



УДК 582.715:581.43(477.63)  
<https://doi.org/10.53904/1682-2374/2023-25/6>

**Т.Ф. Чипиляк<sup>1</sup>, О.О. Лінкевич<sup>2</sup>**

Криворізький ботанічний сад НАН України  
 вул. Маршака, 50, м. Кривий Ріг, 50089 Україна

<sup>1</sup>e-mail: chipiljak@i.ua

<sup>2</sup>e-mail: alonalinkevich@gmail.com

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2193-5350>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-1180-7534>

## **МОРФО-СТРУКТУРНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ ВИДІВ РОДУ *SEDUM* L. ПРОТЯГОМ СЕЗОННОГО РОЗВИТКУ В УМОВАХ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ КРИВОРІЖЖЯ)**

*Архітектура кореневої системи, живильна і ростова частина, додаткові, бічні та контрактильні корені, Sedum L.*

**МОРФО-СТРУКТУРНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ ВИДІВ РОДУ *SEDUM* L. ПРОТЯГОМ СЕЗОННОГО РОЗВИТКУ В УМОВАХ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ КРИВОРІЖЖЯ). Т.Ф. Чипиляк, О.О. Лінкевич.** – В статті розглядаються особливості формування кореневої системи видів роду *Sedum* протягом сезонного розвитку в кліматичних умовах Криворіжжя. Матеріалом дослідження слугувала коренева система рослин *S. aizoon*, *S. album*, *S. reflexum* та *S. spurium*. Дослідження проводилися у Криворізькому ботанічному саду НАН України, природно-кліматичні умови території якого характеризуються загальними для степової зони показниками, що обмежують ріст рослин – нестача вологи в повітрі і ґрунті, аномально високі літні температури повітря. Особливості розміщення кореневої системи по горизонтах ґрунту досліджували зважаючи на характер фізіологічних функцій коренів – ростова та живильна частина. Визначали довжину додаткових і контрактильних коренів, інтенсивність галуження бічних коренів. Протягом сезонного розвитку рослини *S. album*, *S. reflexum*, *S. spurium* і *S. aizoon* відзначалися збільшенням кількості живильних коренів – додаткових та бічних на них, які в фазу завершення формування поверхневої вегетативної сфери (травень) галузяться до другого порядку, тоді як в фазу завершення вегетації (жовтень) – до третього. Наприкінці активного сезонного розвитку у рослин *S. album*, *S. reflexum* живильна частина кореневої системи розташовується ближче до поверхні і набуває широкого латерального розповсюдження. У рослин *S. spurium* живильні корені заглиблюються в ґрунт, у *S. aizoon* – не змінюють розташування. Розвиток ростової частини кореневої системи відзначався збільшенням довжини якірних та контрактильних коренів, незначним збільшенням їх кількості та поглибленням в ґрунті. Основний об'єм живильних коренів (до 65%) має латеральне розташування у верхньому шарі ґрунту 0–10 см, окрім *S. spurium*, для рослин якого це шар ґрунту 0–15 до 20 см. Корені, що виконують механічні функції, у досліджених видів досягають в глибину 20–30 см і тільки у *S. reflexum* ці корені ростуть в глибину до 15 см. Додаткові корені у *S. album*, *S. reflexum* і *S. spurium* формуються в міжвузлях плагіотропних наземних пагонів, які згодом виконують функції кореневища. Для *S. aizoon* характерне відростання додаткових коренів тільки в базальній частині вегетативних пагонів, що перешкоджає активному розповсюдженню рослин.

