
МЕЛІОРАЦІЯ І РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ

MELIORATION AND SOIL FERTILITY

УДК 502/504.573

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.2.24>

ОСОБЛИВОСТІ МІГРАЦІЇ РАДІОНУКЛІДІВ У ШТУЧНОМУ ЛІСОВОМУ БІОГЕОЦЕНОЗІ

Чорна В.І. – д.б.н., професор, завідувач кафедри екології,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Ананьєва Т.В. – к.б.н., доцент кафедри екології,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Проведено радіоекологічний аналіз трьох компонентів екосистеми штучних лісових насаджень робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia* L.): ґрунту, лісової підстилки, листя дерев. Проби природного матеріалу відбиралися на території сільськогосподарських угідь біля с. Майорка Дніпровського району. Пробні ділянки вибирали за угрупованнями робінії із перевагою 60-, 15- і 5-річних дерев у віковій структурі. Питому активність радіонуклідів визначали у зразках вагою 10-20 г на сцинтиляційному спектрометрі гама-випромінювання СЕГ-001 «АКП-С» та спектрометрі бета-випромінювання СЕБ-01-150 (Україна) у Бк/кг сухої ваги. Інтенсивність радіаційного фону вимірювали за допомогою цифрового дозиметра-радіометра РКС-01 «Стора» (Україна).

Потужність природного радіаційного фону в зоні дослідження не перевищувала встановлені санітарно-гігієнічні норми, значення коливалися від 0,085 до 0,275 мкЗв/год. У результаті проведених досліджень виявлено, що концентрації природних радіонуклідів так варіювали у ґрунті: ^{226}Ra – від 19,8 до 27,2 Бк/кг, ^{232}Th – від 29,8 до 35,4 Бк/кг, ^{40}K – від 32,6 до 41,2 Бк/кг; у лісовій підстилці: ^{226}Ra – від 24,0 до 25,7 Бк/кг, ^{232}Th – від 32,1 до 40,2 Бк/кг, ^{40}K – від 44,4 до 55,3 Бк/кг.

Показники ефективної питомої радіоактивності склали 59,04-77,07 Бк/кг у ґрунті та 71,52-81,66 Бк/кг у лісовій підстилці. Потужність поглиненої дози складала від 28,69 до 35,67 нГр/год у ґрунті та від 33,11 до 37,79 нГр/год у лісовій підстилці. Рівні радіоактивності у досліджуваній місцевості були в межах природного радіаційного фону і не становили ризику для біологічних об'єктів. У листі дерев рівні вмісту ^{226}Ra варіювали від 9,8 до 11,3 Бк/кг, ^{232}Th – від 10,2 до 12,4 Бк/кг, ^{40}K – від 12,3 до 16,0 Бк/кг. Найвищі концентрації природних теригенних радіонуклідів ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K і значення інтегрального показника ефективної радіоактивності були виявлені у складі підстилки, найменші – у листі.

У міру того, як збільшувався вік дерев, показники вмісту природних радіонуклідів і ефективної питомої радіоактивності у поверхневому шарі ґрунту знижувалися. Рівні вмісту штучних радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr були у 20-40 разів нижчими порівняно з природними. Зміни концентрацій штучних радіоізотопів у ґрунті й підстилці не виявляли закономірного зв'язку із віковою структурою угруповань дендрофлори, а визначалися, ймовірно, іншими чинниками, такими як швидкість їх виносу із біологічного кругообігу або віддаленість джерела радіоактивності.

Ключові слова: штучні лісові насадження, радіонукліди, ефективна питома радіоактивність, потужність поглиненої дози, лісомеліорація.

Chorna V.I., Ananieva T.V. Peculiarities of radionuclide migration in the artificial forest biogeocenosis

A radioecological analysis of three components of the ecosystem of artificial forest plantations of *Robinia pseudoacacia* (*Robinia pseudoacacia* L.), soil, forest litter, tree leaves was made. Samples of natural material were taken on the territory of agricultural lands near

the Maiorka village of the Dniprovskiy district. Sample plots were selected by robinia groups with a predominance of 60-, 15- and 5-year-old trees in the age structure. The specific activity of radionuclides was determined in samples weighing 10-20 g on a scintillation spectrometer of gamma radiation SEG-001 "AKP-C" and beta radiation spectrometer SEB-01-150 (Ukraine) in Bq/kg of dry weight. The intensity of the radiation background was measured using a digital dosimeter-radiometer RKS-01 "Stora" (Ukraine).

