

ПЛАСТИЧНОСТЬ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ УСТОЙЧИВЫХ ВИДОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ, ПОСЕЛЯЮЩИХСЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛАХ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ УКРАИНЫ

Установлены особенности морфоструктуры корневой системы трех устойчивых видов древесных растений, поселяющихся на отвалах угольных шахт и содового производства в Донбассе, а также на отвалах железорудных карьеров Криворожья. Для возобновляемых только семенным путем на промышленных отвалах в степной зоне *Padellus mahaleb* (L.) Vass., *Cotinus coggigia* Scop. и *Artemisia vulgaris* Lam. характерна высокая пластичность корневых систем в молодом возрасте. С 3–7-летнего возраста у этих видов на отвалах формируется в основном поверхностная корневая система с преобладанием горизонтально расположенных боковых корней.

Ключевые слова: древесные растения, промышленные отвалы, семенное возобновление, корневая система, морфоструктура.

На породных отвалах угольных шахт, доломитового и содового производства Донбасса, а также на железорудных отвалах Криворожья поселяются устойчивые виды древесных растений в результате случайного заноса семян. Особенно активно растения колонизируют отвалы, порода которых прошла длительный процесс физико-химического выветривания. Поселение древесных растений часто начинается через 3–5 лет после завершения отсыпки породы. В засушливой степной зоне на породных отвалах искусственно созданы нетипичные крайне гетерогенные неблагоприятные эдафические условия для произрастания древесных растений. Выживание древесных растений на промышленных отвалах в степной зоне Украины во многом зависит от адаптивной пластичности их корневой системы, так как надземная часть растений испытывает влияние тех же климатических факторов, что и растения сопредельных с отвалами насаждений. С момента прорастания на отвалах семян корни часто оказываются в экстремальных условиях эдафотопы. Для выживания на

отвалах растения должны использовать весь комплекс адаптивных механизмов, выработанных видом в ходе эволюции, особенно в природных местообитаниях с недостатком воды и питательных веществ, с содержанием токсичных элементов в почве. Жизнестойкость древесных растений на промышленных отвалах определяется возможностью реализации этих механизмов в течение онтогенеза.

В классических работах по корневедению показано, что почвенно-гидрологические условия существенно влияют на архитектуру корневой системы древесных растений, протяженность и глубину проникновения основных корней [3, 4, 7]. Под пластичностью понимают способность растений изменять морфоструктуру корней под влиянием факторов окружающей среды, прежде всего, климатических условий, физико-химических свойств почвы и степени ее влагообеспеченности [3, 4]. Показателем пластичности корневых систем у древесных пород является соотношение количества корней горизонтальной и вертикальной ориентации [3].

Для определения адаптивного потенциала вида важно выяснить специфику изменения

его корневой системы в колониях на разных породных отвалах в зависимости от токсичности породы. Известно, что порода, содержащая серу, как правило, является наиболее токсичной для растений. Большое количество такой породы складировать в терриконы угольных шахт [1], в небольшом количестве она присутствует в железорудных отвалах Криворожья и не обнаружена в меловых отвалах. Проявляются ли значительные отличия в физико-химическом и механическом составе породы этих отвалов в морфоструктуре корневой системы растений одного вида, поселяющихся на них? Есть ли какие-то специфические изменения в архитектонике корней разных видов растений, колонизирующих один отвал или отвалы разных горнодобывающих производств? В чем выражается специфика адаптивных изменений в корневой системе растений, не отличающихся вегетативной подвижностью на отвалах? До сих пор на эти вопросы не получен исчерпывающий ответ. Ранее нами были установлены особенности морфологической структуры и пространственной ориентации корневой системы тополя белого (*Populus alba* L.) на железорудных отвалах Криворожья, где этот вид проявляет высокую вегетативную подвижность [5]. Сведений о корневых системах растений, возобновляющихся только семенным путем на промышленных отвалах в степной зоне Украины, нет.

Наши предварительные исследования позволили выявить устойчивые виды, которые семенным путем колонизируют терриконы и меловые отвалы Донбасса, а также железорудные отвалы Криворожья: черемушник магалевка (*Padellus mahaleb* (L.) Vass.), абрикос обыкновенный (*Armeniaca vulgaris* Lam.) и скумпия желтинник (*Cotinus coggigria* Scop.) [6]. Поселение этих и других видов древесных растений на промышленных отвалах степной зоны можно рассматривать как элемент спонтанной интродукции.