## **MORPHO-STRUCTURAL TRANSFORMATIONS OF THE ROOT SYSTEM OF SPECIES OF THE GENUS *SEDUM* L. DURING SEASONAL DEVELOPMENT IN THE CONDITIONS OF THE STEPPE ZONE OF UKRAINE (ON THE EXAMPLE OF KRYVORIZHYA).**

**T.F. Chypyliak, O.O. Linkevych.** – Peculiarity of the formation of the root system of species of the genus *Sedum* during seasonal development in the climatic conditions of Kryvorizhya are presented. The of the root system of plants served as research material *S. aizoon*, *S. album*, *S. reflexum* and *S. spurium*. The research was conducted in the Kryvyi Rih Botanical Garden of the NAS of Ukraine, the natural and climatic conditions of which are characterized by parameters common to the steppe zone, which limit the growth of plants – lack of moisture in the air and soil, abnormally high summer air temperatures. Peculiarities of the location of the root system along the soil horizons were explored taking into account the character of the physiological functions of the roots – the growth and nourish-

ing part. The length of additional and contractile roots, the intensity of branching of lateral roots were determined. During seasonal development of plant of *S. album*, *S. reflexum*, *S. spurium* and *S. aizoon* was marked the increase of amount of nourishing roots – additional and lateral on them, which in the phase of completion of forming of superficial vegetative sphere (May) branch out to the second order, while in the phase of completion of vegetation (October) – to the third. At the end of the active seasonal development in plants *S. album*, *S. reflexum* the nutrient part of the root system is disposed is nearer to the surface and reach a wide lateral extension. In plants of *S. spurium* the nourishing roots deepen in the soil, in *S. aizoon* they do not change their location. The development of the growth part of the root system was marked by an increase the length of anchor and contractile roots, a slight increase in their number and a deepening in of the soil. The main volume of nourishing roots (up to 65%) has a lateral location in the upper layer of the soil 0–10 cm, except *S. spurium* for plants which it is a layer of soil 0–15 to 20 cm. The roots performing mechanical functions in the studied species reach a depth of 20–30 cm, and only in *S. reflexum* these roots grow to a depth of 15 cm. Additional roots in *S. album*, *S. reflexum* and *S. spurium* are formed in the internodes of plagiotropic ground shoots, which subsequently function as rhizomes. *S. aizoon* is characterized by the regrowth of additional roots only in the basal part of vegetative shoots, which prevents the active spread of plants.

Механізми адаптації рослин до несприятливих факторів довкілля пов'язані, в першу чергу, з модифікаціями листків і коренів, адже вони є найбільш пластичними органами рослин. Але, з огляду на те, що коренева система перша відчуває вплив водного стресу, оскільки відповідає за поглинання води та поживних речовин з ґрунту, для аналізу адаптаційної здатності видів та сортів рослин останнім часом все частіше використовуються ознаки змін саме кореневої системи (Wahid et al., 2007; Comas et al., 2013; Heckathorn et al., 2013; Garofalo et al., 2019). Ряд дослідників приділяють увагу особливостям формування "архітектури" кореневої системи (зокрема, зміні довжини і товщини коренів, їх загальної маси, зміні розподілу коренів в шарах ґрунту), на що значно впливає підвищення температури повітря та ґрунту, зміні розподілу та кількості опадів протягом року (Bramwell, 2008; Franklin, 2009; Anjum et al., 2011; Gray, Brady, 2016; Bano, Amist, Singh, 2019).

На території Правобережного степового Придніпров'я розташоване промислове Криворіжжя, де в стресових умовах вирощування багато видів рослин потерпають не тільки від впливу значного техногенного навантаження, але і частих посух (Єремеев, Єфімов, 2003; Дідух, 2009). В розрізі кліматичних змін, які відбуваються в Україні, важливо з'ясувати адаптаційний потенціал та рівень життєвості рослин в таких антропогенно трансформованих регіонах для залучення нових, стійких рослин з метою покращення функціонування міських фітоценозів (Приходько, 2013; Лихолат та ін., 2019). Оптимізувати асортимент рослин можна за рахунок представників роду *Sedum* L., значна частина яких є невимогливими до умов вирощування, декоративними, лікарськими рослинами, а завдяки роботі селекціонерів родовий комплекс поповнюється значною кількістю сортів та форм (Hart, Bleij, 2003; Jung et al., 2008; The Leipzig catalogue ..., 2020). В умовах України інтродукційне дослідження видів роду *Sedum* було проведене тільки на території Лісостепу, тоді як вивчення особливостей їх розвитку на території степової зони є не менш актуальним (Березкіна, 2003; Пушка та ін., 2019). Враховуючи вищевикладене, метою роботи було вивчення процесів формування кореневої системи видів роду *Sedum* протягом сезонного розвитку в кліматичних умовах Криворіжжя.

