

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК
УКРАЇНИ**

**ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР
І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

Я. Д. Фучило, Я. О. Кирилко

**АГРОЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЛАНТАЦІЙ ТОПОЛІ В УМОВАХ
ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

Житомир - 2025

УДК 631.5:620.952:662.631

DOI: <https://doi.org/10.47414/978-617-8741-19-8>

ББК 42

Агроекологічні аспекти створення енергетичних плантацій тополі в умовах Правобережного Лісостепу України / Я.Д. Фучило Я.О. Кирилко. Житомир: НОВОград, 2025. 135 с.

ISBN 978-617-8741-19-8

Рекомендовано до друку Вченою Радою Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України, протокол № 20 від 20.11.2025 р.

Рецензенти:

Гайда Ю.І., доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри аграрних технологій та лісового господарства Національного університету «Чернігівська політехніка».

Ганженко О.М., доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу селекції та сталих технологій вирощування біоенергетичних культур Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України.

Дебринюк Ю.М., доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри лісових культур і лісової селекції Національного лісотехнічного університету України.

У монографії наведено результати досліджень вирощування енергетичних плантацій тополі в умовах Правобережного Лісостепу України. Представлено дані стосовно впливу сортових особливостей, схем садіння живців і саджанців, густоти стояння рослин на продуктивність і вихід енергії з біомаси тополі.

Рекомендовано для сільськогосподарських підприємств, фермерських та особистих селянських господарств, зацікавлених у вирощуванні деревної енергетичної біомаси.

УДК 631.5:620.952:662.631

ББК 42

ISBN 978-617-8741-19-8

© Фучило Я.Д., Кирилко Я.О.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАНОВЛЕННЯ, СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ПЛАНТАЦІЙНОГО ВИРОЩУВАННЯ ТОПОЛІ.....	6
1.1. Історія становлення плантаційного вирощування деревини тополі.....	6
1.2. Біологічні особливості тополі.....	14
1.3. Технологічні аспекти вирощування тополі.....	24
1.4. Перспективи плантаційного вирощування тополі в Україні.....	31
РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	38
2.1. Природні умови Правобережного Лісостепу.....	38
2.2. Місце проведення досліджень, ґрунти дослідних ділянок та їх характеристика.....	41
2.3. Характеристика метеорологічних умов протягом років проведення досліджень.....	41
2.4. Коротка характеристика культиварів тополі, задіяних у дослідженнях.....	49
2.5. Схема дослідів та методика проведення досліджень..	52
РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЛАНТАЦІЙ ТОПОЛІ.....	60
3.1. Створення енергетичних плантацій тополі однорічними живцевими саджанцями.....	60
3.2. Продуктивність енергетичних плантацій тополі на малогумусних чорноземах Правобережного Лісостепу України.....	71
РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЛАНТАЦІЙ ТОПОЛІ.....	84
4.1. Ресурси сільськогосподарських земель для створення енергетичних плантацій тополі	84

4.2. Екологічна ефективність плантаційного вирощування енергетичної біомаси тополі	87
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА Й ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ТОПОЛІ В ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ.....	92
5.1. Економічна ефективність вирощування енергетичних плантацій тополі.....	92
5.2. Енергетична ефективність вирощування біомаси тополі.....	95
ВИСНОВКИ.....	97
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	100
АНОТАЦІЯ.....	101
SUMMARY.....	106
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	112

ВСТУП

Залежність України від імпортованих енергоносіїв та виснажливість викопних джерел енергії спонукає до дослідження можливостей використання власних ресурсів для отримання дешевої сировини для виробництва біопалива. Серед джерел енергії, здатних до швидкого відновлювання, особливе місце займає деревина, яка споконвік використовується як джерело теплової енергії, поряд з викопними видами енергоносіїв. Для забезпечення масового виробництва деревної біомаси на отримання з неї твердого чи інших видів біопалива створюють спеціальні енергетичні плантації тополі, верби та інших швидкозростаючих деревних рослин [1; 6; 13; 14; 52; 54 та ін.].

Успішність плантаційного вирощування енергетичної сировини тополі залежить від врахування ґрунтово-кліматичних умов, сортових особливостей і застосованих елементів технології створення, вирощування та експлуатації їх плантацій. Це робить актуальними дослідження особливостей росту енергетичних плантацій, добору високопродуктивних і стійких до дії негативних чинників конкретної місцевості видів і сортів тополі та ефективних елементів технології їх вирощування.

Ґрунтово-кліматичні умови, що притаманні більшості регіонів України, сприятливі для вирощування високопродуктивних насаджень тополі. Але, зважаючи на суттєві відмінності між конкретними регіонами за цими параметрами, залишаються не вирішеними низка питань стосовно добору перспективних сортів для окремих регіонів та встановлення ефективних технологічних схем створення енергетичних та захисних насаджень тополі.

Метою проведених досліджень було наукове обґрунтування агротехнологічних аспектів створення енергетичних плантацій тополі в умовах Правобережного Лісостепу України.

РОЗДІЛ 1

СТАНОВЛЕННЯ, СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ПЛАНТАЦІЙНОГО ВИРОЩУВАННЯ ТОПОЛІ

1.1. Історія становлення плантаційного вирощування деревини тополі

Вирощування тополевих насаджень має давню історію [89; 116; 130]. Упродовж багатьох сотень років деревина тополі використовувалася у будівництві, виготовленні різних знарядь, а її посадки – для захисту русл та берегів річок, як вітрозахисні об'єкти тощо [144]. Достовірно з'ясувати коли тополі вперше стали вирощувати у комерційних цілях неможливо. Як вказує R. Stoffel [164], в Європі та Середній Азії тополі вирощуються ще з початку 17 століття, а на заході Північної Америки – у кінці 1800-х [79]. Масова поява спеціальних «тополевих деревних ферм», тобто насаджень тополі плантаційного типу для отримання сировини для паперової та деревообробної галузей у США та Канаді прийшла на середину ХХ століття. Цей напрям господарювання швидко поширився як у Північній Америці, так і в регіонах з континентальним кліматом по інших країнах світу [148].

Так, у США, як уже згадувалося, насадження тополі створювали ще з появою перших переселенців. Після прийняття у 1862 році закону про домоволодіння поширилось висаджування невеликих насаджень тополі навколо дворів з метою захисту та отримання деревини. Створювались також вітрозахисні та полезахисні насадження місцевої тополі дельтовидної, а з початком ХХ століття з цією метою використовувались уже і гібридні тополі та тополі інтродуковані з Європи [116].

У Італії та Франції, плантаційні насадження тополі почали масово вирощувати починаючи з початку 20-х років ХХ століття. З того часу селекціонерами цих держав було виведено значну кількість високопродуктивних культиварів [80, 126], багато з яких успішно вирощувалися і вирощуються зараз в Україні [39]. Зараз площа тополевих плантацій у Франції становить близько 250 тис. га. Тут переважають насадження з відносно щільним розміщенням садивних місць і періодом вирощування 15–20 років. У зв'язку з економічною кризою (2005–2010 рр.) у Франції попит на деревину тополі знизився і обсяги створення нових тополевих плантацій відчутно зменшився [108]. Порівняно з Францією, в Італії насадження тополі займають площу близько 119 тис. га, що майже удвічі менше. При цьому, з 90-х років ХХ століття вона практично не змінюється. В окремі періоди виробництво деревини тополі досягає в Італії 50 % від загального обсягу деревної сировини, при цьому 70 % тополевої деревини припадає на культивар 'I-214' [99].

Здавня вирощуванням тополі займаються у Нідерландах. До початку Другої світової війни з метою забезпечення потреб цієї країни у деревині широко застосовували селекційно поліпшені види місцевих тополь, а після завершення війни поширення набули селекційні роботи з виведення перспективних гібридних клонів. На території країни були висаджені понад 10 тис. експериментальних екземплярів, з яких після 20-ти річних спостережень були виділені та розмножені найбільш швидкорослі та стійкі до дії негативних факторів гібриди, багато з яких вирощуються ще і зараз, як у Нідерландах, так і в багатьох інших країнах Європи, включаючи Україну. Селекційна робота над виведенням нових культиварів у Нідерландах продовжується до даного часу. Зокрема, у 2006 році були зареєстровані 4 нові,

перспективні культивари: ‘Albelo’, ‘Degrosso’ ‘Polargo’, та ‘Sanosol’. На даний час у цій країні зростають близько 16 тис. га тополевих плантацій та майже стільки ж (15 тис. га) захисних насаджень за її участю [166].

У сусідній Бельгії тополя також вважається однією із найперспективніших деревних рослин для вирощування деревини та захисних насаджень. Зокрема, на півночі Бельгії (провінція Фландрія) насадження тополі займають понад 14 % від її загальної території. У них заготовлюється близько 50 % деревини листяних дерев.

Програма з виведення та розмноження перспективних сортів тополі у Бельгії розпочалася з 1948 року. У період з 1972 по 1995 рр. у країні офіційно зареєстровано 15 культиварів тополі, а з 1999 по 2005 рр. – виведено низку гібридів, що стійкі до ураження іржею листя та іншими патогенами і шкідниками. Щорічно у провінції Фландрія створюють понад 300 га нових плантаційних насаджень тополі, що сприяє значному зростанню обсягів виробництва деревини [89].

Близько 190 тис. га, або понад 10 % вкритої лісом площі займають тополеві плантації в сусідній з нами Угорщині. 30 % з них створені з місцевих видів, а 70 % – за участю швидкорослих гібридних форм. Їх в Угорщину було інтродуковано понад 800, а масово використовуються на даний час лише чотирнадцять [83].

У Королівстві Швеція вперше почали масове виведення гібридних форм тополь з 1985 року. Метою їх масового вирощування було більш повне задоволення потреб виробництва у деревині. Протягом 1986–1991 років на 14-ти дослідних плантаціях у південній частині країни були висаджені клони плюсових дерев гібридної осики (*Populus tremula*.×*P. tremuloides*), з них було вибрано 15 найбільш швидкорослих клонів для вирощування в умовах цього регіону [163].

Створення перших біоенергетичних плантацій тополі веде свій початок від часів нафтової кризи 1973 року, яка зумовила значного підвищення інтересу до деревини як легкопоновлюваного джерела енергії. У той час широко розроблялися технологічні схеми стосовно використання деревини як джерела енергії. Проте, отримання необхідних обсягів сировини деревної вимагало розширення наявної лісоресурсної бази. Окремими державами у кінці 70-х років було прийнято спеціальні програми, які передбачали створення «енергетичних» плантацій, зокрема у США така програма передбачала створити такі насадження, на 10 % площі країни із використанням швидкорослих видів, зокрема – тополь [13, 133].

Однією з передових країн світу з вирощування і використання деревної біомаси тополі є сусідня з США Канада [81]. Використання деревини серед вторинних енергетичних джерел у цій країні збільшилося до 6,5 % з 3,5 % у 1970-х роках. Близько 60 % енергетичних потреб целюлозно-паперової промисловості (ЦПП) забезпечується паливом, виготовленим з відходів лісової та деревообробної галузі та за рахунок деревної маси, що вирощена на спеціалізованих плантаціях тополі [81].

У 90-х роках ХХ століття обсяги створення плантацій тополі суттєво зросли. У той час, як у Північній Америці, так і по всій Європі, активізувалися селекційні дослідження тополі, оптимізувалися схеми висаджування дерев, визначалися оптимальні ґрунтово-кліматичні фактори тощо [116, 118]. Стрімке збільшення світових площ під плантаціями тополі [163] було зумовлене: необхідністю зменшення профіциту площ для вирощування продуктів харчування; економічними та екологічними вигодами використання відновлюваних джерел енергії; підтримкою залісення земель, виведених з-під сільськогосподарського користування грантами [3].

Однак, розвиток світового плантаційного вирощування деревини у багатьох європейських та північноамериканських країнах не обмежується вирощуванням деревної маси лише для задоволення енергетичних потреб, а орієнтований також на збереження площі природних лісів, завдяки забезпечення потреб промисловості у деревних ресурсах, деревиною з плантаційних насаджень. Так, станом на 2000 рік у Європі, США і Канаді майже 10 % деревини було заготовлено на спеціальних плантаціях швидкорослих видів, зокрема – тополі. При цьому, 22 % деревини отримано у лісах природного походження, а 34 % – у плантаційних насадженнях.

За деякими прогнозами, до 2050 р. 75 % деревини отримуватимуть у штучних насадженнях, а з них на плантаціях – 50 % [14, 156].

В Україні плантаційне вирощування тополі також має давню історію, хоча, з низки причин, належного визнання цей напрямок господарювання досі не набув.

Найбільш масова кампанія з вирощування тополі у плантаційному режимі, була проведена у 50-х–60-х рр. минулого століття. У це час були проведені значні обсяги роботи з отриманням міжвидових гібридів тополі та верби під керівництвом Н. В. Старової [32; 52; 53]. Для цього було створено 12 селекційних пунктів, отримано близько 600 високопродуктивних клонів, які вирощувалися на 17 сортовипробувальних дільницях. Багато цінних культиварів було висаджено в лісові та полезахисні насадження [47]. За 5 років було створено понад 385 тис. га плантаційних лісових культур, з яких близько 75 тис. га – тополевих [49, 52]. На базі цих випробних насаджень опрацьовано агробіологічні та технологічні особливості створення й вирощування швидкорослих деревних видів, зокрема – тополь. Основні напрацювання того періоду

висвітлені у працях М. І. Ониськів [37], Г. І. Редька [85, 41] та інших провідних науковців.

На жаль, через низку причин, бажаного ефекту від цього масового вирощування отримано не було [52].