Цель работы — выяснить особенности морфоструктуры корневой системы *Padellus mahaleb*, *Armeniaca vulgaris*, *Cotinus coggigria* — древесных растений, поселяющихся на отвалах угольных шахт и содового производства в

Донбассе, а также на отвалах железорудных карьеров Криворожья.

Материал и методы

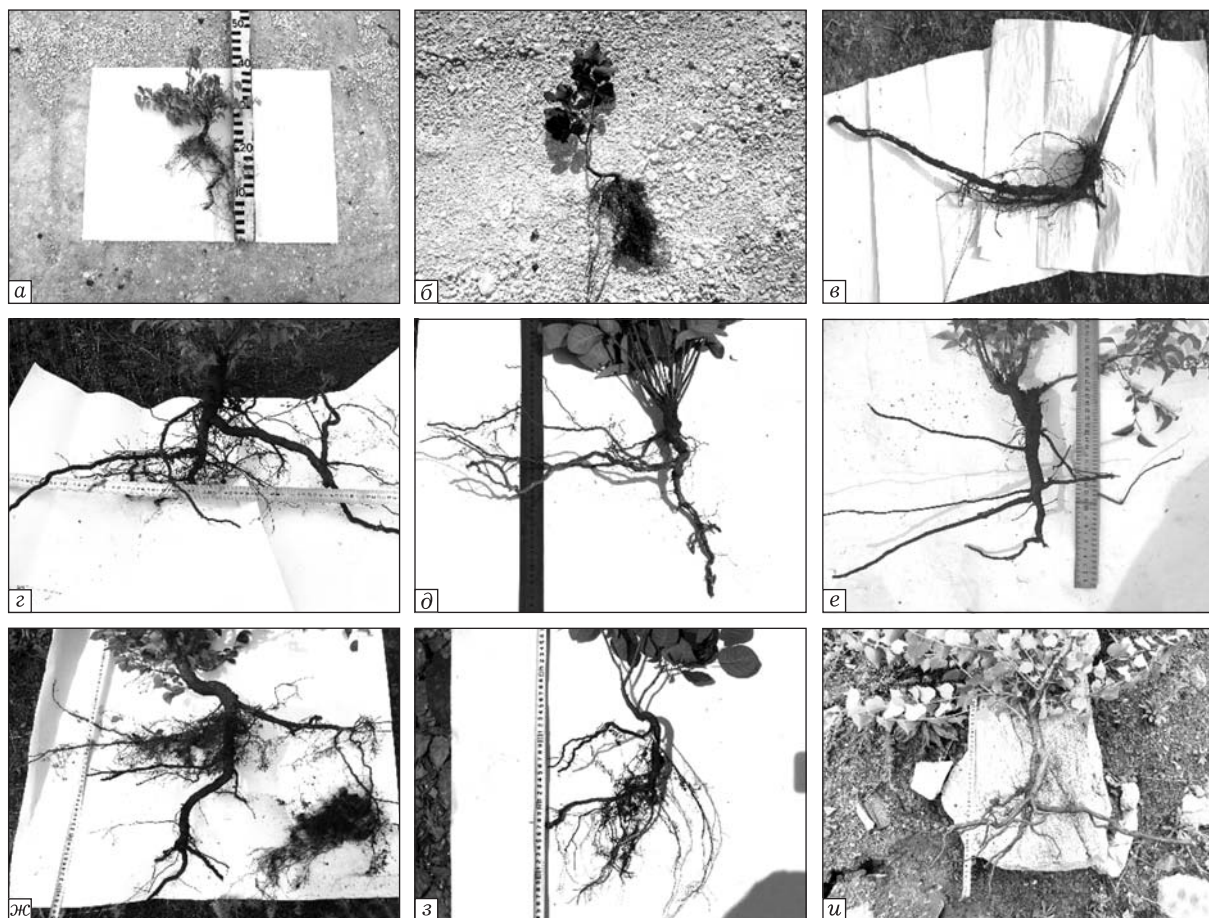
На меловых отвалах содового производства на севере Донецкой области, на железорудных отвалах Криворожья и терриконах угольных шахт объектами исследований были разновозрастные растения *Padellus mahaleb*, *Armeniaca vulgaris* и *Cotinus coggigria*, которые поселились в этих условиях в результате заноса семян. Раскопки и изучение корневой системы проводили как минимум у трех растений одного возраста (2–3 года, 5–7, 8–10 лет), всего раскапывали не менее 10 растений.