### Матеріали та методи досліджень

Матеріалом дослідження слугувала коренева система рослин чотирьох видів роду *Sedum*: *S. aizoon* L., *S. album* L., *S. reflexum* L. та *S. spurium* M. Vieb. Дослідження проводили на території Криворізького ботанічного саду НАН України. Природно-кліматичні умови ботанічного саду характеризуються загальними для степової зони показниками, які обмежують ріст рослин – нестача вологи в повітрі і ґрунті, аномально високі літні температури повітря (до +38 °C), різкі коливання температури та нестійкий сніговий покрив взимку. Ґрунти на дослідних ділянках – чорнозем звичайний, середньозмитий, важкосуглинистий (Паранько та ін., 2015; Weather ..., 2022). Під час вирощування і вивчення рослин, у 2018–2022 роках, середньорічна температура повітря складала 11,3 °C (10,5–11,7 °C), а сума річних опадів коливалася в межах 201,2–533,5 мм. Тоді як 35 років тому середньорічна температура повітря на Криворіжжі не перевищувала 8,5 °C.

Морфологічну будову кореневої системи вивчали за природного рівня вологозабезпечення з використанням рівноцінних особин кожного виду на таких етапах розвитку: наприкінці травня (завершення формування поверхневої вегетативної частини) та у жовтні (вибраний період пов'язаний з настанням перших приморозків, що обмежує активну вегетацію рослин). Виходячи з того, що у степовій зоні на чорноземних ґрунтах майже 60% коренів знаходяться на глибині 15–20 см, оцінювали структуру та сезонні зміни кореневої системи в ґрунтовому профілі на глибину до 40 см (Klímešová, Vintrlíková, Štěda, 2015). Особливості розміщення кореневої системи за горизонтами ґрунту досліджували зважаючи на характер фізіологічних функцій коренів: ростова частина – більш потужні ростові корені, що просуваються вглиб і закріплюють рослини в ґрунті, та живильна частина – численні, короткі, недовговічні всисні корені, які живлять рослину (Войтюк та ін., 1998). Визначали довжину додаткових і контрактильних коренів, інтенсивність галуження бічних коренів II порядку (другорядні корені на бічних) та бічних коренів III порядку (другорядні корені на бічних II порядку) (Довідник ..., 2004). Статистичну обробку даних проводили методами параметричної статистики за О.О. Єгоршиним (Єгоршин, Лісовий, 2005). Статистична значимість була встановлена на рівні  $p < 0,05$ .

### Результати досліджень та їх обговорення

*S. album*, *S. reflexum* і *S. spurium* відносяться до наземно-повзучих хамефітів. На другий рік життя вегетативні наземні пагони на рослинах набувають горизонтального положення, напівдерев'яніють, вкорінюються в міжвузлях і починають виконувати функцію епігеогенного кореневища. *S. aizoon* характеризується як короткочореневищний гемікриптофіт. Завдяки контрактильним кореням гіпокотиль і базальна частина пагонів з бруньками відновлення втягуються в ґрунт для захисту їх від несприятливих умов, що також сприяє формуванню додаткових коренів (Бордзиловський, 1953; The Leipzig catalogue ..., 2020).

Аналіз отриманих даних дав можливість визначити особливості будови кореневої системи кожного виду. У рослин *S. album* наприкінці травня, на тій частині пагонів, які були дотичні з ґрунтом, під кожним міжвузлям формувалися пучками по 7–9 шт. додаткові корені (довжиною  $2,1 \pm 0,3$  см), на яких, в свою чергу, утворювалися бічні корені I–II порядків. Ростова частина кореневої системи, що виконувала якірну функцію, складалася з 3–6 шт. коренів довжиною  $19,6 \pm 0,7$  см з незначною кількістю бічних коренів на них (рис. 1: а). В жовтні живильна частина кореневої системи виду також була представлена додатковими коренями, але довжина їх зменшувалася вдвічі ( $0,8 \pm 0,1$  см).