Чергова активізація наукових досліджень та практичних робіт з вирощування плантаційних насаджень тополі в Україні відбулася на початку вісімдесятих років ХХ століття. Запуск Херсонського (Олешківського) целюлозно-паперового заводу, проектною потужністю 25 тис. тонн целюлози на рік, потребувала вимагала створення постійної сировинної бази. Було проведено низку досліджень з доцільності вирощування тополі на Нижньодніпров'ї. Окремі розробки були достатньо ефективними і їх впровадили у виробництво [34]. Однак, через загальний економічний спад і розрив міжгалузевих зв'язків, відбулося різке зменшення обсягів виробництва Херсонського ЦПЗ. З часом призупинилися і наукові дослідження з розвитку плантаційного вирощування тополі.

Сьогодні роботи з дослідження технологічних, агробіологічних та економічних аспектів плантаційного вирощування тополі в Україні активізувалися у напрямку вирощування енергетичної біомаси.

Зокрема, значний обсяг досліджень створення та вирощування тополі у плантаційному режимі проведені на базі Боярської лісової науково-дослідної станції Національного університету природокористування та біоресурсів України [36, 51, 52, 55, 56, 58, 59], на базі Новгородсіверської ЛНДС [63], у державних лісгосподарських підприємствах Волинської області [71].

Кліматичні зміни у бік ксерифікації клімату України і світу спричиняють до необхідності пошуку нових систем аграрного бізнесу. ФАО визнає, що питання сталого землекористування, потребує серйозного коригування у

більшості країнах. Перспектива розвитку аграрної сфери на період до 2030 року визначає не лише цілі у сфері сталого розвитку, а й пропонує ефективні засоби їх досягнення. У процесі використання земельних ресурсів зростання ризику негативних явищ спричиняє звернути особливий акцент питанням їх ефективного використання [86; 121; 138].

Оптимізація аграрного виробництва має важливе значення з точки зору виробництва необхідної кількості продовольства та підвищення стійкості сучасних систем землеробства до існуючих викликів. Важливим напрямком раціонального та сталого використання земельних ресурсів є агролісівництво – вирощування на сільськогосподарських землях одночасно як традиційних культур, так і деревних рослин. Дослідженнями встановлено здатність більших чи менших груп деревних рослин покращувати, стабілізувати стан оточуючого середовища, контролювати вплив несприятливих явищ природи та антропогенного впливу [74]. Його автори наголошують, що агролісівництво – це тип екологічно орієнтованого землеробства, що поєднує деревну рослинність із об'єктами сільськогосподарської діяльності (с.-г. культурами або тваринами) для підвищення економічної та екологічної ефективності агроландшафтів. Воно здатне збільшити виробництво біомаси з одного гектара на 40%, завдяки збільшенню площі листової поверхні, що забезпечує вищу ефективність поглинання сонячної енергії, порівняно з ділянками позбавленими дерев. За даними K. Kovács & A. Vityi [128] та S. Fahad et al. [101] одним з основних типів агролісівництва є лісопольові угіддя (silvoarable) – вирощування сільськогосподарських (садових) культур у міжряддях алей дерев певної ширини. При цьому, деревина та плоди дерев дозволяють підвищити економічні показники використання земельних угідь, без значного

зменшення основного урожаю сільськогосподарських культур.

Європейські дослідники, розглядаючи системи агролісівництва різних країн Європи, види дерев, що при цьому використовуються, якість деревини, виробленої в цих системах, а також аналізуючи поточні цілі підтримки та практики Європейського Союзу для агролісівництва, вказують, що агролісомеліораційні проекти мають важливе значення і потребують подальшого ретельного дослідження, яке може призвести до поширення систем агролісомеліорації в Європі. Вони відіграватимуть важливу роль у зменшенні дефіциту деревини. Серед найважливіших деревних видів у європейській агролісомеліорації вважаються горіх чорний і тополя [76; 128].

Більшість дослідників [78; 142; 167] вказують також на високу ефективність агролісівництва з точки зору створення умов для більш успішного виробництва сільськогосподарської продукції. Особливо важливою є роль деревної складової агроландшафтів у підтримці зволоження територій та зниження температурних показників середовища протягом найжаркіших частин вегетаційного періоду.

Дослідження північноамериканських вчених [73] показали високу ефективність, поглинання внесеного з добривами неорганічного азоту з ґрунту корінням дерев у системах агролісомеліорації (лісових пасовищах, полезахисних смугах та алеях), що суттєво зменшує викиди N_2O в атмосферу. Таким чином агролісівництво максимізує ефективність використання азоту і одночасно мінімізує нітратне забруднення повітря і дренажних вод.

Fahad S. et al. [101]. встановили, що дерева, висаджені на орних землях, здатні значно зпідвищити вміст у ґрунті органічного вуглецю, азоту, фосфору, обмінного калію та

інших елементів, що зменшує потребу у внесенні добривах.

Тополя, як найбільш швидкоросла деревна рослина помірного клімату, має значний потенціал не лише у лісовому господарстві та озелененні фітомеліорації, а й у агролісівництві та біоенергетиці [121; 154].

1.2. Біологічні особливості тополь

Тополі, як відомо, відносяться до одних з найшвидкоросліших видів деревних рослин, вони відіграють важливу роль у забезпеченні потреб людства у деревині та інших матеріалах. Зараз найпоширенішим є використання деревини тополі як сировини для целюлозно-паперової промисловості, для отримання сортиментів деревини, фанери тощо. Останнім часом широкого розповсюдження набуває використання тополевої біомаси для виробництва біопалива. Для цього створюються спеціальні біоенергетичні плантації. Крім того, варто відзначити також недеревні корисності від вирощування тополевих насаджень, зокрема такі як: депонування вуглецю та вивільнення значної кількості кисню [187], покращення властивостей ґрунтів, вітро- та водозахисні функції [99], забезпечення біорізноманіття [82, 108].

У різних країнах світу постійно тривають науково-дослідні роботи з отримання шляхом селекції та гібридизації більш досконалих форм тополі, з підвищеною продуктивністю біомаси, здатністю до пбільш ефективного виконання ними інших корисних функцій. Зокрема, масштабні роботи у цьому напрямку проводяться у низці країн Європейського Союзу таких як: Франція [80], Італія [186, 205], Швеція [163, 173], Нідерланди [166], Німеччина [112], Данія [140], Литва та Латвія [175], Естонія [134,

173], Словаччина [123, 125], Угорщина [83], Чехія [135], Бельгія [89], Польща [90, 167] та ін. Схожі науководослідні роботи досить широко практикуються також у Північній Америці: Канада [81, 172]; США [96, 97, 98, 145, 181, 164], в Азії: Китай [76, 105, 180], Індія [131, 132, 149] Іран [127], та ін. Деякі провідні науковці світу вважають, що саме більш широке використання тополі здатне вирішити низку актуальних економічних та екологічних проблем двадцять першого століття [105, 116, 148].

З огляду на вищесказане, науковці здавна і досі проявляють особливу зацікавленість у з'ясуванні особливостей систематики роду Тополя.

Тополі (*Populus* L.) – рід деревних рослин, що належить до родини Вербові (*Salicaceae*) порядку *Salicales* [23]. Ці рослини широко представлені у флорі Північної півкулі, як у субтропічній, так і в помірній зонах. Зокрема представники роду зростають у Північній Америці – від Аляски і півдня півострова Лабрадор до північної частини Мексики, а також низка видів трапляються у Північній Африці, Європі, Гімалаях, Японії та Китаї [154].

Деякі види мають дуже значні за площею ареали. Зокрема тополя тремтяча (*Populus tremula* L.) зростає від північної межі лісу в лісовій та лісостеповій зонах по всій Євразії (рис. 1.1), а її американський родич – тополя осикоподібна (*Populus tremuloides* Michx.) – в схожих кліматичних умовах по всій Північній Америці (рис. 1.2) [23, 76, 121].

Варто згадати про наявність у Північній Америці важливого природного феномену, який існує на південній межі ареалу *Populus tremuloides* і який відомий, як Пандо (рис. 1.3). Це насадження тополі осикоподібної, площею 43 га, що зростає у горах Уосатч в штаті Юта.

Як з'ясували учені, це величезний живий організм, у якого з єдиної загальної кореневої системи зростають 47 тисяч ідентичних за генетипом дерев.



Рис. 1.1. Природний ареал осики (*Populus tremula* L.)

Це дало підстави вважати цей ліс найбільшим живим організмом на Землі, масою в 6 млн. тонн. Він існує уже близько 14 000 років, хоча більшість його дерев рідко доживають до 130 років [118].

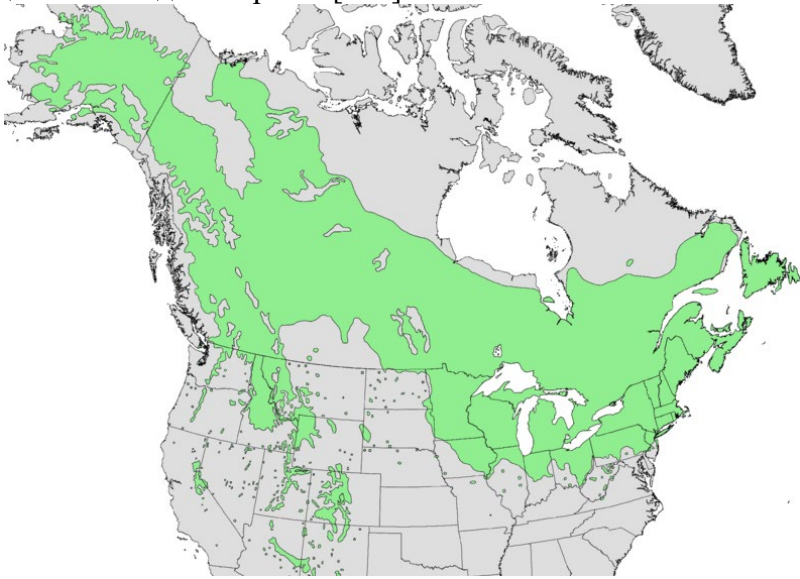


Рис. 1.2. Природний ареал тополі осикоподібної (*Populus tremuloides* Michx.)



Рис. 1.3. Пандо – лісовий масив тополі осикоподібної у штаті Юта, США

На даний час у питаннях класифікації та систематики роду *Populus* існує багато розбіжностей і неузгоджень, які ускладнюють роботу над системою роду, добору продуктивних і стійких видів та зі створення гібридних та інших важливих для виробництва форм.

Значне поширення більшості тополь, часті випадки спонтанної міжвидової гібридизації, тривалий період культивування та легкість розмноження вегетативним способом призвели до значної невизначеності та плутанини в систематиці тополь, що спричинене також появою багаточисельних синонімів і введення до рангу видів гібридів та культивованих різновидів [23, 188].

Згідно міжнародної класифікації, до роду *Populus* входять 5 секцій: чорні тополі (*Aigeiros* Duby.), бальзамічні тополі (*Tasamanaca* Spach.), білі тополі (*Leuce* Duby.),

близькі до них - білоподібні тополі (*Leucooides* Spach.) та туранги (*Turanga* Vge.) [23, 52].

Палеонтологічні дані дозволяють припустити, що перші види роду *Populus* L. сформувалися у Східній Азії (в Китаї і Японії) у тріасовому періоді [23]. Однак, у даний час деякі вчені зараховують їх до інших таксономічних груп. Також існують дані [86], що перші тополі з'явилися у тропіках Північної Америки близько 58 мільйонів років тому. Знайдені скам'янілі з відбитками листків показали, що вони нагадують листя сучасної тополі мексиканської (*P. mexicana* Wesm.) з монотипічної секції *Abaso*, яку запропонував J. E. Eckenwalder [23] у 1996. Протягом пізнього Еоцену сформувалися перші євразійські секції, де види із секції *Turanga* Vge. були поширені в субтропічних регіонах, а перші види секції *Leucooides* Spach. – у межах помірної зони. Також вважається, що предки секцій *Tasamahaca* Spach. та *Aigeiros* Duby, з'явилися під час Олігоцену, сформувавши чіткі секції перед настанням Міоцену. В останньому періоді появилися перші види секції *Leuce* Duby [86].

Кількість видів, що на даний час входять до роду Тополя, коливається, залежно від бачення тих чи інших авторів від 20 до 80 (110) [23, 52]. Класифікація запропонована J. E. Eckenwalder у 1996 році налічує лише 29 видів тополь [23].

Секція туранга (*Turanga* Vge.) складається з трьох видів, котрі поширені в Азії та Північно-Східної Африки. Найбільше значення з цієї секції має тополя євфратська (*P. euphratica* Oliv.), яка, незважаючи на незначну до неї увагу в минулому, через здатність зростати на дуже бідних ґрунтах, витримувати сильну спеку і високу засоленість ґрунту, нині переважає у складі насаджень, створюваних для боротьби з опустелюванням території Північного Китаю [178]. В Україні (*P. euphratica*) зростає лише у

окремих ботанічних садах та відноситься до неперспективним для культивування у наших умовах [52].

Секція білоподібні тополі (*Leucoides* Spach.) теж включає три види. Найбільш поширеним серед них є тополя різнолиста (*P. heterophylla* L.), ареал якої – центральні та східні райони Північної Америки. Решта представників цієї таксономічної групи – *P. glauca* Haines та *P. lasiocarpa* Oliv. природно зростають у помірних регіонах Китаю [23].

Бальзамічні тополі (*Tacamahaca* Spach.) зростають у Східній Азії та в Північній Америці. Найбільш поширеними північно-американськими видами цієї секції є тополі волосистопада (*P. trichocarpa* Torr. et Gray), бальзамічна (*P. balsamifera* L.) і вузьколиста (*P. angustifolia* James). До складу цієї секції також входять кілька поширених у штучних насадженнях види, зокрема: тополя китайська (*P. simonii* Carr.), тополя лавролиста (*P. laurifolia* Ledeb.) та тополя запашна (*P. suaveolens* Fish.).

Види секції чорних тополь (*Aigeiros* Duby), разом з видами вищеописаної секції *Tacamahaca* Spach., складають групу так званих «справжніх» тополь.