При описании корневых систем, определении корней разных морфологических групп, горизонтальной площади проекции корней, глубины проникновения стержневого корня и вертикальных ответвлений от горизонтальных корней руководствовались работами Л.Н. Згуровской [2], В.А. Колесникова [4] и М.И. Калинина [3].

Результаты и обсуждение

На меловых отвалах устойчивая, не имеющая никаких признаков угнетения роста и развития *Padellus mahaleb* отличается высокой пластичностью корневой системы. У молодых растений в породе этих отвалов формируется корневая система как с хорошо выраженным стержневым корнем, так и с практически полным его отсутствием. В последнем случае развивается поверхностно залегающая (3–7 см) горизонтально расположенная корневая система. Образование мочек из сосущих и ростовых корней у основания ствола *P. mahaleb* на меловых отвалах встречается не часто. Для этого вида характерно слабое ветвление корней, оно в большей степени свойственно растениям, имеющим выраженный стержневой корень, хотя у 5–7-летних растений он проникает на глубину не более 20 см (рисунок, а).

У *Cotinus coggigria*, успешно колонизирующей меловые отвалы, отмечены те же особенности развития корневой системы, что и у *Padellus mahaleb*. У отдельных молодых расте-



Морфоструктура корневой системы древесных растений на меловых отвалах содового производства, терриконах угольных шахт Донбасса и железорудных отвалах Криворожья: а — *Padellus mahaleb* на меловых отвалах; б — *Cotinus coggigia* на меловых отвалах; в — *Armeniaca vulgaris* на меловых отвалах; г — *Padellus mahaleb* на железорудных отвалах; д — *Cotinus coggigia* на железорудных отвалах; е — *Armeniaca vulgaris* на железорудных отвалах; ж — *Padellus mahaleb* на угольных терриконах; з — *Cotinus coggigia* на угольных терриконах; и — *Armeniaca vulgaris* на угольных терриконах

ний формируется стержневая корневая система с хорошо выраженной мочкой. У других растений такого же возраста развивается поверхностная корневая система со значительно меньшим количеством всасывающих и ростовых корней. Растения *C. coggigia* более старшего возраста имеют, как правило, по несколько (3–5) поверхностных горизонтально ориентированных скелетных корней, распространяющихся далеко за пределы проекции кроны растения (см. рисунок, б).

Armeniaca vulgaris встречается на меловых отвалах реже, чем *Padellus mahaleb* и *Cotinus*

coggigia, и явно уступает им по критериям жизненного состояния. На этих отвалах у *A. vulgaris* формируется поверхностная корневая система (см. рисунок, в).

Все три исследуемые вида демонстрируют высокую жизнестойкость также на железорудных отвалах Криворожья. Отличающаяся высокой устойчивостью и колонизирующей активностью на этих отвалах, *Padellus mahaleb* формирует, как и на меловых отвалах, два морфотипа корневой системы. Молодые растения чаще всего имеют искривленный стержневой корень как следствие травмотропизма,

на котором образуются боковые корни первого и второго порядка ветвления. Для многих молодых растений характерен изгиб под прямым углом стержневого корня по достижению глубины примерно 20 см. У растений в возрасте 5–7 лет доминируют хорошо развитые плагиотропные корни, залегающие в поверхностном слое породы. Для растений более возрастных категорий характерно активное развитие именно поверхностных боковых корней, далеко уходящих за пределы проекции кроны (см. рисунок, з).

На железорудных отвалах высокая устойчивость и колонизирующая активность присущи *Cotinus coggigia*, которая проявляет поливариантность в формировании корневой системы так же, как и на меловых отвалах Донбасса. Растения 5–7-летнего возраста имеют как стержневой корень, так и более развитые поверхностные боковые корни. Растения старше 10 лет формируют далеко уходящие от ствола поверхностные корни с небольшим количеством корней второго и третьего порядка. У таких растений нередко отсутствует стержневой корень (см. рисунок, д).