Будова кореневої системи рослин *S. reflexum* на кінець травня значно не відрізнялася від вище згаданого виду: в шарі ґрунту до 7 см в глибину під кожним міжвузлям плагіотропних вегетативних пагонів сформувалися пучками по 5–6 шт. додаткові корені (довжиною  $0,8 \pm 0,7$  см) з бічними I порядку на них. В шарі ґрунту від 10 до 16 см розташовувалося 6–7 коренів ростової частини довжиною  $15,8 \pm 0,6$  см. В час, коли рослини завершували вегетативний розвиток (жовтень), відзначено галуження бічних коренів до III порядку та незначне зменшення глибини залягання коренів (рис. 1: б).

У рослин *S. spurium* будова кореневої системи на початку літа відрізнялася від вище згаданих видів глибшим розташуванням – всисні корені розвивалися в прошарку ґрунту 0–13 см, якірні корені – на глибині від 15 до 25 см. Пучки з 3–4 шт. додаткових коренів довжиною  $1,6 \pm 0,9$  см формувалися під кожним другим чи третім міжвузлям плагіотропних пагонів. Бічні корені галузилися до II порядку. Ростова частина кореневої системи складалася з 4–5 шт. шнуроподібних коренів, довжиною  $18,5 \pm 3,1$  см. В жовтні зафіксовано збільшення довжини додаткових коренів удвічі, якірних коренів – в 1,3 рази зі збільшенням їх кількості до 8–10 шт. (рис. 1: в).

Рослини *S. aizoon* є вегетативно малорухливими і мають контрактильні корені, які відносяться до ростової частини кореневої системи. В кінці травня у особин формувалося 7–10 шт. контрактильних коренів довжиною  $17,5 \pm 0,9$  см, тоді як у жовтні їх довжина досягла вже  $27,5 \pm 0,5$  см. Живильна частина кореневої системи в травні складалася з  $17 \pm 2$  шт. додаткових коренів (довжиною  $3,2 \pm 0,5$  см) та бічних I–II порядків галуження. В жовтні галуження бічних коренів зростало до III порядку і, в переважній більшості, мички бічних коренів утворювалися на верхівках контрактильних та якірних коренів (див. рис. 1: г).