The intensity of the natural radiation background in the study area did not exceed the established sanitary and hygienic norms, the values ranged from 0.085 to 0.275 $\mu\text{Sv/h}$. As a result of the research it was found that the concentrations of natural radionuclides varied in the soil from 19.8 to 27.2 Bq/kg of ^{226}Ra , from 29.8 to 35.4 Bq/kg of ^{232}Th , and from 32.6 to 41.2 Bq/kg of ^{40}K ; in forest litter from 24.0 to 25.7 Bq/kg of ^{226}Ra , from 32.1 to 40.2 Bq/kg of ^{232}Th , and from 44.4 to 55.3 Bq/kg of ^{40}K .

Accordingly, the effective specific radioactivity was 59.04-77.07 Bq/kg in soil and 71.52-81.66 Bq/kg in forest litter. The absorbed dose rate ranged from 28.69 to 35.67 nGy/h in soil, and it was from 33.11 to 37.79 nGy/h in the forest litter. The radioactivity levels in the study area were within the natural radiation background and did not pose a risk to biological objects. In tree leaves, the levels of ^{226}Ra content ranged from 9.8 to 11.3 Bq/kg, ^{232}Th content ranged from 10.2 to 12.4 Bq/kg, and ^{40}K content – from 12.3 to 16.0 Bq/kg. The highest concentrations of natural terrigenous radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and the values of the integrated indicator of effective radioactivity were found in the litter; the lowest – in the leaves.

As the age of the trees increased, the indicators of the content of natural radionuclides and the effective specific radioactivity decreased in the surface layer of the soil. The levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr artificial radionuclides were 20-40 times lower than the natural ones. Changes in the concentrations of artificial radioisotopes in soil and litter did not show a natural connection with the age structure of dendroflora groups, but were probably determined by other factors, such as the rate of their removal from the biological cycle or the distance of the radioactivity source.

Key words: artificial forest plantations, radionuclides, effective specific radioactivity, absorbed dose rate, forest reclamation.

Постановка проблеми. Лісомеліорація є одним із пріоритетних заходів, спрямованих на охорону й раціональне використання земель і відтворення родючості ґрунтів. Ліси є найважливішим фактором протидії посушливому клімату південно-східних регіонів України, вони слугують для охорони природного середовища, виконують значне ґрунтозахисне та водорегулювальне навантаження, запобігаючи утворенню суховіїв і пилових бур, змінюючи гідрологічний режим території [1; 2].

Розширення в умовах степової України лісових захисних, рекреаційних, декоративних, лісомеліоративних насаджень сприяє поліпшенню родючості ґрунту та збільшенню ефективності використання природних ресурсів території. Сталий рослинний покрив затримує твердий стік, екранує частину поверхні ґрунту. Становлення і розвиток рослинного покриву супроводжується зростанням його буферної ролі в міграції радіонуклідів [3]. У зв'язку з цим викликає інтерес роль штучних санітарно-захисних лісосмуг в обмеженні міграції радіоактивних ізотопів природного і штучного походження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Концепцією збалансованого розвитку агроєкосистем на період до 2025 року, схваленою Президією УААН у 2003 році, передбачається посилення робіт як зі збереження лісових генофондів, так і з цілеспрямованого збільшення площ лісових насаджень [4]. Відомо, що лісова екосистема є особливим видом екосистем, який міцно утримує радіонукліди. Ліс може впливати на міграцію радіонуклідів у глобальному масштабі. Радіонукліди, які осідають на кронах дерев, під впливом атмосферних опадів і внаслідок опадання листя переміщуються у лісову підстилку і залучаються до основних біоекологічних процесів.

Накопичення радіонуклідів у складниках лісових біоценозів визначається надходженням радіонуклідів при кореновому живленні рослин [3; 5]. При цьому ґрунт та органічний опад є основними місцями зосередження радіонуклідів у біогеоце-

нозі. Значну роль у перерозподілі радіонуклідів відіграє моховий покрив. Завдяки розкладу органічного опаду відбувається поступове заглиблення радіонуклідів у мінеральну частину ґрунту. Кількісні характеристики цього процесу різняться залежно від типів лісорослинних умов [6; 7].