Одним із найпоширеніших видів даної секції, з огляду на придатність для плантаційного вирощування, є тополя чорна або осокір (*P. nigra* L.), природний ареал якої включає Центральну і Західну Європу та Північну Африку, та її різновид – *P. nigra* cv. 'Italica', який дуже популярний у плантаційних культурах Північної Америки. Найвідомішим серед північноамериканських представників секції чорних тополь є тополя дельтовидна (*P. deltoides* Marsh.). Серед інших видів цієї секції, що зростають у Північній Америці, варто відзначити *P. fremontii* Wats., *P. Wislizenii* Sarg. та *P. sargentii* Dode., які природньо трапляються на південному заході США та у Канаді.

Північноамериканські та європейські види чорних тополь, в процесі інтродукції, введення в культуру і перехресного запилення, в обох частинах світу утворили велику групу гібридних форм, які відомі під загальною назвою тополя євроамериканська (*Populus* × *euramericana*). На теперішній час ці та інші представники тополі секції *Aigeiros* Duby частіше всього вирощуються в на плантаціях з метою продукування деревної біомаси. Інші дослідники стверджують, що більше 90 % вирощуваних у світі видів з роду *Populus* L. – представники саме секції *Aigeiros* [23].

Обумовлено це швидким процесом їх гібридизації у межах секції та з видами бальзамічних тополь (Tasamaha Sprach.). В селекційному процесі утворюються гетерозисні форми пристосовані до вирощування в помірних та субтропічних широтах, які здатні до вегетативного розмноження та мають з високу адаптивну здатність.

Тополі, що відносяться до секції Тополі Білі (Leuce Duby) поділяються на дві підсекції: осики (Trepidae Dode) та білі тополі (Albidae Dode). В підсекцію Trepidae Dode відносять представників секції північно-американських тополь: тополя великозубчаста (*P. grandidentata* Michex.), осика американська (*P. tremuloides* Michex.), осика європейсько-азіатська (*P. tremula* L.) та осика японська (*P. sieboldi* Miquel.).

До наступної підсекції відносять види та різновиди тополі білої (*P. alba* L.): тополя сіріюча (*P. × canescens* Sm.) та тополя Болле (*P. bollena* Lauche) [23].

Вважаєм за потрібне виокремити поняття «культивар», оскільки надалі в дисертаційній роботі буде часто згадуватись. Культивар (*cultivar*) або культурна форма – це вегетативне потомство однієї вегетативно розмноженої рослини цінної форми або гібриду, яка увійшла в широку практику культивування як клон. Оскільки культивари розмножують лише вегетативним способом вони завжди

мають одну стать. Тому, деякі гібриди тополь виділяються серед інших надзвичайно швидким ростом та цінними властивостями деревинної біомаси, стійкістю до навколишнього природного середовища та біотичних факторів, тому, деякі представники рідус тополя були відібрані для впровадження у біоенергетику і агролісівництво, сам термін отримав назву «культивар» [52].

Протягом останнього часу, вченими, у зв'язку з введенням у виробництво нових цінних культиварів тополь, їх систематика була скоректована і дещо уточнена [23]. Українські дослідники, та науковці із за кордону дискутують в науковому світі про нагальну необхідність проведення змін у систематиці тополь для точного відображення особливостей організації роду *Populus L.* [51, 140].

Представники роду тополя мають суттєві відмінності між собою за морфо-фізіологічними характеристиками (життєва форма рослини, її розміри, форма вегетативних та генеративних органів та інші характеристики) та біоекологічними особливостями (умови місцезростання, адаптація до умов навколишнього природного середовища). Якщо виокремити та виділити основні риси, притаманні майже всьому роду *Populus*.

Рід *Populus L.* – це дерева першої величини, що можуть досягнути висоти більше 40 м та діаметра стовбуру на висті 1,3м – до 2 м [23; 26; 47; 52; 54]. Тип галуження крони – симподіальний.

Пагони у тополі голі, у них відсутнє опушення або воно повстане. Листя просте, форма листової пластинки (еліптична, округла, ромбічна, яйцеподібна, трикутна, ланцетна). Черешки має короткі, або довгі, округлі, можуть бути сплюснені з обох боків. У секції *Leuce Duby* (Білі тополі) зустрічаються види з три-п'ятилопатевою формою

листя. Колір листкової пластинки різняться від виду до виду та має розподіл від ясно-зеленого глянцевого відтінку до темного темно-зеленого, а деколи – сріблястого біломатово-зеленог Листочки на молодих пагонах, так само як і самі пагони, сильно варіюють за формою та кольором від листя і гілок у кроні [52].

Бруньки у роду тополя досить великі, покриті великими лусочками, бувають сильно або слабо смолянисті (залежно від виду), а бувають – опушені ззовні та із середини бруньки.

У рослин роду *Populus* L. під час вегетації розвивається пластична та потужна коренева система. Форма кореневої системи залежить, від умов місцезростання (особливостей ґрунту, глибини залягання під ґрунтових вод та ін.) [52; 54].

Цвітуть представники роду *Populus* L ранньою весною, ще до розпускання листя, на суцвіттях які являють собою колосоподібні волоті, завдовжки 10-15 см. Квітки тополі не містять нектару, тому не приваблюють бджіл. Тип запилення анемофілія – проходить за допомогою перенесення пилку вітром. Пилок має властивість швидко дозрівати (1–2 дні), він сухий, дрібний, та швидко висипається із пиляків. Переважна більшість видів тополь починають цвітіння у 10–15-річному віці [154].

Насіння у представників роду тополь завдовжки 1–2 мм, світло-зеленуватого або світло-сірого кольору, вкрите воно тонкою плівкою та має невеликий зародок. У ньому відсутній запас поживних речовин [52]. У 1 г міститься бязько 5-10 тис. насінин. За сприятливих умов, насіння швидко проростає (12–15 годин), але у сухих умовах швидко втрачає схожість [52; 54].

Ефективним способом розмноження видів роду тополь в господарствах є вегетативний (живцювання), до того ж усі тополі формують кореневі і прикореневі відростки

(окрім секції тополь *Leuce Duby*) [188]. Більшість видів розмножуються кореневими відростками, утворюючи кореневу поросль, хоч у представників видів секції білоподібних та чорних тополь цей спосіб зустрічається дещо рідше [23].

Рослини тополі відомі своєю інтенсивністю росту та здатністю накопичувати деревну біомасу за короткий відлік часу. Стверджують, що таку особливість тополь спричиняє наявність у них декількох біологічних властивостей. По-перше, у меристемній тканині рослин тополь діяльність проходить більш інтенсивно, що призводить до більш швидкого поділу клітин та їх енергії росту, порівнюючи з іншими деревними рослинами, і по-друге – розвиток та ріст пагонів у тополь може тривати впродовж усього вегетаційного періоду [48; 49].

Адаптаційна здатність рослин до пристосування в різних кліматичних умовах у видів та гібридів роду *Populus* L. значно варіює, проте всім для швидкого росту обов'язково потрібні поживні речовини, і їх кращий ріст стає при достатньо зволоженому ґрунті [116]. Окрім того, рослини тополі чутливі до ступеню кислотності, засолення та щільності ґрунту [96].

Майже всі види тополь світлолюбні, і через те їх вважають «піонерами», які перші серед інших видів рослин заселяють ділянки, які утворилися після проведення суцільних рубок деревостанів та у результаті пожеж.

Кращі прирости деревної біомаси у тополь спостерігають у вегетаційні періоди, коли сума ефективних температур за цей період активного росту рослин сягає не нижче 900–980°C. Однак, декотрі види, в тому числі із секції Тополі Білі, мають здатність рости і у дещо холодніших умовах. Так, нижня південна межа *P. tremuloides* Michx., орієнтовно, визначається ізотермою

у 24°C середньомісяною температурою липня, а північна межа визначається середньорічній сумі денних температур у 700 °С, де граничне значення температури сягає 5,6°C [108]. В межах даного діапазону види тополь зустрічають на територіях, де значення річної кількості опадів більше значення сумарного випаровування [23]. Деякі види роду *Populus* L. пристосувалися до холодніших кліматичних умов шляхом зменшення періоду свого росту (від 60 до 100 днів) і завершенням його в першій декаді серпня (порівнюючи з Україною, де для більшості видів тополь він має тривалість від 120 до 140 днів на півночі країни та від 180 до 190 днів – на півдні [52]).

Нездерев'янілі пагони та річний приріст рослин тополь надзвичайно чутливі до пізніх весняних та ранніх осінніх заморозків. Ознаками цього є потемніння та некроз верхівок пагонів, що не відновлюються. З віком у деяких видів стійкість до мінусових температур зростає і вимерзають однорічні пагони і верхівкові бруньки тільки в найсуворіші зимові періоди.

Тополя – це найбільш швидкоросла деревна рослина у помірній зоні. Ареал поширення їх на території України характеризується наявністю доступної ґрунтової вологи, яке спричиняє їх обмежене розміщення (заплави, долини рік, інші прісні водойми).

1.3. Технологічні аспекти вирощування тополі

Через те, що історія вирощування тополь у плантаціях досить давня, у світі утворилися певні теоретичні засади з їх використання, які створені на основі довготривалих наукових моніторингах та емпіричному досвіді.

В залежності від цілей вирощування рослин тополі, сформувалось декілька типів плантацій, які повинні забезпечувати певні потреби в деревній сировині,

недеревних рослинних ресурсах та в садивному матеріалі. Ученими виділено деякі аспекти вирощування кожної з таких плантацій, звернено увагу на особливостях добору культивованих форм, від яких залежить значення продуктивності та якісних показників розвитку плантаційного насадження тополі того чи іншого типу.

Плантаційне вирощування, в загальному розумінні, визначається як спеціалізоване виробництво з вирощування енергетичних видів рослин для заготівлі деревної сировини у великій кількості та в короткі терміни, у порівнянні із традиційним лісовирощуванням [56]. Ю.М. Дебринюк [10] характеризує плантаційні насадження як штучно створені рослинні угруповання, що розвиваються під контролем людини з ціллю на інтенсивне промислове одержання спеціальної деревної продукції у збільшених обсягах і скорочені строки, ніж у лісових культурах, що вирощуються за традиційною технологією. Thomasius H. [12, 171] під терміном «плантація» має на увазі насадження, призначене для промислового виробництва деревної продукції, називаючи їх «деревними фабриками».

Наведені вище визначення терміну «плантація» включають і визначають не тільки біоенергетичні плантації, які в останні роки стали дуже популярними, а передбачають декілька напрямів, від вибору яких залежать наступні етапи зі створення плантації, вирощування та проведення експлуатації таких насаджень.

До важливих типів (напрямів) вирощування плантацій відносяться:

– вирощування цільових сортиментів рослин тополі у скорочені терміни, що характеризується використанням науково-обґрунтованих систем та способів створення, догляду впродовж вегетації й удобрення насадження плантацій і дозволяє вдвічі вкоротити (порівнюючи з

загальноприйнятими віком проведення заготівлі продукції при рубаннях головного користування) термін вирощування рослин, не втративши продуктивності насадження;

- одержання деревної біомаси для експлуатації у біоенергетичних цілях, виробництва пеллет;

- формування продукції недеревних ресурсів; виробництво садивного матеріалу на маточниках [84, 97, 146].

Насамперед, при плануванні плантацій тополі того чи іншого типу потрібно врахувати:

- характеристику генетичних особливостей культивару, що використовується;

- ґрунтові умови місцезростання (рН, уміст поживних елементів та ін.);

- кліматичні умови місцевості (температурний режим, сума опадів та ін.);

- заходи з догляду за насадженням (чи потрібне зрошення та внесення добрив);

- режим вирощування рослин у насадженні.

Ведення діяльності на маточних плантаціях (маточниках), як і використання енергетичних тополевих насаджень, ґрунтується на безверхівковому режимі, який полягає у зрізуванні приросту останнього року культиварів і дає можливість уже на наступний рік одержати велику кількість порослевих пагонів для біомаси чи заготівлі живців з кожної рослини.

Висаджують тополеві маточники на родючих достатньо зволжених ґрунтах після проведення глибокої (до 40 см) оранки [10; 12; 19; 26; 37]. Краще всього розміщувати їх у понижених територіях (бажано вологого гіротопу). Розміщення посадкових місць частіше використовують квадратне, задля забезпечення максимальної механізації на всіх етапах вирощування

[170]. Кількість садивних місць на одному гектарі визначається індивідуально під кожен конкретний випадок і залежить від умов місцезростання (на бідних ґрунтах живці саджають густіше, на родючих – рідше). Отже, на одному гектарі маточної плантації можливо виростити від 4–5 тис. до 10 тис. рослин [84, 115, 145, 170].

За перший рік вирощування догляд за насадженням включає вчасне розпушування верхнього шару ґрунту, знищення бур'янів, контроль збудників хвороб та шкідників. На кінці першого вегетаційного сезону проводять обрізку «на пень» молодих рослин маточного насадження, одразу після припинення сокоруху. Нарізання садивного матеріалу (живців, пагонів) розпочинають вже на 2–3 рік після створення насадження. Переважно, експлуатують маточне насадження упродовж 4–5 років [68; 70] в якому щорічно зрізують річний приріст і заготовляють із нього живці. За даними різних дослідників [68, 146], щорічний вихід стандартних живців (завдовжки 25 см) змінюється в межах від 250 до 550 тис. шт./га та залежить від використаного культивуару, ґрунтових умов ділянки, схеми розміщення садивних місць, віку рослин в насадженні, схеми догляду, тощо. По закінченню експлуатації плантації маточних рослин, рекомендується проведення сівозміни та заміни маточних рослин.

Дещо подібна до описаної вище агротехніка вирощування біоенергетичних тополевих плантацій. Розміщення садивних місць у таких плантаціях прямокутна, з більш широкими міжряддями, що сягають до 2–3 м (залежно від машин та агрегатів, що будуть використовуватися) та більш густим розміщенням рослин у рядку, яке дозволяє вирощувати до 10–12 тисяч рослин на один гектар рослин [43, 59, 84, 118, 145, 181].

Термін вирощування становить близько 21 року та включає в себе до семи зборів біомаси.