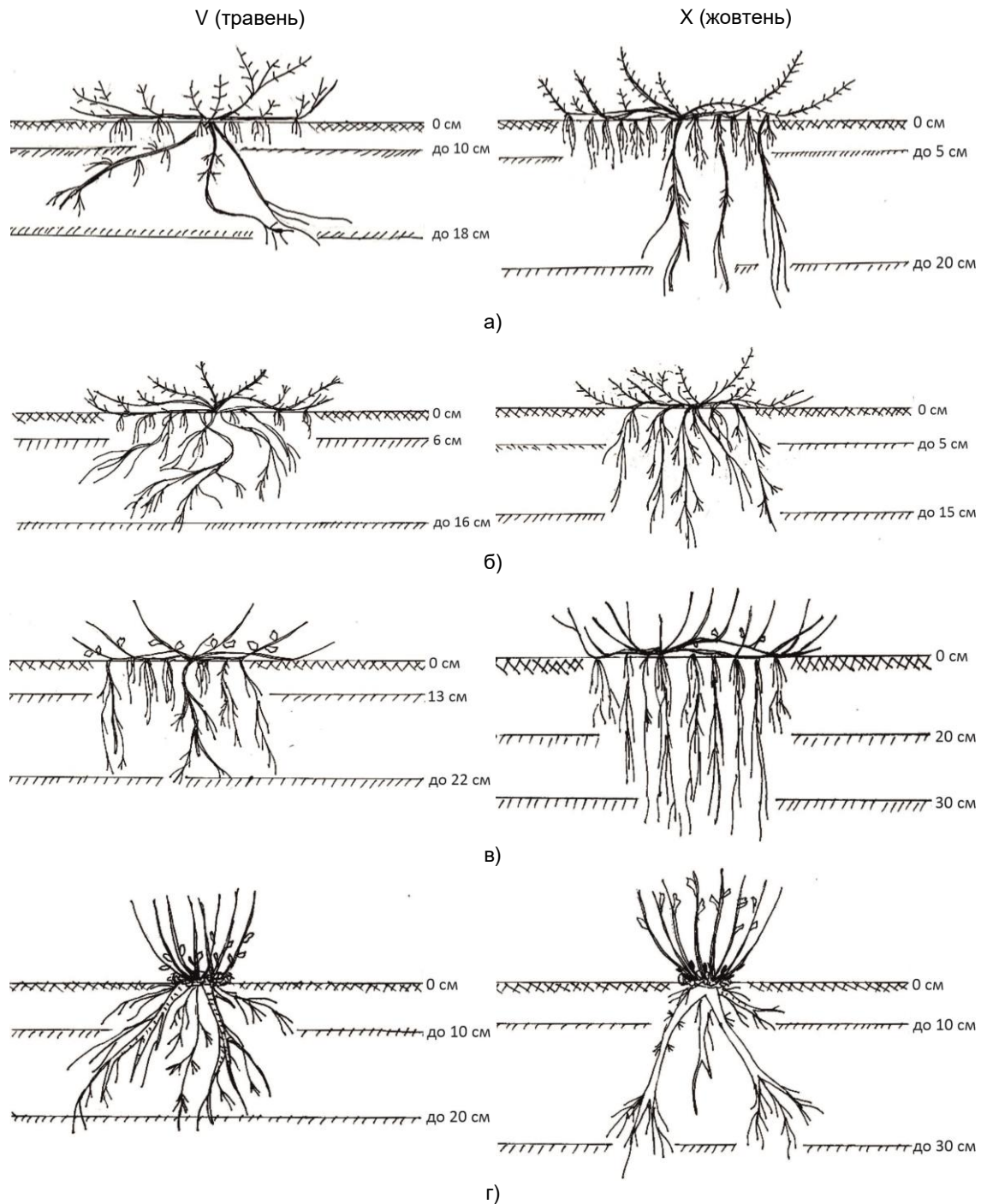


Рисунок 1. Схема будови та стан кореневої системи дослідних видів роду *Sedum* за сезонами (травень, жовтень) в умовах Криворізького ботанічного саду НАН України

а) – *S. album*; б) – *S. reflexum*; в) – *S. spurium*; г) – *S. aizoon*.

Характеризуючи розташування кореневої системи у прошарках ґрунту зазначимо, що протягом сезонного розвитку у рослин *S. album*, *S. reflexum* та *S. aizoon* додаткові та бокові корені (живильна частина) проникають на глибину до 10 см від поверхні ґрунту і наприкінці сезонного розвитку розташування їх залишалось сталим (*S. aizoon*, *S. reflexum*) або вони розвивалися ближче до поверхні ґрунту (*S. album*). Також у рослин *S. album* і *S. reflexum* до жовтня збільшується діаметр кореневої системи (її живильної частини) за рахунок утворення додаткових і бічних коренів на плагіотропних пагонах. Натомість, у *S. spurium* живильні корені розташовуються у шарі ґрунту 0–15 см, і на осінь глибина залягання даної частини кореневої системи збільшується до 20 см (рис. 2).