Armeniaca vulgaris на железорудных отвалах встречается чаще, чем на меловых отвалах, и отличается более высокой жизнестойкостью. Произрастает этот вид на склонах, бермах, плоской вершине отвала, преимущественно на гравийных участках с наличием мелкозема и глины. У молодых самосевных растений развивается стержневая корневая система, проникающая на глубину до 20 см (см. рисунок, е).

На терриконах угольных шахт Донбасса исследуемые виды встречаются реже, чем на меловых или железорудных отвалах. Чаще всего это одиночные растения, хотя на первых двух типах отвалов они могут образовывать куртины.

На угольных отвалах *Padellus mahaleb* также обладает высокой пластичностью корневой системы. У растений формируется поверхностная корневая система с хорошо выраженным стержневым корнем с глубиной залегания до 30 см. Образование мочек из сосущих и ростовых корней у основания ствола *P. mahaleb* на угольных отвалах происходит как у осно-

вания корня, так и на концах боковых корней (см. рисунок, ж).

Cotinus coggigia в условиях отвалов угольных шахт формирует стержневую корневую систему, хотя у 2–3-летних растений главный корень выражен не так четко, как у 4–8-летних. У растений 2–4-летнего возраста образуются небольшие мочки по всей длине корня. Растения старше 5 лет имеют хорошо развитый стержневой корень с большим количеством плагиотропных корней второго и третьего порядка (см. рисунок, з).

Armeniaca vulgaris встречается на терриконах угольных шахт чаще, чем *Padellus mahaleb* и *Cotinus coggigia*. Произрастает в основном у основания отвала, где есть участки смытого с вершины мелкозема и глины. У молодых растений формируется стержневая корневая система, проникающая вглубь породы до 25 см. Растения в возрасте 8 лет и старше формируют поверхностную корневую систему с хорошо развитыми боковыми корнями, при этом главный корень слабо выражен или отсутствует (см. рисунок, и).

Таким образом, у 3–7-летних растений на промышленных отвалах в степной зоне происходит пространственная переориентация корневой системы: первоначально вертикальная стержневая трансформируется в горизонтально-поверхностную. Шнуровидные диатропные корни у растений репродуктивного возраста на отвалах отличаются низкой бежистостью. Направление роста корней растений на породных отвалах регулируется сочетанием условий, прежде всего эдафических, которые здесь очень гетерогенны. В условиях отвала хемотропическая, термотропическая и особенно гидротропическая реакции корневых систем растений часто вступают в противоречие с положительным геотропизмом. Этим можно объяснить формирование большого количества плагиотропных корней на породных отвалах. Благодаря поверхностному горизонтальному расположению корневой системы растения используют большие объемы слоя породы, прошедшего процесс физико-химического выветривания. В этом слое

образуются небольшие понижения и углубления (3–10 см), куда намывается мелкозем. Этим можно объяснить локальное образование мочек на боковых полускелетных горизонтальных корнях, на которых возникают зачатки боковых корней второго порядка ветвления. Они трогаются в рост в благоприятных условиях мелких понижений, проявляя гидротропизм и хемотропизм. У древесных растений зачаток бокового корня может пребывать в состоянии покоя на протяжении нескольких лет и развивается на участках корня, возраст которых достигает иногда несколько десятилетий [3].

Неглубокое залегание корней древесных растений в поверхностном слое породы отвалов можно объяснить тем, что этот слой прошел этап физико-химического выветривания и в результате этого стал заметно более структурированным, чем нижние слои породы. Распад породы под влиянием влаги и перепада температур на мелкие фрагменты в верхнем слое отвалов с образованием мелкозема, занос растительных остатков и пыли с сопредельных территорий делает этот слой более пригодным для произрастания растений.

Разветвленность корней в морфологическом смысле у исследуемых молодых растений невысокая. Часто боковые корни развиваются в одном–двух направлениях. Вследствие этого корненасыщенность породы отвала вокруг растения неоднородна. Здесь редко наблюдается рост боковых корней во всех направлениях от стержневого корня, что свойственно растениям в благоприятных почвенно-гидрологических условиях. Интенсивное разветвление корней в этих условиях происходит только в первые годы жизни древесных растений. На активность корнеобразования, особенно ответвлений боковых корней, влияют климатические условия года, прежде всего влажность почвы [3].