Кожні 2–3 роки проводять зрізування приростів, переважно взимку за використання спеціалізованої техніки. Наступного року навесні насадження відновлюється через властивість тополі утворювати поросль. Якість та кількість її у першій половині терміну експлуатації плантації, завжди зростає після зрізування надземної частини рослин на цій плантації, проте з віком (через 15–20 років) зменшується. Отже, після сьомого збору урожаю (іноді після шостого) рослини на плантації потрібно викорчовувати та провести на цій ділянці сівозміню [181].

У біоенергетичних плантаціях рубання рослин тополі може дотримуватись традиційної, рекомендованою ФАО методики, коли у зрізаних рослин на початку збору урожаю обрізають гілки, а потім вже всю деревну біомаси пускають на біопаливо [106] (у випадку, якщо окремі дерева досить великі) чи для невеликих двох-трьохрічних насаджень з використанням більш економічно доцільного, спеціалізованого комбайна (харвестера) [81, 94, 186, 115]. Сезон збору урожаю біомаси проводять залежно від можливості машин та механізмів переробляти деревну біомасу на чіпси у листяному та безлистяному станах рослин плантації, тобто упродовж вегетаційного періоду, чи тільки по його завершенню, коли рослини в стані спокою (пізня осінь – рання весна) [144]. З одного гектару енергетичної тополевої плантації за відповідної технології можна за рік одержати від 8 до 15 тонн біомаси (сухої речовини), а на ділянках з родючими ґрунтами окремі клони набирають до 16–20 тонн [183].

Особливо важливим при виборі місця для створення біоенергетичних тополевих плантацій є можливість їх садіння на великих площах, які розташовані навкруги підприємств, що спеціалізуються на переробці рослинної біомаси [38; 52; 54; 56].

Утворення плантацій тополі з метою продукування цільових сортиментів передбачає вдвічі (15–20 років) коротший термін вирощування тополевого насадження, у порівнянні із передбаченим Лісовим Кодексом України [25] терміном технічної стиглості насадження в лісах. Цей підхід потребує використання науково-обґрунтованих систем створення плантацій, доглядів й удобрення насадження.

Обробіток ґрунту на ділянці проводять за кілька етапів відповідно до системи чорного або сидерального пару задля забезпечення оптимальних умов вирощування тополевого насадження.

Під час садіння використовують якісний садивний матеріал (живцеві саджанці або здерев'янілі зимові живці), висаджують по 100–2500 штук на один гектар, відповідно до типу ґрунтових умов місцевості [145, 170].]. За інформацією Г. І. Редька [52], на зволжених, добре забезпечених поживними речовинами ґрунтах, максимальну продуктивність у двадцятип'ятирічному віці тополеві насадження досягають при квадратному розташуванні рослин, з відстанню між ними близько 4,0 м, яке відповідає початковій густоті стояння 625 рослин на гектар.

У бідніших ґрунтових умовах тополевої плантації, максимальна урожайність забезпечується дещо вищою початковою густиною садіння – близько 2,5 тисяч рослин на один гектар (схема садивних місць – 2,0*2,0 м) [56, 59, 84, 92, 170].

За перші 2–3 роки від початку створення тополевої плантації потрібно провести догляди у рядах та міжряддях стільки разів, скільки б на кожній окремій ділянці це забезпечило очищення від сегетальної рослинності, сприяло оптимізації структури верхнього шару ґрунту. Високі потреби рослин тополі у елементах мінерального

живлення спричиняє необхідність внесення науково-обґрунтованих доз мінеральних добрив. Вченими [170, 174] відмічено збільшення об'єму центрального пагону втричі через один вегетаційний сезон і вдвічі – через чотири, у випадку використання азотних, фосфорних, калійних добрив поєднуючи з мікроелементами з першого року після садіння тополевих плантацій. Задля досягнення максимального ефекту слід підживлювати до етапу змикання рослин в насадженні та в поєднанні із використанням гербіцидів (чи контролем трав'яної рослинності механізацією).

Продукування цільових сортиментів рослин тополі у вкороченому режимі вирощування не передбачає проведення обрізок догляду насадження, тому що практикується садіння та вирощування тільки тієї кількості дерев, яка підлягатиме зрізуванню.

Виключенням є проведення санітарної обрізки догляду, яка передбачає видалення хворих і пошкоджених рослин. Особливо важливе значення при догляді за тополевіми плантаціями, з огляду на вирощування високої якості отримуваної деревної сировини, особливо при веденні господарства на пиловник, має місце обрізка нижніх сухих і ослаблених гілок [56, 68].

Зрізування рослин під час збору урожаю проводять відразу після настання технічної стиглості насадження (від 15 до 25 років). Вірогідна продуктивність за такого режиму вирощування плантацій тополі становить від 250 до 400 м³·на один гектар [52, 55, 170]. Виділяють два можливих напрями після подальшого використання зрубу: корчування пнів рослини та проведення сівозміни, чи почати вирощування другої генерації, продуктивність якої, в окремих випадках сягає від 250 до 460 м³·на 1 га [170].

1.4. Перспективи плантаційного вирощування тополі в Україні

Плантаційне вирощування деревної біомаси тополі – надзвичайно перспективний сучасний напрямок ведення господарства. Майже всі країни світу, що займаються вирощуванням лісу, зокрема вирощування тополь є першочерговим завданням лісівництва. Це зумовлено перевагами плантаційного вирощування над традиційним веденням лісового господарства у лісових насадженнях та вигодами економічного та екологічного характеру від його впровадження у виробництво:

- зменшення інтенсивності ресурсного тиску на інші категорії лісів;
- використання деревної біомаси як джерела відновлюваних енергоресурсів;
- висока урожайність насаджень плантацій;
- вкорочений термін вирощування;
- змога культивувати на ділянках непридатних для використання в інших цілях;
- зростання цікавості іноземного інвестування;
- збільшення відсотку залісненості країни;
- збільшення продуктивності насаджень;
- інтенсифікація процесу вирощування продукції біомаси та ін.

Попри досить давньої історії плантаційного вирощування, передусім, при оптимізації та розподіленому використанні деревних ресурсів для задоволення суспільних потреб у деревній та енергетичній сировині, бувають як сторонники так і противники цього підходу в Україні та за кордоном.

Певна річ, вплив світової лісової політики використання трансформаційного підходу в Україні досить великий, але наша країна за своїми природними ресурсами,

особливостями клімату, політичним та економічним станом є абсолютно відмінною від інших країн, зокрема європейських держав, а тому, деякі світові концепції є неефективними, або ж не завжди актуальними у наших умовах [30]. Через це, плантаційне вирощування необхідно підлаштувати під умови і можливості саме України, шляхом вирішення тих дискусійних питань, що ускладнюють або стримують його розвиток.

На теперішньому етапі становлення трансформаційного підходу можна виділити декілька проблем, вирішення яких допоможе інтенсивному впровадженню даного напрямку вирощування:

- відсутність нормативно-правової бази та дієвих інструментів стимулювання його використання;

- потреба врегулювання юридичних питань можливості експлуатації земель різного призначення для вирощування деревини;

- необхідність удосконалення технологій вирощування деревних плантацій, пристосованих до кліматичних умов України, в утворенні мережі дослідних полігонів з дослідження оптимальних агротехнологічних та агротехнічних вирішень зростання усіх видів плантаційних насаджень деревних рослин при різних природно-кліматичних зонах [33; 56; 52];

- потреба розроблення науково обґрунтованих рекомендацій технологій створення і подальшого вирощування деревних плантацій різних типів;

- недостатньо належна інфраструктура виробництва та переробки деревної сировини одержаної на плантаціях і ринках її збуту;

- необхідність у поширенні та подальшому впровадженні успішного досвіду вирощування насаджень плантацій існуючими суб'єктами господарювання та надання їм субсидійних коштів [5];

Достеменно відомо, що створення плантаційних насаджень в Україні можна проводити як на землях лісового фонду, так і на територіях сільськогосподарського призначення, непродуктивних угіддях. Однак, вирощування лісосировинних плантацій повинне бути не загнане у збиток існуючим налагодженим фабрикам лісогосподарських та сільськогосподарських підприємств, а зайняти своєрідну «нішу». На жаль, без практичного правового забезпечення виділення земель під створення плантаційних насаджень гальмується чинним законодавством [2; 5; 6; 31; 32].

На теперішньому етапі розвитку плантаційного вирощування в нашій країні необхідно провести ряд досліджень для одержання більш точної та деталізованої інформації можливостей вирощування високопродуктивних плантацій тополі в умовах країни, аби не бути неогрунтованими і не просто екстраполювати закордонний досвід.

Потрібно в найкоротші терміни сформулювати нормативні та науково-методичні рекомендації з експлуатації швидкоростучих видів для вирощування плантацій, тому що ті, які існують зараз у державі недостатньо зважають на особливості прискореного вирощування деревної біомаси. Окрім того, в Україні варто узгоджувати національну енергетичну стратегію із стратегією європейських держав, позиція країни має узгоджуватись при розробленні документів, що мають відношення альтернативного енергетичного розвитку Європи та інших світових держав [3, 5, 6].

Загострення енергетичних проблем у країні потребує пошуку нових альтернативних джерел енергії, серед яких є деревна сировина, вирощена на енергетичних плантаціях.

Зростаюча цікавість до біоенергетичних плантаційних насаджень веде за собою потребу у дослідженнях,

направлених на розроблення нових продуктивних клонів, гібридів, стійкіших до збудників захворювань та несприятливих умов клімату і місцезростання, з метою підвищення кількості та якості виходу біомаси.

Зокрема, за минуле десятиліття у країні роботи спрямовані на вирішення вищезазначених проблем стали більш активними.

Зараз в Україні вирощування та експлуатація деревної сировини як джерела з найбільш доступних відновлювальних джерел отримання альтернативної енергії, знову набуває популярності в енергетичній сфері. Станом на сьогодні, альтернативою для України є прискорення експлуатації лісового господарства у сенсі переходу від традиційного для країн з високим відсотком залісненості заготівлі деревної сировини в природних або штучно створених насадженнях до спрямованого вирощування цієї біомаси на деревних плантаціях.

Україна має досить високий енергетичний потенціал можливостей, які за підрахунками БАУ у 2011 році становили 38,24 тонн умовного палива (т.у.п.), з яких 1,87 т.у.п – деревна сировина, а 10,3 т.у.п – деревні енергетичні культури (тополя, верба та ін.) [6].

Вченими, лісівниками та підприємцями України виконана досить велика робота із впровадження та розвитку біоенергетичної галузі, проводять основні фундаментальні дослідження з вирощування швидкоростучих деревних плантацій, одержані результативні дані які стосуються технологій створення плантацій та вирощування тополевих насаджень на територіях Східного та Центрального Полісся, Степової [51, 52, 54, 55, 56, 58] та Лісостепової [10, 11, 12, 13, 14] ґрунтово-кліматичних зон.

Державні аграрні, приватні компанії та лісгосподарські підприємства змогли провести

налагодження міжнародного співробітництва, яке дозволяє залучити іноземне інвестування і прискорити виробництво деревної біомаси та цільових сортиментів деревної сировини.

Так, приватна компанія «Salix energy» (що має виробничі площі – понад 2,5 тис. га) [153] перша в Україні почала експортувати свою продукцію переробки деревної біомаси для використання твердопаливних котелень. Наприклад, у смт Іваничі Волинської області було збудовано три біопаливні котельні, які дозволяють повністю відмовитись від нині природного газу, що найбільше використовується в енергопаливній системі України.

Весь час зростає перспективність переходу населення не тільки однієї області, а і всього поліського регіону на експлуатацію деревного біопалива, про що свідчить уже повністю налагоджене виробництво твердопаливних котлів у м. Ковель та у м. Житомир. Головною перевагою такого виробництва є те, що рух коштів циркулюватиме у межах країни, мається на увазі те, що населення забезпечуватиметься робочими місцями, а виробництво продукції, продукції зберігатиметься в територіально незначних кордонах, що, в свою чергу, зменшить собівартість кінцевої продукції біоенергетичної галузі.

Зокрема, поширення плантаційного вирощування в Україні призвело до системної організації підприємств з переробки одержаної деревної сировини, що є досить важливо, оскільки плантаційні насадження потрібно формувати з територіальною прив'язкою до потенційного споживача.

Загалом, як показав досвід [33] при створенні плантаційних насаджень, насамперед, потрібно чітко визначити, чи буде потрібна та вирощена деревна сировина у майбутньому споживачам, а тому, ще на етапі

розроблення проекту такого насадження потрібно шукати замовника та потенційного споживача виробленої продукції.

В Україні кількість підприємств зосереджених на використанні вирощеної на плантаціях деревної сировини поступово зростає [6]. Усього, Україна виробляє до 200 тис. тон пеллет у рік (близько 95–97 % експортується в країни ЄС) та нараховує більше 30 підприємств – виробників обладнання для продукування та експлуатації твердого біопалива. Великий потенціал закладений на виробництво продукції рідкого біопалива. В цілому, біоетанол можна виробити в Україні на шістнадцяти заводах. У 2012 році було продуковано 128 тис. тон при потребах 250 тис. тонн [5; 6].

Зокрема, відмічено збільшення виробництва продукції деревообробними фабриками. На сьогодні, до найважливіших виробництв у деревообробній галузі віднесено виробництво фанери, деревно-стружкових плит, меблів, паперової продукції [6]. Враховуючи, що за минулі десять років рівень виробництва продукції паперу та паперових виробів, виготовлення меблевих товарів зростає (за 2014 рік експортування деревної продукції та продуктів її переробляння сягає 2,12 млрд долларів США, з яких майже 40% займають папір та паперові вироби [5; 178]), з часом необхідність виникне у забезпеченні галузі деревною сировиною, вирощування яких на деревних плантаціях у скорочені терміни сприятиме уникненню дефіциту продукції.