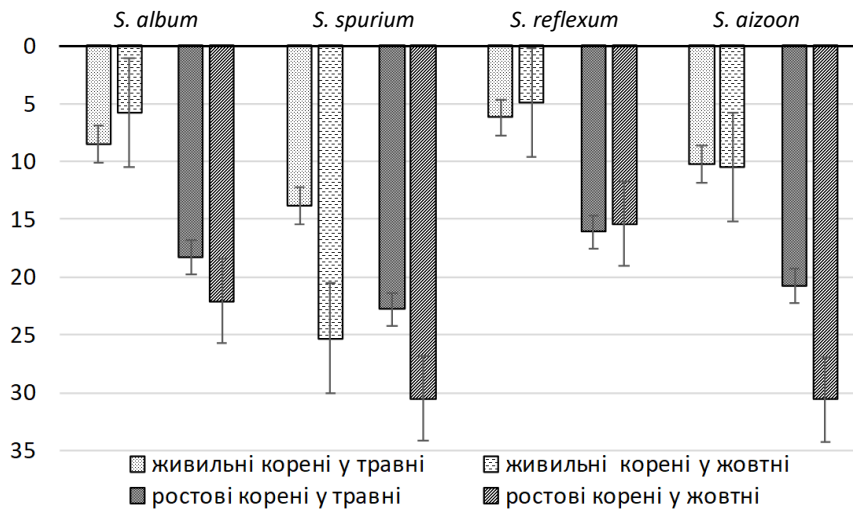


Рисунок 2. Глибина розташування (см) кореневої системи видів роду *Sedum* протягом сезонного розвитку в умовах Криворізького ботанічного саду НАН України

Ростова частина кореневої системи (контрактильні, якірні корені) у досліджуваних видів досягає глибини 15–30 см, а збільшення цих параметрів у всіх видів припадало на період завершення вегетаційного розвитку рослин (жовтень). Необхідно зауважити, що рослинам *S. reflexum* властиве формування кореневої системи в поверхневих шарах ґрунту від 1 до 16 см, тоді як у *S. spurium* корені досягали 20–30 см у глибину (див. рис. 2) і саме у цього виду до кінця вегетаційного сезону збільшувалася глибина розташування коренів різного функціонального призначення.

Узагальнюючи матеріали досліджень, можемо відзначити, що відбувається перерозподіл розташування коренів в шарах ґрунту, тобто зафіксовані зміни "архітектури" кореневої системи рослин. Так, протягом сезонного розвитку рослини *S. album*, *S. reflexum*, *S. spurium* і *S. aizoon* відзначалися збільшенням кількості живильних коренів (додаткових та бічних на них), які в червні галузяться до другого порядку, а восени – до третього. Це дало можливість рослинам значно збільшити поглинальну поверхню і, відповідно, здобувати значно більше води і живильних речовин (Lu et al., 2014). Отримані в наших умовах дані підтверджуються дослідженнями ряду авторів, які доводять, що дія температур ґрунту вище оптимальних призводить до зменшення довжини первинного кореня, змін кількості бічних коренів за рахунок їх розгалуження до II, III порядків та збільшення діаметру кореневої системи окремої рослини (Butler, Orians, 2011; Weiser et al., 2016; Kuronuma, Watanabe, 2016). При цьому у рослин *S. album*, *S. reflexum* наприкінці активного сезонного розвитку живильна частина кореневої системи розташовується ближче до поверхні і набуває широкого латерального розповсюдження. Така реакція на складні літні умови властива окремим видам роду *Sedum*, коли підвищена температура впливає на збільшення кута розгалуження кореня, що призводить до розподілу кореневої системи в неглибоких шарах та значно ширшого розташування коренів відносно рослин, вирощених при більш низьких температурах (Schenk, Jackson, 2002; Lu et al., 2014; Ji et al., 2018). Розвиток ростової частини кореневої системи досліджуваних видів відзначався збільшенням довжини якірних та контрактильних коренів, незначним збільшенням їх кількості та поглибленням в ґрунті.

## Висновки

Таким чином, вивчення особливостей формування кореневої системи видів роду *Sedum* (*S. aizoon*, *S. album*, *S. reflexum*, *S. spurium*) продовж сезонного розвитку в кліматичних умовах Криворіжжя доводить, що рослинам властиві зміни "архітектури" кореневої системи. До загальних відносимо посилення росту додаткових і збільшення галушення бічних коренів (протягом червня–вересня), за рахунок чого рослини збільшують поглинання води. Також протягом сезонного розвитку змінювалася просторова структура підземної частини рослин очитків, що наприкінці сезонного розвитку у *S. album*, *S. reflexum*