Важливу роль для величини швидкості вертикальної міграції відіграє ступінь зволоженості ґрунтів. Зі зростанням вологості інтенсивність міграції радіонуклідів у них зростає, збільшується їх вміст у лісовій підстилці. Важливим чинником у перерозподілі радіонуклідів між лісовою підстилкою та мінеральною частиною ґрунту є популяційний склад насаджень [5; 8].

Після аварії на Чорнобильській АЕС у лісових екосистемах України проводилися широкі радіоекологічні дослідження, але лише невелика їх кількість була безпосередньо присвячена вивченню переходу радіонуклідів до рослин, особливостей накопичення та утримання радіонуклідів у частинах рослин. Процеси ж міграції радіоактивних елементів у штучних лісових насадженнях майже не вивчалися [5–7; 9]. У зв'язку з цим метою нашої роботи стало виявлення закономірностей поведінки радіонуклідів у складниках штучних лісових екосистем.

Постановка завдання. З метою дослідження особливостей міграції радіоактивних ізотопів ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs і ^{90}Sr у біогеоценозі санітарно-захисної лісосмуги проведено радіоекологічний аналіз трьох компонентів екосистеми штучних лісових насаджень робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia L.*): ґрунту, лісової підстилки, листя дерев. Проби природного матеріалу відбиралися у липні 2020 року на території сільськогосподарських угідь біля с. Майорка Дніпровського району. Пробні ділянки вибирали за угрупованнями робінії з перевагою 60-, 15- і 5-річних дерев у віковій структурі. Потужність лісової підстилки складала 4,0, 2,5 і 1,0 см. Зразки ґрунту відбирали на глибині 20-25 см.

Первинна підготовка проб полягала у подрібненні за допомогою лабораторного млинка і висушуванні в сухожаровій шафі до постійної ваги при температурі 105°C . Питому активність радіонуклідів визначали у зразках вагою 10-20 г на сцинтиляційному спектрометрі гама-випромінювання СЕГ-001 «АКП-С» та спектрометрі бета-випромінювання СЕБ-01-150 (Україна) у Бк/кг сухої ваги.

Інтегральний показник ефективної питомої активності природних радіонуклідів у ґрунті та лісовій підстилці розраховували за формулою [10]:

$$A_{\text{эф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31A_{\text{Th}} + 0,085A_{\text{K}}, \quad (1)$$

Для оцінки ризику радіаційного впливу на біоту було розраховано потужність поглиненої дози з використанням коефіцієнтів перерахунку, рекомендованих НКДАР, 2000 [11–13]:

$$D = 0,462C_{\text{Ra}} + 0,604C_{\text{Th}} + 0,0417C_{\text{K}}, \quad (2)$$

Інтенсивність радіаційного фону вимірювали за допомогою цифрового дозиметра-радіометра РКС-01 «Стора» (Україна). Потужність природного радіаційного фону в зоні дослідження не перевищувала встановлені санітарно-гігієнічні норми, значення коливалися від 0,085 до 0,275 мкЗв/год. Отримані чисельні дані піддавали математичному опрацюванню загальноприйнятими методами варіаційної статистики для малої вибірки. Стандартна статистична похибка результатів вимірювань складала 5-7%.

Виклад основного матеріалу дослідження. В результаті проведених досліджень були отримані дані щодо вмісту природних і штучних радіонуклідів ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs і ^{90}Sr .

Виявлено, що у пробах ґрунту концентрації ^{226}Ra варіювали від 19,8 до 27,2 Бк/кг, причому у локаціях, де переважали 60-річні стовбури, рівень вмісту ^{226}Ra у ґрунті був нижчим у середньому на 16,1% порівняно із масивами більш молодих дерев (рис. 1, а). Вміст ^{232}Th у ґрунті досліджуваних точок був більш рівномірним. Абсолютні значення питомої радіоактивності ^{232}Th виявлені в межах від 29,8 до 35,4 Бк/кг, середньостатистичне зниження у місцях зростання більш старих дерев складало 8,0%. Рівень вмісту ^{40}K у ґрунті коливалися від 32,6 до 41,2 Бк/кг і знижувався зі зростанням віку дерев у середньому на 17,1%.