Висновки до розділу 1:

1. Тополя, як одна з найбільш швидкорослих деревних рослин світу здавна культивується для отримання деревини та виконання інших корисних функцій. Протягом останніх десятиліть її насадження почали вирощувати для отримання енергетичної біомаси.

2. В Україні роботи з плантаційного вирощування енергетичної тополі на даний час помітно інтенсифікувалися. Для забезпечення позитивних результатів, прикладні роботи повинні мати належний науковий супровід. Це робить актуальними дослідження особливостей росту, розвитку та продуктивності енергетичних плантацій, добору високопродуктивних і стійких до дії негативних чинників видів і сортів тополі та застосування ефективних елементів технології їх вирощування.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Природні умови Правобережного Лісостепу

Правобережний Лісостеп України розташований на території п'яти адміністративних областей: Вінницької, Житомирської (південна частина), Київської (південно-західна частина), правобережна частина Черкаської та північна – Кіровоградської. Регіон досліджень простягається з заходу на схід на 450 км, а з півночі на південь – на 200 км, [27].

Територія регіону досліджень належить до атлантико-континентальної кліматичної області. Клімат регіону – помірно континентальний із сприятливими для росту рослин температурними умовами та достатнім зволоженням. Протягом року середньомісячна температура коливається від -4°C (у січні) до $+18^{\circ}\text{C}$ (у липні). Абсолютний максимум температури повітря становить $+39^{\circ}\text{C}$, а мінімум – -36°C . Середня сума річних опадів знаходиться в межах 500–600 мм. Найбільше опадів (65–76%) випадає протягом вегетаційного періоду (квітень–вересень). Гідротермічний коефіцієнт змінюється у межах від 1,2 – на півдні до 2,0 на півночі регіону. Відповідно, північна частина регіону – більш вологіша та холодніша, а південна – тепліша та сухіша. Періоди без випадання опадів тривають від 20 до 30 днів., а без морозні – 180–190 днів. [27; 50].

Характерне для регіону мозаїчне нагромадження низинних та долинних територій з розчленованими підвищеннями, лісовими та орними угіддями спричиняє значні перепади у зволоженості, теплозабезпеченості та

вітровій діяльності.

Початок формування ландшафту Правобережного Лісостепу прийшовся ще на неогеновий період, що було пов'язане, насамперед, із поступовим трендом клімату до зростання його континентальності. Внаслідок цього, колишні тропічні та субтропічні ліси змінилися саванами (тропічним лісостепом). Пізніше, у зв'язку з похолоданням клімату, савани еволюціонували й перетворилися у лісостепові ландшафти помірних широт. Їх структура в основному визначилася історією розвитку території протягом антропогену. Вигляд ландшафтів суттєво змінився за історичний час у процесі їх інтенсивного господарського використання. Вони сформувались на широко розповсюджених у цьому регіоні лесових породах, які легко піддаються впливу водної ерозії. У зв'язку з цим, характерною рисою ландшафтів є наявність ярів і балок, особливо – на підвищеннях і на крутих берегах річок [50].

Сучасних рис місцевий ландшафт почав набувати з XVIII ст., у зв'язку з інтенсифікацією господарської діяльності. На сьогодні деревна рослинність збереглася тут в основному на крутосхилах, у балках, на водорозділах, у річкових заплавах та інших незручних для ведення сільського господарства землях. Лісові масиви займають відносно невеликі площі, головним чином уздовж берегів річок, у зв'язку з чим 50 % лісів мають велике водоохоронно-захисне, гідрологічне та рекреаційне значення. Найбільші масиви лісів представлені свіжими та вологими дібровами – дубово-широколистяними, змішаними за складом та складними за формою насадженьми, що зростають переважно на сірих лісових опідзолених ґрунтах і на опідзолених чорноземах. Головним лісотвірним видом у них є дуб звичайний (*Quercus robur* L.). У дібровах також зростають ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.), липасерцелиста *Tilia*

cordata Mill.), граб звичайний (*Carpinus betulus* L.), клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), береза повисла (*Betula pendula* Roth.), яблуня лісова (*Malus sylvestris* Mill.), черешня (*Prunus avium* L.) та інші види.

Із тополь у Правобережному Лісостепу природньо зростають тополя біла (*Populus alba* L.), тополя тремтяча (*Populus tremula* L.), та тополя чорна (*Populus nigra* L.).

Специфіка геологічної будови ландшафту та особливості зволоження території протягом антропогену забезпечили значну густоту яружно-балкової та річкової мережі, а також її загальну високу дренажність. Річки регіону досліджень належать до басейну Південного Бугу, Дністра і Дніпра. Найбільша густота річкової мережі відзначається в басейні Дністра (0,24 км² плеса на 1 км² суходолу). У межах Придніпровської височини, де проводились дослідження за даною дисертаційною роботою, густота річкової мережі становить 0,20 км² плеса на 1 км² суходолу. Ріки регіону – рівнинного типу, з переважанням снігового і дощового живлення. Підземний стік становить порівняно невелику частку – до 10 %. Весняний стік сягає 42–60 % річного стоку. Найбільша середньомісячна каламутність рік спостерігається в березні та у квітні.

Для Правобережного Лісостепу характерна значна мозаїчність ґрунтового покриву. Тут трапляються чорноземи типові та опідзолені, усі різновиди сірих лісових ґрунтів різної опідзоленості, засолені, карбонатні, лучно-чорноземні та інші ґрунти.

Ступінь мінералізації поверхневих підземних вод Правобережного Лісостепу невелика.

У цілому умови Правобережного Лісостепу сприятливі для вирощування насаджень швидкорослих деревних рослин, зокрема – тополі.

2.2. Місце проведення досліджень, ґрунти дослідних ділянок та їх характеристика

Дослідження проводилися протягом 2020–2022 рр. на Дослідному полі ІБКіЦБ в с. Ксаверівка Друга Білоцерківського району Київської області та на землях с. Триліси Фастівського району Київської області.

Ґрунт під дослідними насадженнями – малогумусний чорнозем, з вмістом гумусу 3,90 %, лужногідролізованого азоту (за Корнфільдом) – 176 мг/кг, рухомих фосфатів та калію – 108 і 67 мг/кг відповідно. Кислотність його (рН сольове) становить 6,2, він містить також ввібрані основи у кількості 156,4 мг-екв/кг ґрунту, його гідролітична кислотність – 11,4 мг-екв/кг, ступінь насиченості основами – 93,2 %.

Площа під дослідними ділянками на обох дослідях становила 0,15 га, повторність – триразова. Схема дослідів передбачала вивчення успішності створення енергетичних насаджень тополі залежно від використаних сортів і виду садивного матеріалу, а також - особливостей росту і продуктивності плантацій сорту 'Робуста' протягом перших чотирьох років за двох варіантів густоти.

2.3. Характеристика метеорологічних умов протягом років проведення досліджень

Впродовж трьох років досліджень (2020–2022 рр.) температура повітря характеризувалася вищими показниками, порівняно із середніми багаторічними даними (рис. 2.1, додаток А).

Зокрема, протягом першого досліджуваного (1920) року температурний режим був вищий за середньобагаторічні показники на 2,9 °С: середня річна температура повітря була на рівні 10,5°С, тоді як середні багаторічні дані становили 7,6⁰С.

Найнижча середньомісячна температура протягом 2020 року спостерігалася в січні – $-0,4^{\circ}\text{C}$, а найтеплішим був червень – $+21,2^{\circ}\text{C}$. За вегетаційний період найнижчі температури спостерігалися у квітні та жовтні – $9,2$ та $12,6^{\circ}\text{C}$ відповідно, тобто на початку і у кінці веретаційного періоду.

Середньорічна температура повітря у 2021 році була найнижчою із трьох років досліджень і найближчою до середніх багаторічних показників, але при цьому, все таки, переважала норму на $0,9^{\circ}\text{C}$ (становила $8,5^{\circ}\text{C}$).

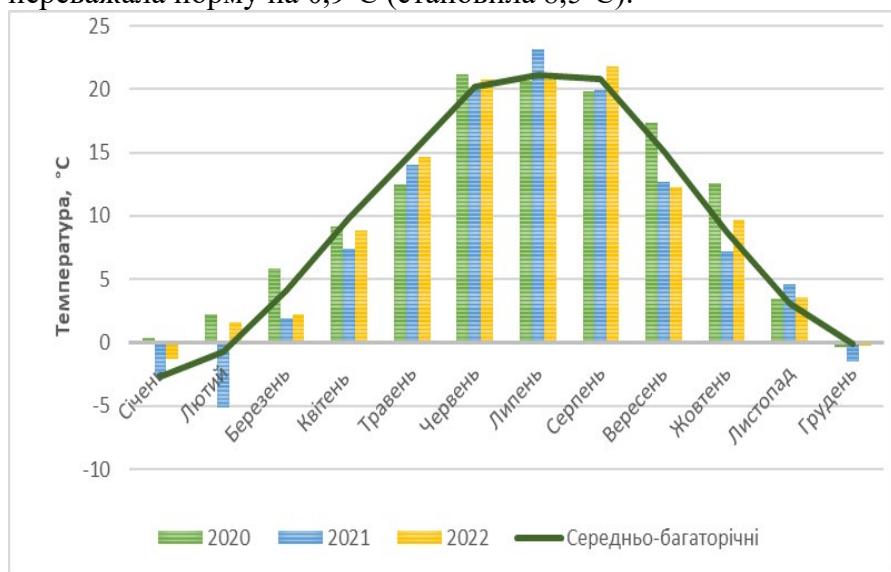


Рис. 2.1. Середньомісячна температура повітря протягом 2020-2022 рр.
(за даними інтернет-ресурсу sgo-sreznevskiy.kyiv.ua)

Найнижчі середньомісячні температури повітря спостерігалися у лютому ($-5,1^{\circ}\text{C}$). Також від'ємними температури повітря були протягом січня ($-2,5^{\circ}\text{C}$) та грудня ($-1,5^{\circ}\text{C}$). Максимальні показники середньомісячної

температури повітря спостерігалися у липні – 23,1 °С, при цьому у червні і серпні вона була однаковою і становила 19,9 °С. Квітень і жовтень, як і у попередньому році, мали найменші показники середньомісячної температури із місяців вегетаційного періоду – відповідно 7,4 та 7,2 °С.

У наступному, 2022 році, середня річна температура повітря становила 9,5 °С, тобто виявилася вищою на 1,0 °С від попереднього року, що вказує на значне перевищення показників температури у роки досліджень, порівняно з середніми багаторічними даними. Мінусовими показниками відзначалися середньомісячні температури січня (-1,3 °С) та грудня (-0,3 °С). Найвищою середньомісячна температура повітря була у серпні – 21,8 °С, а найнижчою, як і в попередні роки, – у квітні та жовтні – 8,8 і 9,7 °С відповідно.

Сума активних температур >5 °С за вегетацію 2020 року становила 3462 °С, а сума ефективних температур >5 °С – 2392 °С. За наступний, 2021 рік ці показники були дещо меншими і становили відповідно 3328 та 2120 °С. Протягом 2022 року сума активних і ефективних температур вищих 5 °С мала проміжні значення між 2020 і 2021 роками і становила відповідно 3436 та 2258 °С.

Суми активних і ефективних температур >10 °С становили протягом 2020 року відповідно 3462 та 1346 °С (рис. 2.2).

Максимальні показники суми активних температур > 10 °С спостерігалися протягом липня і становили 639 °С, а максимальна сума ефективних температур була у червні – 336 °С.

Температурний режим протягом другого (2021) року досліджень, як уже згадувалося, також відзначався вищими від середніх багаторічних показників, але був трохи нижчим за попередній.

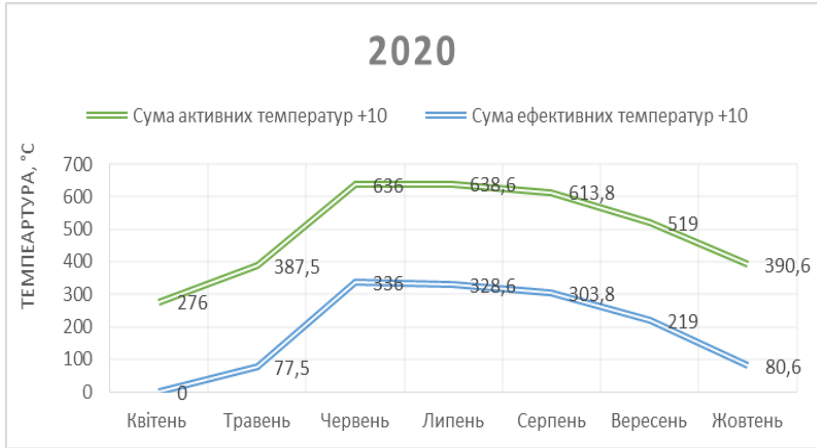


Рис. 2.2. Сума активних і ефективних температур вище 10°C за місяцями за 2020 рік (за даними інтернет-ресурсу sco-sreznevskiy.kyiv.ua)

Температура повітря протягом 2021 року була вищою від середніх багаторічних показників. Відповідно більшими були також суми активних і ефективних температур більше 10°C – 3190°C та 1215°C (рис. 2.3).

Максимальні показники суми активних температур вищих 5°C спостерігалися протягом серпня – 617°C. Максимальна сума ефективних температур також була відзначена у липні - 561°C. Найвищими у 2021 році показниками суми активних і ефективних температур повітря >10°C відзначався липень, коли суми температур становили відповідно 716 та 406°C (рис. 2.3).

В свою чергу, найвищі показники сум активних і ефективних температур > 10°C протягом останнього року досліджень прийшлися на серпень, коли вони становили відповідно 676 та 366°C (рис. 2.4).