виявлялося в поверхневому розташуванні живильних коренів та поглибленні механічних. Натомість, у рослин *S. spurium* та *S. aizoon* живильна і ростова частини кореневої системи досить суттєво заглиблювались. Основний об'єм живильних коренів (до 65%) має латеральне розташування у верхньому шарі ґрунту 0–10 см, окрім *S. spurium*, для рослин якого це прошарок ґрунту 0–15 (до 20) см. Корені, що виконують механічні функції, у досліджених видів досягають в глибину 20–30 см і тільки у *S. reflexum* ці корені ростуть в глибину до 15 см. До видоспецифічних особливостей будови кореневої системи відносимо те, що у *S. album*, *S. reflexum* і *S. spurium* додаткові корені формуються в міжвузлях плагіотропних наземних пагонів, які згодом виконують функції кореневища. Для *S. aizoon* характерне їх відростання тільки в базальній частині вегетативних пагонів, що перешкоджає активному розповсюдженню рослин.

Такі трансформації кореневої системи впливали на здатність рослин поглинати водні і поживні ресурси ґрунту, які розподілені неоднорідно по глибині. Рослини досліджених видів очитків при вирощуванні на Криворіжжі, за впливу складних літніх умов (нестача вологи в ґрунті, високі температури повітря), спроможні за допомогою фенотипічних морфологічних змін кореневої системи (кількості та біомаси коріння, глибини їх розподілу в ґрунті) використовувати вологу у вигляді незначних опадів на поверхні та в глибоких прошарках ґрунту. Отримані результати підкреслюють пластичність та потенціал кореневої системи як інструменту для подолання водного стресу у періоди посух.

- Березкіна В. І. Біологічні особливості інтродукованих видів роду *Sedum* L. (Crassulaceae DC.) та перспективи їх використання в Україні : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.05. Київ, 2003. 21 с.
- Бордзиловський С. І. Рід очиток – *Sedum* L. *Флора УРСР*. Т. 5 / ред. Клоков М. В. Київ : Вид-во АН УРСР, 1953. С. 454–467.
- Войтюк Ю. О., Кучерява Л. Ф., Баданіна В. А., Брайон О. В. Морфологія рослин з основами анатомії та цитоембріології. Київ : Фітосоціоцентр, 1998. 216 с.
- Дідух Я. П. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: Причини, наслідки, дії. *Вісник НАН України*. 2009. № 2. С. 34–44.
- Довідник з морфології квіткових рослин. Навчально-методичний посібник. / Зиман С. М., Мосякін С. Л., Булах О. В., Царенко О. М., Фельбаба-Клушина Л. М. Ужгород : Медіум, 2004. 156 с.
- Приходько М. М. Екологічна безпека природних і антропогенно модифікованих геосистем: монографія. Київ : Центр екологічної освіти та інформації, 2013. 201 с.
- Пушка І. М., Величко Ю. А., Осіпов М. Ю., Козаченко І. В. Еколого-біологічні особливості інтродукованих видів роду *Sedum* L. в умовах Правобережного Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Ч. 1. С. 212–218. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-1.31>
- Єгоршин О. О., Лісовий М. В. Математичне планування польових дослідів та статистична обробка експериментальних даних. Харків : Вид-во Ін-ту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського, 2005. 193 с.
- Єремеев В., Єфімов В. Регіональні аспекти глобальної зміни клімату. *Вісник НАН України*. 2003. № 2. С. 24–28. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/70185>.
- Лихолат Ю. В., Хромих Н. О., Дідур О. О., Оковитий С. І., Матюха В. Л., Савосько В. М., Лихолат Т. Й. *Сучасний стан антропогенної трансформації екосистем степового Придніпров'я*. Кривий Ріг : Вид-во Чернявський Д., 2019. 146 с.
- Паранько І. С., Казаков В. Л., Калініченко О. О., Коцюрuba В. В., Остапчук І. О., Савосько В. М., Шипунова В. О., Ярков С. В. *Фізична географія Криворіжжя* : монографічна навчальна книга. Кривий Ріг : Вид. Р.А. Козлов, 2015. 272 с.
- Anjum S. A., Xie X.-Y., Wang L.-C., Saleem M. F., Man Ch., Lei W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*. 2011. Vol. 6(9). P. 2026–2032. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.027>
- Bano Ch., Amist N., Singh N. B. Morphological and anatomical modifications of plants for environmental stresses. In: A. Roychoudhury & D. Tripathi (ed). *Molecular plant abiotic stress: Biology and biotechnology*. John Wiley & Sons, Ltd. 2019. ch. 2. P. 29–45. <https://doi.org/10.1002/9781119463665.ch2>
- Bramwell D. Plant adaption and climate change. *2nd World Scientific Congress Challenges in Botanical Research and Climate Change* : programmer Book of abstract, 29 June – 4 July, 2008. Delft, The Netherlands. P. 3.
- Butler C., Orians C. M. *Sedum* cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof. *Ecological Engineering*. 2011. Vol. 37(11). P. 1796–1803. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.025>