Середні концентрації природних радіоактивних ізотопів у лісовій підстилці були достовірно вищими, чим у поверхневому шарі ґрунту, і варіювали для ^{226}Ra від 24,0 до 25,7 Бк/кг, ^{232}Th – від 32,1 до 40,2 Бк/кг, ^{40}K – від 44,4 до 55,3 Бк/кг (рис. 1, б). Коливання вимірюваних значень по трьох досліджуваних точках характеризувалися більшою рівномірністю порівняно з даними, отриманими від зразків ґрунту, і складали 5,5%, 2,9% та 22,6% для ^{226}Ra , ^{232}Th і ^{40}K . Листова підстилка, утворена складниками рослинного походження (опалим листям, гілками, рештками трав'яного покриву), безперечно виконує роль буферу і первинної ланки у процесі формування радіаційного фону в едафотопі.

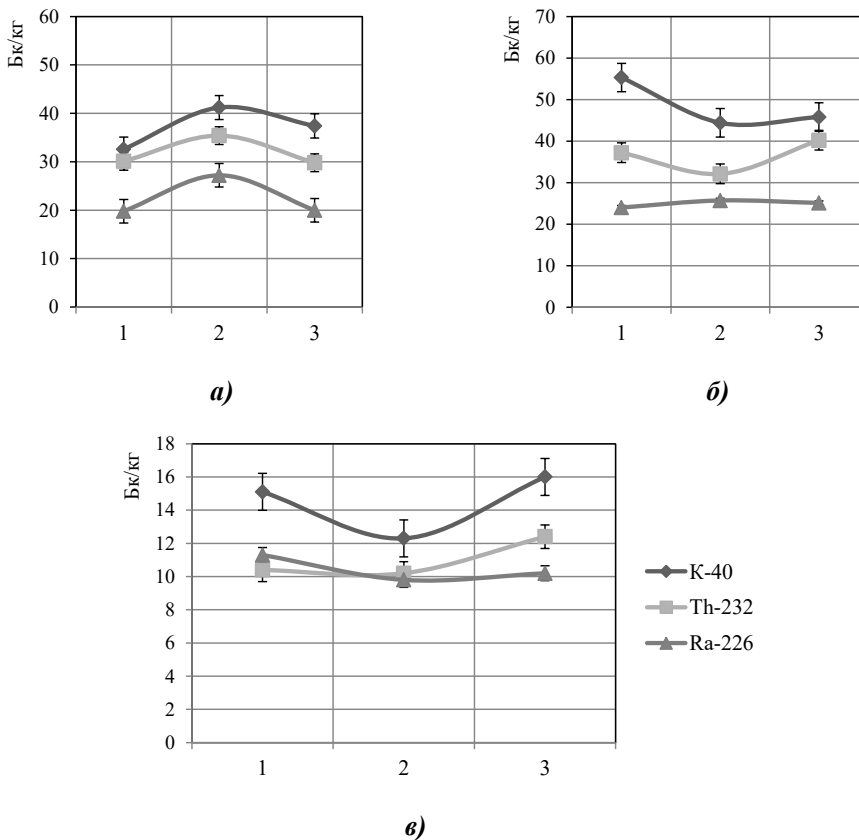


Рис. 1. Рівні вмісту природних теригенних радіонуклідів (Бк/кг сухої ваги) у компонентах екосистеми штучних лісових насаджень робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia* L.): а) ґрунт, б) лісова підстилка, в) листя дерев

Рівні вмісту радіоактивних елементів визначали у листі робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia L.*) – однієї із найпоширеніших деревних порід у степовій зоні для формування захисних, рекреаційних, декоративних, лісомеліоративних штучних насаджень, яка також рекомендована як біоіндикатор [14]. Концентрації радіонуклідів у листі дерев різного віку варіювали від 9,8 до 11,3 Бк/кг для ^{226}Ra , від 10,2 до 12,4 Бк/кг для ^{232}Th і від 12,3 до 16,0 Бк/кг для ^{40}K (рис. 1, в).

Для оцінки загального рівня радіоактивності, що створюється у компонентах екосистеми основними дозоформуючими радіонуклідами, та можливого впливу на біоту розраховували інтегральні показники ефективної питомої радіоактивності та потужності поглиненої дози (табл. 1).