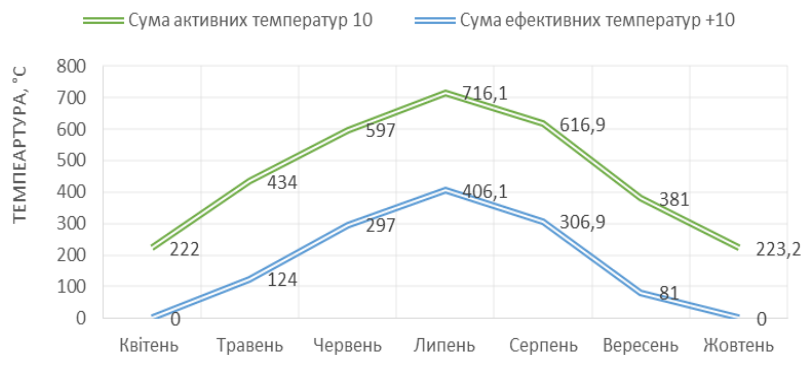


Рис 2.3. Сума активних і ефективних температур > 10 °C за 2021 рік (за даними інтернет-ресурсу sgo-sreznevskiy.kyiv.ua)

При цьому, за рік ці показники становили відповідно 3328 та 1224 °C.

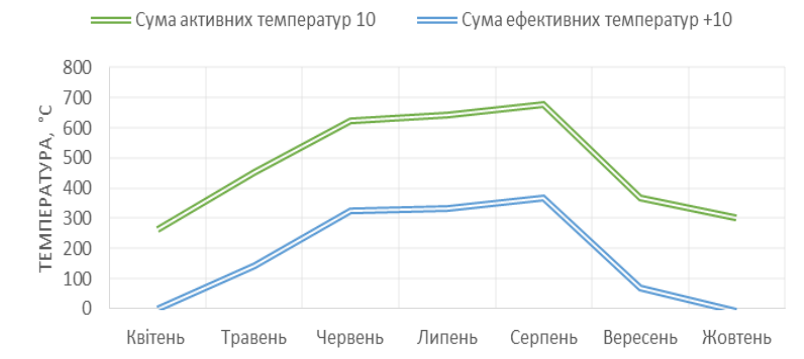


Рис. 2.4. Сума активних і ефективних температур >10 °C за 2022 рік (за даними інтернет-ресурсу sgo-sreznevskiy.kyiv.ua)

З іншого боку, останніми роками спостерігалось стабільне суттєве зниження кількості опадів, порівняно з середніми багаторічними даними, які становлять у регіоні досліджень 618 мм (рис. 2.5).

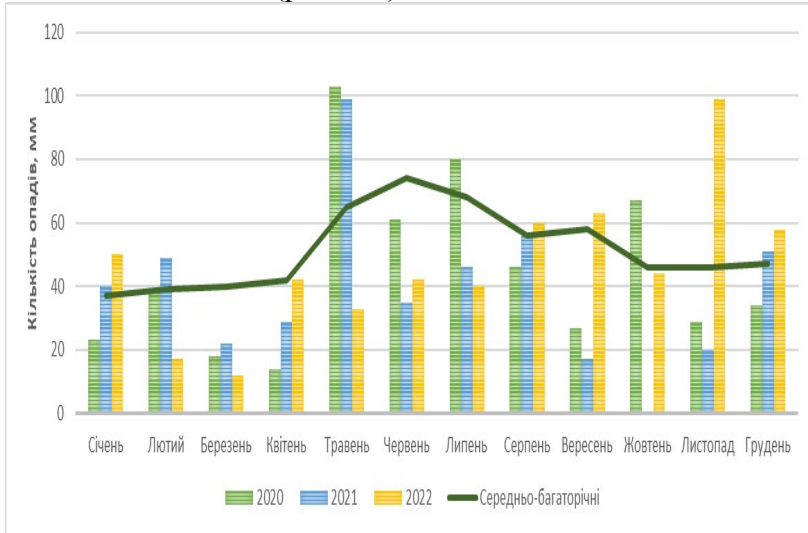


Рис. 2.5. Середньомісячна кількість опадів протягом 2020-2022 рр. (за даними інтернет-ресурсу sgo-sreznevskiy.kyiv.ua)

Протягом 2020 року річна кількість опадів становила 541 мм, у наступному році цей показник становив 464,6 мм, а у 2022 році – суттєво зріс (до 560 мм). При цьому, він теж був меншим за середні багаторічні дані. Найбільша кількість опадів у 2020 році спостерігалася в травні та липні – відповідно 103 мм та 80 мм. Найнижчий показник спостерігався у квітні – 14 мм. Також мало опадів спостерігалось в січні (23 мм) і листопаді (29 мм). Значна кількість опадів випала протягом жовтня (67 мм), але на ріст і розвиток рослин тополі ця волога уже не мала значного впливу на ріст і розвиток рослин тополі через

зниження температури середовища та завершення вегетаційного періоду.

Впродовж 2021 р. випало 464 мм опадів, що менше норми на 154 мм. При цьому вони були розподілені протягом місяців більш рівномірно, ніж у 2020 р. Найбільше опадів випало у травні (99 мм) та у серпні 56 мм, тобто – підчас вегетаційного періоду, що позитивно позначилось на приживлюваності та рості рослин тополі. Найменше опадів випало у жовтні – 0,6 мм. Значна кількість вологи у досліджуваному регіоні випала протягом грудня 2021 року, що дозволило підвищити запаси вологи у ґрунті, які посприяли поліпшенню умов росту рослин тополі протягом наступного, 2022-го року, тим більше, що він виявився найбільш зволеним із досліджуваних років (560 мм).

При цьому, важливо відзначити, що накопичення вологи у ґрунті до початку вегетаційного періоду 2022 року мало позитивний вплив як на укорінення і збереженість садивного матеріалу тополі, так і на ріст її саджанців, коли ці показники виявилися максимальними, порівняно з попередніми роками. І це при тому, що показники ГТК протягом вегетаційного періоду попереднього 2021 року були дещо вищими (рис. 2.6, табл. 2.1).

Як видно з динаміки середніх багаторічних показників, зображених на рис. 2.5 та 2.6, гідротермічний коефіцієнт значною мірою залежить від показників кількості опадів. Він лише у чотирьох випадках із 18-ти був більшим за середні багаторічні дані: у травні 2020 і 2021 років та у квітні і вересні 2022 року.

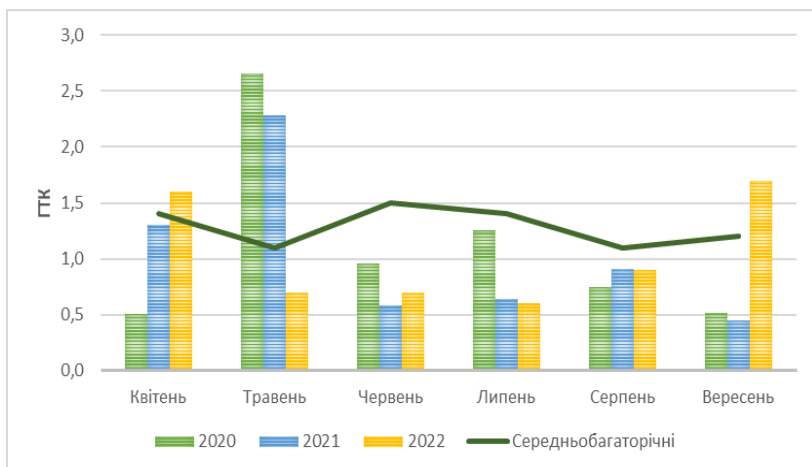


Рис. 2.6. Показники гідротермічного коефіцієнта (ГТК) протягом років досліджень

В цілому ж, за роки досліджень, показники ГТК за вегетаційний період (квітень-вересень) виявився на рівні 1,0, що на 30% менше за середні багаторічні дані (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Показники гідротермічного коефіцієнта (ГТК) протягом років проведення досліджень

Роки	Місяці						За вегетацію	За рік
	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
2020	0,5	2,7	1,0	1,3	0,7	0,5	1,1	0,8
2021	1,3	2,3	0,6	0,6	0,9	0,4	1,0	1,2
2022	1,6	0,7	0,7	0,6	0,9	1,7	1,0	1,1
Середні	1,1	1,9	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0
Середні багаторічні	1,4	1,1	1,5	1,4	1,1	1,2	1,3	1,5

Дещо вищими показниками ГТК протягом періоду вегетації відзначався 2020 рік, коли у травні, через значну кількість опадів, цей показник становив 2,7. Також сприятливими для росту рослин були червень (ГТК=1,0) та липень (ГТК=1,3), а у серпні та вересні показники ГТК знизились відповідно до 0,7 та 0,5. Протягом вегетаційного періоду 2021 року найвищі показники ГТК теж спостерігалися у травні (ГТК=2,3), що удвічі переважає середні багаторічні дані. У квітні показник ГТК був на рівні багаторічних даних, а протягом решти періоду вегетації – був нижчий від середньо багаторічних даних і становив: у червні та липні – 0,6, у серпні – 0,9, а у вересні – 0,4, що обмежувало ріст і розвиток рослин.

Протягом періоду вегетації 2022 року лише у його перший і останній місяць ГТК був вище норми (у квітні – 1,6, у вересні – 1,7), а решта місяців були у різній мірі посушливими.

Отже, погодні умови в роки проведення досліджень були дещо теплішими і посушливішими, але відносно сприятливими для вирощування енергетичних плантацій тополі.

2.4. Коротка характеристика культиварів тополі, задіяних у дослідженнях

'Dorskamp' – швидкорослий євроамериканський гібрид, виведений у Голландії у 1952 році. Стать чоловіча. Крона рослини овальна, вертикально витягнута, високо піднята. Центральний пагін повнодеревний, відносно рівний, в процесі росту природньо інтенсивно очищається від сучків. Колір кори світло-сірий з дрібними, дещо овальними, видовженими сочевичками. У старшого віку рослин – з глибокими вертикальними тріщинами та з лусками неправильної геометичної форми. Пагони

поточного року світло-коричневі, дещо зеленуваті, ребристі, на поперечному зрізі п'ятикутні. Бруньки відігнуті відносно пагона, червонувато-коричневі, з блискучою поверхнею, гострі, розміром від 0,8 до 1,0 см. Розвинуті листки темно-зелені, жорсткі та блискучі, трикутної форми з загостреною кіцівкою і клиноподібною широкою основою, край листка пильчасто-зубчастий, підчас розпускання – багряно-червоні, 4–7 см завдовжки і такі ж завширшки. Черешки завдовжки 4–6 см, сплюснуті, біло-зелені. Культивар відзначається досить високий відсотком ураження листогризучими комахами та шкідниками стовбурових тканин, викликає негативну реакцію часте зрізування гілок [33; 55; 164].

'Robusta' – гібрид євроамериканської селекції осокора (*P. nigra* L. var. *plantierensis*) та тополі дельтоподібною (*P. deltooides* Marsch. ssp. *angulata* Henry), одержаний в процесі природного запилення в 1865 р у Франції. Культивар чоловічої статі. Завезений в Україну в дев'яностих роках ХІХ століття. Крона широкопірамідальна, гостровершинна навіть в старому віці. Центральний пагін повнодеревний, рівний, з вираженими кільцями навколо гілок, що розташовані відносно стовбура під гострим кутом. Колір кори сірий або білий, довго залишається гладенькою без утворення рельєфу кори. В кроні рослини до перестиглого віку забарвлення кори залишається світло-сірим або світло-зелено-жовтуватим. Кірка складається з лусок неправильної форми, не дуже розвинена, з повздовжніми тріщинами. Забарвлення кори молодих пагонів червоно-коричнева, слабо опушені, повздовжньо ребристі після здерев'яніння – дещо ламкі, із блискучо-коричневою поверхнею. На пагонах третього порядку трапляються вкорочені пагони. Бруньки притиснуті до гілки, із блискучою поверхнею, коричневі, без опушування, загостренні, довгі, з відігнутою верхівкою, без

специфічного аромату, дещо клейкі. Генеративні бруньки потовщені. Самі листки великі (розміром 15–18 см в довжину і 12–14 см в ширину), темно-зелені, із блиском, широкояйцеподібні, трикутної форми, з коротко-загостреною кінцівкою й часто прямою основою, з пильчато-зубчастими, вийчастими, упродовж більшої частини вегетаційного сезону, краями. Основа листкової пластинки з 1-2 залозками або вони відсутні. На початку вегетації під час розпускання листки мають коричнюваточервоний чи багряний колір, восени під час опадіння – зелений. Черешок листка червонуватий, у тіні тмянозелений, часто слабоопушений. Чоловічі сережки розміром 7–12 см, у кожній квітці суцвіття знаходиться по 20 тичинок. Цей культивар відрізняється високою енергією і екологічною стабільністю росту. Добре зростає на легких родючих, середньо забезпечених і навіть на збіднених на мінеральні речовини ґрунтах. Дещо краще, на відміну від інших тополь, росте як за пониженого рівня, так і за близького залягання ґрунтових вод. Толерантний до надлишок вапна в ґрунті і витримує слабке хлоридно-натрієве засолення. На типовому чорноземі з важкосуглинковим механічним складом на 9 році культивар мав середню висоту в насадженні 17,2 м, середній діаметр на висоті 1,3 м – 22,8 см, об'єм осьового пагона – 0,31 м³, середній приріст біомаси – 17,3 м³/га у рік. Середня щільність деревини цієї тополі – 0,372 г/см³. В умовах вологого ґрунту насадження рослини 50-річного віку сягають висоти до 35 м і діаметра 1,2 м. Досить часто пошкоджується стовбуровими та листогризучими шкідниками. У країнах Західної Європи використовується висаджується на відвалах вугільних шахт. Загалом культивар 'Robusta' досить часто використовується у всьому світі, часто трапляється в Україні в озелененні

великих міст, в рядових посадках доріг та ін. Дуже перспективний для плантаційного вирощування [52; 164].