Отсутствие корневых мочек на меловых отвалах у более возрастных растений *Cotinus coggygria* с уже сформированными боковыми корнями может быть связано с процессами естественного отмирания части сосущих и

ростовых корней. Как показывают наблюдения за ростом корней плодовых растений, на отмирание и появление таких корней сильное влияние оказывают иссушение и последующее увлажнение почвы [4].

У всех трех исследуемых видов на разных отвалах, отличающихся по механическому и физико-химическому составу породы, изредка на боковых корнях первого порядка встречаются корни вертикальной ориентации или якорные корни. Активный рост боковых поверхностных корней у растений на промышленных отвалах следует рассматривать как адаптивную реакцию на уровне всего организма по дистанционному перемещению со сущей поверхности корней в новые более благоприятные эдафические локалитеты. В поверхностном слое породы отвалов из-за ее распада в процессе физико-химического выветривания увеличивается содержание глинистых и илистых частиц, что повышает как влагоемкость, так и водоудерживающую способность слоя. По этой причине локальные места скопления упомянутых частиц на поверхности отвалов могут быть фактором, определяющим направленность роста корней. Адаптивная пластичность проявляется в постоянном омоложении части корней за счет отмирания и возобновления сосущих и ростовых корней с образованием новых мочек далеко от осевого или стержневого корня. Поверхностное расположение корней на отвалах способствует более раннему их росту весной в прогреваемом верхнем слое породы, в котором еще сохраняется накопившаяся влага.

Особенности развития корневой системы растения из семени, случайно попавшего на промышленный отвал, связаны с локальной благоприятностью мест обитания и видовыми возможностями перестраивать архитектуру корней в зависимости от почвенно-гидрологических условий. Активное развитие поверхностной горизонтально ориентированной в одной–двух плоскостях корневой системы может быть свидетельством благоприятности локалитета по комплексу эколого-эдафических условий для формирования боковых корней

именно в этих направлениях. Изменение ориентации корней древесных растений в породе промышленных отвалов или проявление тропизмов в ответ на действие различных односторонне раздражающих факторов эдафотоп является специфичным. Односторонняя пространственная ориентация корней, как и спорадическое формирование мочек, очевидно, связаны с проявлением гидротропизма и хемотропизма. Это можно рассматривать как своеобразный перенос ростовых и сосущих корней в места, где накапливаются вода и питательные вещества. Отсутствие на далеко выходящих за проекцию кроны растения шнуровидных горизонтальных корнях боковых корней разного порядка ветвления, как и корневых мочек, свидетельствует, вероятно, о геномном подавлении активности инициальных клеток, из которых закладываются эти корни. Важным фактором, влияющим на морфоструктуру корневой системы растений в породе отвалов, является травмотропизм. Этим можно объяснить множественные изгибы полускелетных и скелетных корней у многих растений, а также изменение роста стержневого корня под прямым углом на определенной глубине. Очевидно, что для исследуемых видов термотропические реакции, определяющие устойчивость корневых систем растений к высоким положительным температурам в летнее время и низким температурам зимой на породных отвалах менее значимы, чем гидро- и хемотропические.

Расположение корней ближе к поверхности — это проявление адаптивной стратегии вида для максимально эффективного использования оптимального температурного уровня при достаточной влагообеспеченности в весенний и осенний периоды. С другой стороны, поверхностное расположение корневой системы может быть связано с возможностью отдельных видов использовать конденсированную влагу на породе отвалов, которая может образовываться в теплое время года из-за раз-

ницы между температурами воздуха и породы в темное время суток.

Выводы

Установлено, что для устойчивых, возобновляемых семенным путем на промышленных отвалах степной зоны *Padellus mahaleb*, *Cotinus coggigria* и *Armeniaca vulgaris* характерна высокая пластичность корневых систем в молодом возрасте. С 3—7-летнего возраста у этих видов на меловых, угольных и железорудных отвалах формируется в основном поверхностная корневая система с преобладанием горизонтально расположенных боковых корней. Стержневой корень часто слабо выражен и не проникает в породу глубже 20 см, лишь изредка — до 30 см. Этим видам присуще расположение боковых корней в одной—двух плоскостях с локальным образованием ростовых и всасывающих корней. Корненасыщенность породы крайне неоднородна, так как растения на отвалах четко проявляют гидро- и хемотропизм.