- Comas L. H., Becker S. R., Cruz V. M., Byrne P. F., Dierig D. A. Root traits contributing to plant productivity under drought. *Front. Plant Sci.* 2013. Vol. 4. P. 442. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00442>
- De Micco V. & Aronne, G. Morpho-anatomical traits for plant adaptation to drought. In: Aroca, R. (ed). *Plant Responses to Drought Stress*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2012. P. 37–61. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_2)
- Franklin K. A. Light and temperature signal crosstalk in plant development. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2009. Vol. 12 (1). P. 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.09.007>
- Garofalo P., Ventrella D., Kersebaum K. C., Gobin A., Trnka M., Giglio L., Dubrovský M., Castellini M. Water footprint of winter wheat under climate change: Trends and uncertainties associated to the ensemble of crop models. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 658. P. 1186–1208. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.279>
- Gray S. B., Brady S. M. Plant developmental responses to climate change. *Developmental Biology*. 2016. Vol. 419. P. 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2016.07.023>
- Hart H., Bleij B. *Sedum*. Illustrated handbook of succulent plants: Crassulaceae / ed. Egli U. Berlin, Heidelberg & New York : Springer, 2003. P. 235–332.
- Heckathorn S. A., Giri A., Mishra S., Bista D. Heat stress and roots: Climate change and plant abiotic stress tolerance. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. 2013. P. 109–136. <https://doi.org/10.1002/9783527675265.ch05>
- Jung H.-J., Kang H.-J., Song Y. S. Park E.-H., Kim Y.-M., Lim C.-J. Anti-inflammatory, anti-angiogenic and anti-nociceptive activities of *Sedum sarmentosum* extract. *Journal of Ethnopharmacology*. 2008. Vol. 116(1). P. 138–143. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.11.014>
- Klimešová J., Vintrlíková E., Středa T. Adaptation strategies to climate change – the plant roots. *Towards Climatic Services Nitra, Slovakia, 15th – 18th September, 2015*. P. 179–181.
- Lu J., Yuan J.-g., Yang J.-z., Yang Z. Responses of morphology and drought tolerance of *Sedum lineare* to watering regime in green roof system: A root perspective. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2014. Vol. 13(4). P. 682–688. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.08.003>
- Schenk H. J., Jackson R. B. Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. *Journal of Ecology*. 2002. Vol. 90(90). P. 480–494. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2002.00682.x>
- The Leipzig catalogue of vascular plants. German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv) Halle-Jena-Leipzig. 2020 Electronic resource, URL: <https://doi.org/10.15468/9qxm3> [1/11/2022]
- Wahid A., Gelani S., Ashraf M., Foolad M. R. Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany*. 2007. Vol. 61. P. 199–223. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>
- Weather forecast web-site: Electronic resource, URL: <http://rp5.ua> [10/12/2022].
- Weiser M., Koubek T., Herben T. Root foraging performance and life-history traits. *Front. Plant. Sci.* 2016. Vol. 7. P. 779. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00779>

Рукопис отримано 18.11.2023