Таблиця 1

Інтегральні показники ефективної питомої радіоактивності (А) і потужності поглиненої дози (D) у біогеоценозі штучних лісових насаджень робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia L.*)

| Показник | Точка відбору проби | Ґрунт | Лісова підстилка |
|---|---------------------|--------------|------------------|
| Ефективна питома радіоактивність (А, Бк/кг) | 1 | 62,0 ± 3,44 | 77,43 ± 4,33 |
| | 2 | 77,07 ± 4,25 | 71,52 ± 4,14 |
| | 3 | 59,04 ± 3,54 | 81,66 ± 5,23 |
| Потужність поглиненої дози (D, нГр/год) | 1 | 28,69 ± 1,64 | 35,87 ± 2,19 |
| | 2 | 35,67 ± 2,21 | 33,11 ± 1,92 |
| | 3 | 28,8 ± 1,98 | 37,79 ± 2,68 |

Значення ефективної питомої радіоактивності варіювали від 59,04 до 77,07 Бк/кг у ґрунті та від 71,52 до 81,66 Бк/кг у лісовій підстилці; потужності поглиненої дози – від 28,69 до 35,67 нГр/год у ґрунті та від 33,11 до 37,79 нГр/год у лісовій підстилці. Отримані дані свідчили, що рівні радіоактивності у досліджуваній місцевості були в межах природного радіаційного фону і не становили ризику для біологічних об'єктів.

Найвищі концентрації природних теригенних радіонуклідів ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K і значення інтегральних показників ефективної радіоактивності та потужності поглиненої дози були виявлені у складі лісової підстилки, найменші – у листі. Багаторічні дерев'янисті рослини, на відміну від одно-дворічних трав'янистих, акумулюють радіонукліди у деревині, корі, пагонах. Хоча основна частина радіонуклідів здебільшого концентрується у листі, а найменша – в деревині, багаторічний замкнутий цикл речовин: листя – лісова підстилка – ґрунт – корені – стовбур – листя може призводити до того, що радіонукліди, залучені до біологічного кругообігу, починають включатися у тканини рослинних компонентів, інтенсивно акумулюватися в їх багаторічних органах (у деревині, корінні, кореневищах) і виключаються із середовища.

Виміряні концентрації штучних радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у складниках екосистеми штучної лісосмуги робінії псевдоакації були у 20-40 разів нижчими порівняно з природними (рис. 2).

Низькі концентрації штучних радіонуклідів у біотичних та абіотичних компонентах екосистеми пов'язані з їх послідовним «старінням» – зменшенням радіоактивності внаслідок спливання періоду напіврозпаду, виносом за межі території за рахунок твердого і рідкого поверхневого стоку. Рівні концентрацій штучних раді-

оізоіопів ^{137}Cs і ^{90}Sr у ґрунті й лісовій підстилці не залежали від вікової структури угруповань деревних насаджень робінії псевдоакації на досліджуваній території.

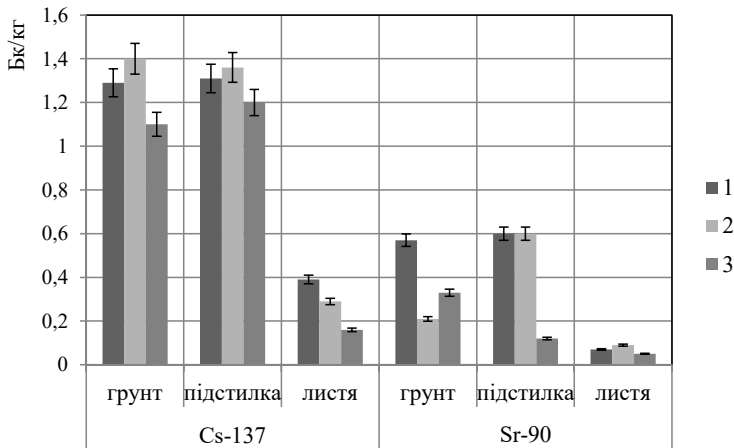


Рис. 2. Рівні вмісту штучних радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr (Бк/кг сухої ваги) у компонентах екосистеми лісосмуги робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia L.*): 1, 2, 3 – точки відбору проб

Висновки і пропозиції. Найвищі концентрації природних теригенних радіонуклідів ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K і значення інтегральних показників ефективної питомої радіоактивності (A) і потужності поглиненої дози (D) були виявлені у лісовій підстилці, найменші – у листі. Значення обох інтегральних показників (A, D) у ґрунті та лісовій підстилці були в межах природного радіаційного фону і не становили ризику для біологічних об'єктів. У міру того, як збільшувався вік дерев, показники вмісту природних радіонуклідів і ефективної питомої радіоактивності у поверхневому шарі ґрунту знижувалися.