'I-45/51' – культивар євроамериканської секції, чоловічої статі, виведений в Італії в 1948 році. Рослини з повнодеревним, рівним центральним пагоном та ажурною, овальновитягнутою кроною. Забарвлення кори центрального пагону дорослих дерев сірувато-коричневе з вертикальними тріщинами, під кроною залишається світло-сірою. Молоді пагони ламкі, ребристі, на поперечному зрізі п'ятигранні, із блиском, світло-зеленого кольору з коричнево-багряним відтінком та нечастими продовгуватими сочевичками. Пагони другого року коричнево-зелено-бордові із характерними неправильної геометричної форми сочевичками. Бруньки завдовжки 1–1,2 см, голі, блискучі, коричневі, продовгувато-загострені, нещільно прилягають до гілки, з лусочками, що утворюють своєрідне «роздвоєння» бруньки. Листкова пластинка блискуча, темно-зелені, на весні червонуваті, 4–8 см в довжину, ширина листкової пластинки переважає довжину, із пильчасто-зубчатим краєм. Черешок 3–5 см в довжину, сплюснутий, світло-зелений. Досить перспективний для використання на території України, але при обрізанні уражається збудниками хвороб, тому потребує додаткових заходів захисту. Утворює високопродуктивні насадження з високим запасом та якісною деревною сировиною. Потребує детального вивчення [33; 55; 164].

2.5. Схема дослідів та методика проведення досліджень

Дослідження виконувалися за традиційними рослинницькими методами, з використанням електронної техніки і мережі Інтернет для опрацювання результатів

досліджень. Серед них були наступні методики: *біометричні* – для визначення біометричних параметрів плантацій у процесі їх розвитку; *фізіолого-біохімічні* – для вивчення процесів перебігу основних фізіологічних циклів та умісту поживних елементів у рослинах; *селекційні* – порівняння морфологічних параметрів та продуктивності різних культиварів використаних в плантаціях при їх вирощуванні в однакових ґрунтових та кліматичних умовах; *математичної статистики* – для оброблення зібраних результатів дослідження.

Після садіння саджанців та живців з різної причини відбувається відмирання, так званий відпад, який розраховують як відсоток від загальної кількості висадженого садивного матеріалу.

Під час закладання лабораторно-польових дослідів оцінка приживлюваності та заходи з поновлення відпаду здійснюються на всій площі плантації не залежно від відпаду рослин. Розрахунок приживлюваності здійснюють окремо на кожній повторюваності досліду з розрахунком середньої арифметичної по кожному варіанту.

Для інвентаризації виробничих площ, на яких будуть проводити облік, розраховують залежно від всієї площі. Зокрема, облікова ділянка на плантації площею до 3 га становить 5%, а понад 10 га – 2 [61]. Для облікування вибирають ряди (чи спарені ряди), розміщені через кожний 20, 25, 33 чи 50-й ряд, тобто відповідно до загальної площі плантації, або визначають 9-12 облікових ділянок, розміщуючи їх рівномірно по всій площі плантації.

Облікування та оцінення стану рослин проводять за фенологічними ознаками з поділом на здорові, слабозвинені або пошкоджені, загиблі та відсутні. Для того, щоб встановити причину загибелі рослин, необхідно загиблій садивний матеріал викопати з ґрунту, детально оглянути їх надземну частину та кореневу систему і

виявити, чи правильно були посаджені, визначити наявність ураження їх личинками хруща, пошкодження збудниками хвороб, несприятливими факторами погодних умов, механічним пошкодженням при механізованому та ручному догляді, пошкодження тваринами тощо. Цю кількість рослин за категоріями їх стану визначають у відсотках. Результати проведення інвентаризації заносять в таблицю.

Після інвентаризації плантаційного насадження визначається головна причина відпаду рослин і обсяги робіт з відновлення (ремонту) плантації. При умові рівномірного відпаду рослин по всій площі, що не більше 15% від числа висаджених, тоді відновлення не планується. Насадження, в яких приживлюваність сягає менше 25 %, відносять до таких, що загинули, а ділянка призначається для повторного висаджування. Плантації з приживлюваністю від 35 до 25 % підлягають ремонту [61].

На основі отриманих результатів визначають заходи, що в надалі слід провести у насадженнях для досягнення ними потрібного стану.

Висота рослин в насадженні енергетичних плантацій - це відстань від поверхні ґрунту до найвищої точки рослини. Через те, що рослини тополі на енергетичних плантаціях можуть мати декілька осьових пагонів, висота рослин буде визначатись по довжині найвищого пагона.

Висоту біоенергетичних насаджень тополі вимірювали мірною рейкою з точністю до 1 см. Цей варіант найбільш зручний для виконання замірів рослин висотою до 2,5 м. Рослини, що мають висоту більшу за 2,5 м, зручніше міряти за допомогою лінійки-висотоміра, з наявною зворотною шкалою для зручності вимірювання, або – використовуючи оптичні висотоміри. Щоб розрахувати середню висоту рослин в насадженні, виконують не менше ніж 20 замірів на обліковій ділянці із точністю ± 1 см. В

кінцевому результату визначають середнє арифметичне значення усіх замірів, виражене у сантиметрах.

Визначення розмірів довжини, діаметра та маси пагонів по кожній обліковій ділянці проводять наступним чином – відшукують середні за кущистістю та висотою рослини, щоб сума пагонів була не менше 30.

Визначення довжини пагона вимірюють відстань пагона до його верхівкової бруньки, враховуючи кривизну пагону. Виконують не менше ніж 30 замірів на кожній обліковій ділянці з точністю до ± 1 см. В кінцевому результаті визначають середнє арифметичне значення усіх замірів, виражене у см. Всі розрахунки здійснюють з точністю до десятих часток вибраної одиниці вимірювання з наступним заокругленням результатів до цілого числа.

Протягом проведення дослідження, у якому потребується визначення об'єму і маси пагонів, водночас з вимірюванням параметрів довжини здійснюють заміри діаметра та маси пагонів.

Діаметр пагонів заміряли на висоті 1,3 м від його основи з допомогою штангенциркуля. Виконували щонайменше 30 вимірів на кожній обліковій ділянці з точністю $\pm 0,5$ мм (при вимірюванні стандартним штангенциркулем) та $\pm 0,1$ мм (електронним штангенциркулем). В кінцевому результаті брали середнє арифметичне значення всіх вимірів, виражене у міліметрах. Всі розрахунки здійснювали з точністю до десятих часток міліметрів з наступним заокругленням результатів до цілого числа.

Масу пагонів надземної частини визначали в польових умовах відразу після їх зрізування і зачищення від гілок на сертифікованих вагах з точністю $\pm 10,0$ г. Визначали масу не менше ніж 30 пагонів на кожній обліковій ділянці. В кінцевому результаті виводили середнє арифметичне значення у кілограмах.

Одразу після визначення маси пагонів відбирали середні зразки масою 100 грам для визначення вологості окремо пагонів і вологості їх гілок. Перед визначенням вологості відібрані зразки подрібнюються на дрібну тирсу.

Важливим завданням під час вирощування енергетичної тополі та інших деревних рослин є об'єктивна оцінка продуктивності їхніх плантацій. Енергетична продуктивність визначається через врожайність абсолютно сухої біомаси з одиниці площі. Природна вологість вирощеної біомаси деревних рослин є динамічним показником який змінюється залежно від фази розвитку рослин та факторів зовнішнього середовища і не дає можливість об'єктивно оцінити вихід сухої біомаси

На противагу від сирої маси, практично завжди під час збирання, транспортування та зберігання біомаси важливим параметром є її об'єм, тому в багатьох випадках потрібно встановити об'єм, з наступним перерахунком показників об'єму в суху масу.

Основу об'єму біомаси на енергетичних плантаціях тополь одержують з пагонів першого порядку. Вся решта об'єму припадає на об'єм гілок (пагонів другого і подальших порядків). Отже, оцінення продуктивності енергетичної плантації полягає у розрахунку об'єму пагонів першого порядку і добутку його на перевідний коефіцієнт, який враховує в тому числі кількість гілок на пагонах першого порядку і який відрізняється від виду рослини. Величину цього коефіцієнта встановлювали за результатами досліджень маси модельних рослин діленням їх загальної маси з гілками на масу пагона без гілок.

Економічну ефективність вирощування енергетичних плантацій тополі, встановлювали за методикою оцінювання ефективності наукових досліджень (1997), а затрати на вирощування – шляхом складання технологічних карт.

Енергетична оцінка вирощування тополь визначалася за методичними рекомендаціями В.П. Мартянова (1996).

Приживлюваність та густина стояння рослин встановлювалась згідно з «Методологією дослідження енергетичних плантацій верб і тополь» (2018 р.).

Сушу речовину, NPK в біомасі та в ґрунті встановлювали згідно підручника «Агрохімічний аналіз» за ред. М.М. Городнього (2005 р.).

Статистичний аналіз отриманих результатів проводився за прикладною програмою «Statistika-6» [18].

Схема дослідів.

Дослід 1. Приживлюваність і ріст енергетичних плантацій тополі залежно від використаних сортів та садивного матеріалу (с. Триліси Фастівський р-н, рис. 2.7).



Рис. 2.7. Загальний вигляд дослідів № 1 (с. Триліси Фастівського району Київської області)

Фактор А – Сорт тополі:

1. 'I-45/51';
2. 'Dorskamp';
3. 'Robusta'.

Фактор Б – Вид садивного матеріалу:

1. Однорічні живцеві саджанці зі стовбуром;
2. Однорічні живцеві саджанці без стовбура.

Дослід 2. Ріст і продуктивність енергетичної плантації тополі сорту 'Robusta', створеної живцями навесні 2019 року (Дослідне поле ІБКіЦБ, рис. 2.8).



Рис. 2.8. Загальний вигляд досліду № 2 (Дослідне поле ІБКіЦБ, с. Ксаверівка Друга Білоцерківського району Київської області)

Використовувалися однорічні живці тополі клону 'Robusta' довжиною 25 см і діаметром у верхньому зрізі 0,8–1,0 см. Схема садіння 2,0x0,8 м та 2,0x0,9 м.

Фактор А – густина садіння:

1. 5,65 тис./га;
2. 6,34 тис./га.

Висновки до розділу 2:

1. Ґрунтові та кліматичні умови регіону досліджень є достатньо сприятливими для створення та вирощування насаджень тополі енергетичного і захисного спрямування. Температурний режим середовища протягом трирічного періоду досліджень (2019–2021 рр.) був дещо вищим середніх багаторічних показників. Суми ефективних температур за досліджувані вегетаційні періоди були на рівні, який сприяє активному росту, розвитку та накопичення енергетичної біомаси плантаціями тополі. За кількість опадів та зволоженістю останні роки були нижчі за середні багаторічні показники.

2. Статистична обробка експериментальних даних здійснювалася методами багатофакторного дисперсійного аналізу із застосуванням комп'ютерної програми «Statistica 6.0». Підчас побудови секторних діаграм стосовно ілюстрації часток впливу досліджуваних факторів на приживлюваність садивного матеріалу та ростові показники рослин тополі були враховані лише взаємодії, які достовірні на 95% -ному рівні ймовірності.

3. Проведені дослідження були забезпечені сучасною вимірною технікою, сучасною методологією наукових досліджень, що посприяло отриманню достовірних висновків.

РОЗДІЛ 3

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЛАНТАЦІЙ ТОПОЛІ

3.1. Створення енергетичних плантацій тополі однорічними живцевими саджанцями

З метою визначення придатності трьох гібридів секції чорних тополь для їх використання при створенні плантацій на отримання енергетичної біомаси в умовах Правобережного Лісостепу України, а також – для удосконалення елементів технології створення їх плантацій однорічними живцевими саджанцями, нами на полях с. Триліси Фастівського району Київської області було проведено дослідження з наступними сортами: 'Dorskamp', 'Robusta' та '1-45/51'. Ґрунт дослідного поля - чорноземно-лучний. Однорічні живцеві саджанці висаджували у другій декаді квітня 2020–2022 років. При цьому частину саджанців висаджували з залишенням стовбура, а у інших – стовбур зрізали. Схема садіння: 3,0 м х 1,0 м (рис. 3.1).

Важливим моментом при вирощуванні тополі в полезахисних насадженнях є те, що вони, завдяки швидкому росту, свої захисні й меліоративні функції починають виконувати уже з першого року вирощування. Для забезпечення вищого лісомеліоративного ефекту їх захисні насадження часто створюють великомірним садивним матеріалом, зокрема – однорічними живцевими саджанцями.

Метою проведених досліджень було вивчення особливостей створення полезахисних та енергетичних насаджень тополі (*Populus* × *euramericana*) в умовах Правобережного Лісостепу України.



Рис. 3.1. Висаджування однорічних живцевих саджанців тополі (квітень 2020 р., с. Триліси Фастівського району Київської області)

Протягом вегетаційних періодів у насадженнях проводилися по 4 ручних догляди за ґрунтом. Восени, після завершення кожного вегетаційного періоду, за загальноприйнятими у рослинництві методиками проводилися дослідження збереженості рослин та їх морфометричних показників.

Було встановлено, що приживлюваність садивного матеріалу змінювалася залежно від погодних умов вегетаційного періоду і частково – від виду садивного матеріалу (табл. 3.1).

З наведених даних видно, що усі досліджувані культивари протягом 2020–2021 років мали вищу приживлюваність живцевих саджанців (від $57,0 \pm 3,01$ до $68,9 \pm 2,90\%$) у варіанті, де надземна частина була видалена. Саджанці зі стовбурами мали приживлюваність в межах від $50,3 \pm 2,40\%$ до $68,1 \pm 2,71\%$.