1. Зайцев Г.А., Моторина Л.В., Данько В.М. Лесная рекультивация. — М.: Лесн. пром-сть, 1977. — 128 с.
2. Зеуровская Л.Н. Анатомо-физиологическое исследование всасывающих ростовых и проводящих корней древесных пород // Тр. Ин-та леса АН СССР. — 1958. — Т. 41. — С. 5—32.
3. Калинин М.И. Корневедение. — М.: Экология, 1991. — 173 с.
4. Колесников В.А. Корневая система плодовых и ягодных растений. — М.: Колос, 1974. — 510 с.
5. Коршиков И.И., Данильчук Н.М., Красноштан О.В., Мазур А.Е. Жизненная форма и вегетативное разрастание тополя белого (*Populus alba* L.) на железорудных отвалах Криворожья // Интродукция растений. — 2008. — № 3. — С. 105—112.
6. Коршиков И.И., Пастернак Г.А., Красноштан О.В. Естественное возникновение пионерных парцелл древесных растений на промышленных отвалах степной зоны Украины // Вісн. Дніпропетр. держ. аграр. ун-ту. — 2012. — № 1. — С. 167—171.
7. Рахтеенко И.Н. Корневые системы древесных и кустарниковых пород. — М.: Гослесбумиздат, 1953. — 108 с.

Рекомендовал к печати П.А. Мороз

І.І. Коршиков ¹,

Г.О. Пастернак ¹, О.В. Красноштан ²

¹ Донецький ботанічний сад НАН України,
Україна, м. Донецьк

² Криворізький ботанічний сад НАН України,
Україна, м. Кривий Ріг

ПЛАСТИЧНІСТЬ КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ СТІЙКИХ ВИДІВ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН, ЯКІ ПОСЕЛЯЮТЬСЯ НА ПРОМИСЛОВИХ ВІДВАЛАХ У СТЕПОВІЙ ЗОНІ УКРАЇНИ

Установлено особливості морфоструктури кореневої системи трьох стійких видів деревних рослин, які поселяються на відвалах вугільних шахт та содового виробництва в Донбасі, а також на відвалах залізрудних кар'єрів Криворіжжя. Для поновлюваних лише насіннєвим шляхом на промислових відвалах у степовій зоні *Padellus mahaleb* (L.) Vass., *Cotinus coggigria* Scop., *Armeniaca vulgaris* Lam. характерна висока пластичність кореневих систем у молодому віці. З 3–7-річного віку у цих видів на відвалах формується здебільшого поверхнева коренева система з переважанням горизонтально розташованих бічних коренів.

Ключові слова: деревні рослини, промислові відвали, насіннєве поновлення, коренева система, морфоструктура.

I.I. Korshikov ¹,

G.A. Pasternak ¹, O.V. Krasnoshtan ²

¹ Donetsk Botanical Garden,
National Academy of Sciences of Ukraine,
Ukraine, Donetsk

² Kriviy Rih Botanical Garden,
National Academy of Sciences of Ukraine,
Ukraine, Kriviy Rih

THE PLASTICITY OF THE ROOT SYSTEM OF RESISTANT WOODY PLANT SPECIES, COLONIZING INDUSTRIAL WASTE DUMPS IN STEPPE ZONE OF UKRAINE

The morphostructure peculiarities of root system have been clarified in three resistant species of woody plants that colonize the dumps of coal mines and soda production in the Donetsk Basin, as well as the dumps of iron ore mines of Kryvorizhzhya. It is established that *Padellus mahaleb* (L.) Vass., *Cotinus coggigria* Scop., *Armeniaca vulgaris* Lam. are renewed only by seeds in industrial waste dumps of Steppe zone and showed high plasticity of root systems from young age. At 3–7 years these species form on dumps surface root system with dominate horizontal lateral roots.

Key words: woody plants, industrial waste dumps, seed regeneration, the root system, morphostructure.