Зміни концентрацій штучних радіоізоіопів ^{137}Cs і ^{90}Sr у ґрунті й лісовій підстилці не виявляли закономірного зв'язку з віковою структурою угруповань дендрофлори, а визначалися, ймовірно, іншими чинниками, такими як швидкість їх виносу із біологічного кругообігу, віддаленість від джерела радіоактивності. Отримані дані підтверджують значну роль штучних лісових насаджень у міграції радіоактивних елементів в екосистемі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Травлєєв А.П., Белова Н.А., Зверковський В.М. Теоретичні основи лісової рекультивациі порушених земель у Західному Донбасі на Дніпропетровщині. *Ґрунтознавство*. 2005. Т. 16, № 1-2. С. 19–29.
2. Rozum P.I., Liubezna I.V., Kalchenko O.M. Improving efficiency of using agricultural land. *Науковий вісник Полісся*. 2017. № 3(11). Ч. 1. С. 193–196. doi: 10.25140/2410-9576-2017-1-3(11)-193-196.
3. Gudkov I.O., Vinichuk V.V. Radiobiology & Radioecology. Kyiv : NAUU, 2006. 295 p.
4. Фурдичко О.І. Лісове господарство України: перспективи розвитку при формуванні сталих агроекосистем. *Агроекологічний журнал*. 2003. № 3. С. 3–10.
5. Трохимчук І.М. Лісорозведення на радіаційно забрудненій території. *Вісник Черкаського університету. Серія: «Біологічні науки»*. 2015. № 19. С. 121–126.

6. Мельник В.В. Особливості розподілу ^{137}Cs у компонентах лісового біогеоценозу свіжих борів українського Полісся. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 2. С. 88–98. doi: 10.31210/visnyk2020.02.11.
7. Краснов В.П., Ландін В.П. Методологічні основи реабілітації лісових екосистем, забруднених радіонуклідами. *Збалансоване природокористування*. 2013. № 2-3/2013. С. 33–39.
8. Markovic J., Stevovic S. Radioactive Isotopes in Soils and Their Impact on Plant Growth. Chapter. *Metals in Soil – Contamination and Remediation*. London : IntechOpen Limited, 2019. P. 1–11. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.81881>.
9. Ірклієнко С.П., Бузун В.О., Дмитренко О.Г., Турчак Ф.М. Функціонування лісових екосистем і ведення лісового господарства в зонах безумовного відселення. *Ядерна фізика та енергетика*. 2001. № 2(02). С. 127–132.
10. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи. Київ : Відділ поліграфії Українського центру Держсанепіднагляду МОЗ України, 1997. 120 с.
11. Abedin J., Karim R., Hossain S., Deb N., Kamal M., Miah H.A., Khandaker M.U. Spatial distribution of radionuclides in agricultural soil in the vicinity of a coal-fired brick kiln. *Arabian Journal of Geosciences*. 2019. 12:236. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4355-7>.
12. Abba H.T., Hassan W.M.S.W., Saleh M.A. Evaluation of environmental natural radioactivity levels in soil and ground water of Barkin Ladi, Plateau state, Nigeria. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2018. Vol. 14, № 3. P. 338–342.
13. Gad A., Saleh A., Khalifa M. Assessment of natural radionuclides and related occupational risk in agricultural soil, southeastern Nile Delta, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*. 2019. 12:188. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4356-6/>.
14. Алексеева Т.М. Біоіндикація як метод екологічної оцінки стану природного навколишнього середовища. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2014. Вип. 2/2014 (85). С. 166–171.

УДК 631.675.2:631.674.4:631.674.6

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.2.25>

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗОН ЗВОЛОЖЕННЯ ПРИ ПІДГРУНТОВОМУ КРАПЛИННОМУ ЗРОШЕННІ

Шатковський А.П. – д.с.-г.н., член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, заступник директора з наукової роботи,
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України
Журавльов О.В. – к.с.-г.н., докторант,
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України
Овчатова І.М. – директор,
Дослідне господарство «Великі Клини» Інституту водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України

У статті наведено результати експериментальних досліджень із визначення особливостей та встановлення параметрів формування зони зволоження середньосуглинкового ґрунту за підґрунтового краплинного зрошення сої в умовах Степу України. За передполивної вологості ґрунту 85% від найменшої вологомисткості (далі – НВ) ґрунту
