 1205 pp. <https://doi.org/10.3390/ijms17081205>

22 Negrão S., Schmöckel M., Tester M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress // *Annals of Botany*, 2017. – № 119(1). – P. 1–11. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw191>

23 Li J., Zhang D., Zhou P., Liu Q. Assessment of Heavy Metal Pollution in Soil and Its

Bioaccumulation by Dominant Plants in a Lead-Zinc Mining Area, Nanjing // Huan Jing Ke Xue, 2018. – № 39(8). – P. 3845-3853. doi: 10.13227/j.hjkk.201712086

24 Lim M.W., Lau E.V., Poh P.E. A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil – Present works and future directions // Marine Pollution Bulletin., 2016. – № 109(1). – P. 619-620. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.023>

25 Pedroso A., Bussotti F., Papini A., Tani C., Domingos M. Pollution emissions from a petrochemical complex and other environmental stressors induce structural and ultrastructural damage in leaves of a biosensor tree species from the Atlantic Rain Forest // Ecological Indicators, 2016. – № 67. – P. 215-226. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.054>

26 Ruf T., Audu V., Holzhauser K., Emmerling C. Bioenergy from Periodically Waterlogged Cropland in Europe: A First Assessment of the Potential of Five Perennial Energy Crops to Provide Biomass and Their Interactions with Soil // Agronomy, 2019. – № 9. – 374 pp.

27 Saeed Ahmad Asad, Muhammad Farooq, Aftab Afzal, Helen West. Integrated phytobial heavy metal remediation strategies for a sustainable clean environment - A review // Chemosphere, 2019. – № 217. – P. 925-941. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.021>

28 Shevchyk L.Z., Romanyuk O.I. Analysis of biological methods of recovery of oil-contaminated soils // Scientific Journal ScienceRise: Biological Science, 2017. – № 1(4). – P. 31-39.

29 Yatsyshyn T., Glibovytska N., Skitsa L., Liakh M., Kachala S. Investigation of biotechnogenic system formed by long-term impact of oil extraction objects // Systems, decision and control in energy I, Studies in systems, decision and control, 2020. – № 298. – P. 165-177. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_11)