Таблиця 3.1

Приживлюваність саджанців тополі залежно від використаних сортів та видів садивного матеріалу, %

Назва сорту	Однорічні живцеві саджанці	Роки досліджень		
		2020	2021	2022
'Dorskamp'	зі стовбуром	60,3±2,40	68,1±2,71	81,1±4,15
	без стовбура	63,3±2,92	71,5±3,30	82,2±4,05
'Robusta'	зі стовбуром	50,3±2,40	56,8±2,71	88,9±3,33
	без стовбура	57,0±3,01	64,4±3,40	74,4±4,62
'I-45/51'	зі стовбуром	57,1±2,12	64,5±2,39	77,8±4,41
	без стовбура	61,0±2,57	68,9±2,90	75,6±4,55

За 2022 рік приживлюваність саджанців виявилася найвищою – від 74,4±4,62% у саджанців культивару 'Robusta' без стовбурів до 88,9±3,33% у рослин цього ж сорту зі стовбурами. У решти клонів приживлюваність обох досліджуваних варіантів була майже однаковою. У рослин культивару 'Dorskamp' вона була на рівні 81,1±4,15 і 82,2±4,05% відповідно, а у саджанців клону 'I-45/51' – відповідно 77,8±4,41 і 75,6±4,55%. Розрахунок частки впливу сортових особливостей, варіанту саджанців та інших факторів на приживлюваність саджанців тополі протягом років досліджень (2020-2022 рр.) показав, що майже абсолютний вплив на показники приживлюваності мають саме сортові особливості (рис. 3.2).

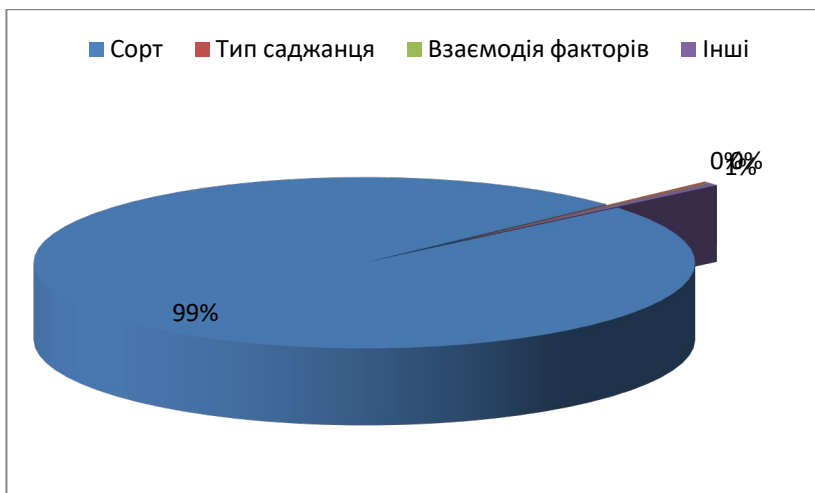


Рис. 3.2. Частка впливу факторів на приживлюваність саджанців тополі протягом років досліджень (2020-2022 рр.)

Було встановлено, що середня висота рослин після завершення першого періоду вегетації у переважній більшості випадків була вищою у саджанців з видаленим стовбуром (табл. 3.2).

В результаті проведення двофакторного дисперсійного аналізу було отримано дані про наявність різниці між середніми значеннями для показників приросту за рік залежно від сортових особливостей та виду садивного матеріалу. так у 2020 році, ця різниця була достовірною при 95 % довірчому рівні ($F_{\text{факт}} = 78,6368 > F_{0,95} = 6,2359$; $p = 0,002$); також нами виявлено різницю у інтенсивності росту між саджанцями залежно від того чи піддавались вони обрізці перед висаджуванням.

В результаті проведення двофакторного дисперсійного аналізу було отримано дані про наявність різниці між середніми значеннями для показників приросту за рік залежно від сортів та виду садивного матеріалу.

Таблиця 3.2

Середня висота саджанців тополі залежно від використаних сортів та видів садивного матеріалу, см (2020 р.)

Назва сорту	Варіант садивного матеріалу	Середня висота рослин, см		
		початкова висота	висота в кінці 2020	приріст за рік
'Dorskamp'	зі стовбуром	156,3±6,79	174,0±7,69	17,7
	без стовбура	-	189,5±3,45	189,5
'Robusta'	зі стовбуром	146,4±4,62	151,0±4,16	4,6
	без стовбура	-	183,2±4,12	183,2
'I-45/51'	зі стовбуром	145,5±5,75	158,0±7,46	12,5
	без стовбура	-	175,5±3,12	175,5

Так у 2020 році, ця різниця була достовірною при 95 % довірчому рівні (F факт = 78,6368 > F 0,95 = 6,2359; p = 0,002); також нами виявлено різницю у інтенсивності росту між саджанцями залежно від того чи піддавались вони обрізці перед висаджуванням. Саджанці сорту 'Dorskamp' проявили істотну різницю у показниках інтенсивності росту між обрізаними та необрізаними саджанцями, різниця була достовірною при 95% довірчому рівні (F факт = 102,1693 < F 0,95 = 4,5383; p = 0,003). При вивченні цих показників для сорту 'Robusta' достовірність впливу сортових особливостей на темпи росту у 2020 році також була істотною коефіцієнт кореляції склав 0,76, була виявлена істотна різниця при проведенні двофакторного дисперсійного аналізу при вивченні інтенсивності росту обрізаних та необрізаних саджанців цього сорту вона була достовірною при 95 % довірчому рівні (F факт = 83,1426 > F 0,95 = 3,2759; p = 0,002). При вивченні впливу сортових особливостей на

інтенсивність росту у саджанців культивару 'Г-45/51' статистичної достовірності при 95% достовірному рівні не виявлено ($F_{\text{факт}} = 3,8257 < F_{0,95} = 6,3429$; $p = 0,003$), водночас було виявлено істотну різницю при вирощуванні обрізаних та необрізаних саджанців тополі на довірчому рівні ($F_{\text{факт}} = 101,6586 > F_{0,95} = 16,8152$; $p = 0,005$).

Найбільшу висоту при цьому мали рослини клону 'Dorskamp' – $189,5 \pm 3,45$ см. У необрізаних рослин цього сорту вона становила $174,0 \pm 7,69$ см.

Приріст за висотою у саджанців зі стовбуром був дуже малим і становив від 4,6 до 17,7 см.

Було встановлено (рис. 3.3), що найбільше на приріст саджанців за висотою впливали тип саджанців (39%), сортові особливості (34%) та інші фактори (27%).

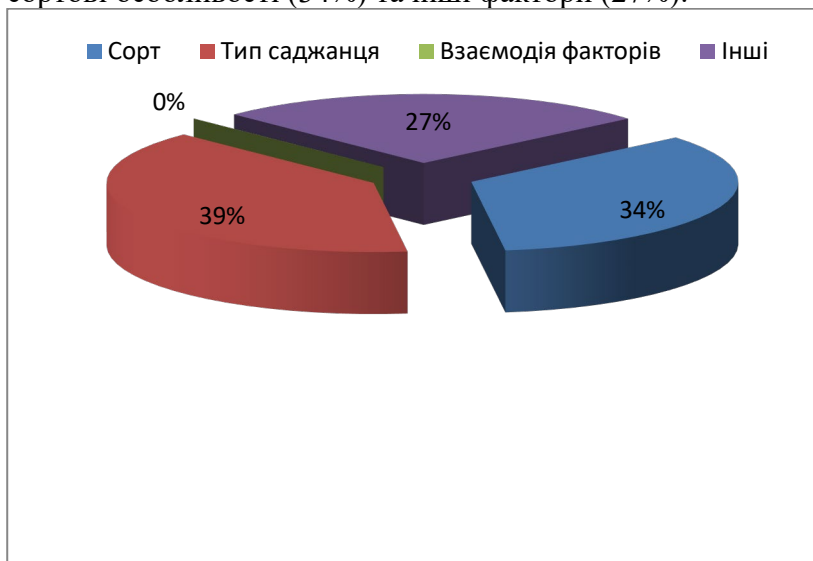


Рис. 3.3. Частка впливу факторів на річний приріст саджанців тополі за висотою (2020 р.)

Результати аналогічних досліджень, які були проведені протягом вегетаційного періоду 2021 року показали, що

показники збереженості та висоти виявилися дещо вищими але в цілому загальна тенденція, що спостерігалася 2020 року збереглася (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Середня висота саджанців тополі залежно від використаних сортів та видів садивного матеріалу, см (2021 р.)

Назва сорту	Варіант садивного матеріалу	Середня висота рослин		
		початкова висота	висота в кінці	приріст за рік
'Dorskamp'	зі стовбуром	159,3±6,6	190,4±7,93	31,1
	без стовбура	-	188,6±4,15	188,6
'Robusta'	зі стовбуром	147,5±5,3	165,3±5,68	17,8
	без стовбура	-	186,8±4,07	186,8
'I-45/51'	зі стовбуром	145,3±6,6	170,4±7,13	25,1
	без стовбура	-	178,8±6,82	178,8

Подібні до 2020 року тенденції зберігались у 2021 році. Так, при проведенні багатофакторного дисперсійного аналізу було отримано наступні показники різниці між середніми значеннями показників приросту за рік між різними культиварами тополь залежно від виду садивного матеріалу та сортових особливостей ця різниця між видами була достовірною при 95 % довірчому рівні ($F_{\text{факт}} = 89,6852 > F_{0,95} = 4,1301$; $p = 0,001$), різниця у інтенсивності росту між саджанцями залежно від того чи піддавались вони обрізці перед висаджуванням також вивчався у 2021 році у саджанців сорту 'Dorskamp' було виявлено істотну різницю у показниках інтенсивності росту між обрізаними та необрізаними саджанцями, різниця була достовірною при 95% довірчому рівні

($F_{\text{факт}} = 93,2354 < F_{0,95} = 2,8145$; $p = 0,002$). Саджанці сорту 'Robusta' у 2021 році також проявили достовірність впливу сортових особливостей на темпи росту кореляції склав 0,83, при проведенні двохфакторного дисперсійного аналізу при вивченні інтенсивності росту обрізаних та необрізаних саджанців цього виду вона була достовірною при 95 % довірчому рівні ($F_{\text{факт}} = 104,7254 > F_{0,95} = 18,4861$; $p = 0,003$). При вивченні впливу сортових особливостей на інтенсивність росту у 2021 році для саджанців культивару 'I-45/51' виявлена статистично достовірна різниця при 95 % довірчому рівні ($F_{\text{факт}} = 28,3819 < F_{0,95} = 2,4852$; $p = 0,001$) водночас було виявлено істотну різницю при вирощуванні обрізаних та необрізаних саджанців верби виду 'I-45/51' довірчому рівні ($F_{\text{факт}} = 81,2441 > F_{0,95} = 4,2388$; $p = 0,004$).

Таким чином, дані, що представлені у табл. 3.3, вказують на те, що приріст саджанців зі стовбурами у 2021 році був вищим, порівняно з 2020 роком – від 17,8 см у сорту 'Robusta' до 31,1 см – у 'Dorskamp'. Відповідно вищими виявилися і їх середні висоти. При цьому, у випадку з сортом 'Dorskamp', саджанці з стовбурами виявилися дещо вищими – $190,4 \pm 7,93$ см проти $188,6 \pm 4,15$ см за використання саджанців з видаленим стовбуром.

При цьому, найбільший вплив на інтенсивність росту саджанців за висотою мали сортові особливості, тип саджанця та інші фактори (рис. 3.4).

Вплив сортових особливостей становив 41%, тип садивного матеріалу – 35%, а вплив інших факторів – 24%.

Дослідження 2022 року в цілому підтвердили висновки, зроблені у попередні роки (табл. 3.4).

Різниця досліджуваних середніх значень для показника приріст за рік між різними клонами тополі у 2022 році була достовірною при 95% довірчому рівні

($F_{\text{факт}} = 110,3085 > F_{0,95} = 4,1028$; $p = 0,003$).

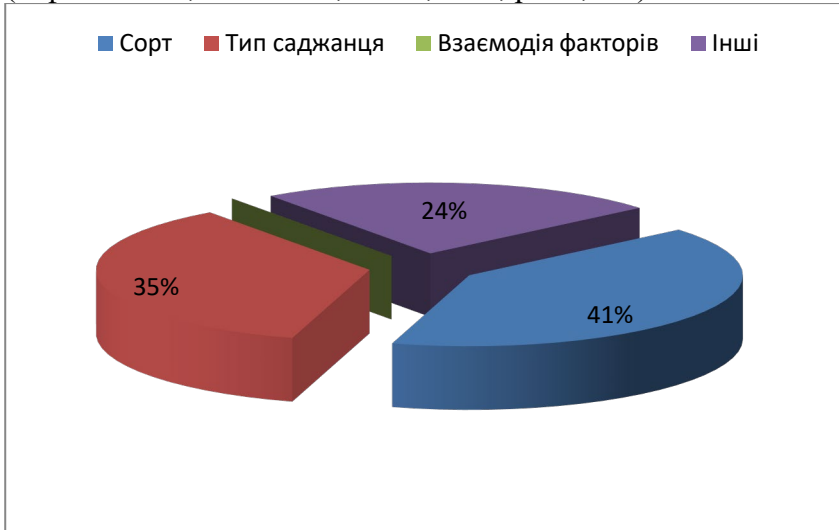


Рис. 3.4. Частка впливу факторів на річний приріст саджанців тополі за висотою (2021 р.)

Таблиця. 3.4

Середня висота саджанців тополі залежно від сортів та видів садивного матеріалу (2022 р.)

Назва сорту	Варіант садивного матеріалу	Середня висота рослин, см		
		початкова висота	висота в кінці 2022	приріст за рік
'Dorskamp'	зі стовбуром	160,4±7,28	197,2±6,61	36,8
	без стовбура	-	209,3±5,62	209,3
'Robusta'	зі стовбуром	154,3±8,54	160,1±5,09	5,8
	без стовбура	-	155,6±5,91	155,6
'I-45/51'	зі стовбуром	122,1±5,75	134,1±4,31	12,0
	без стовбура	-	135,9±4,94	135,9

Виявлена різниця в показниках інтенсивності росту між саджанцями з видаленими та невидаленими надземними частинами залежно від сортових особливостей, для сорту 'Dorskamp' різниця досліджуваних середніх значень була достовірною ($F_{\text{факт}} = 116,49 < F_{0,95} = 3,18$; $p = 0,001$).

Для сорту 'Robusta' достовірність впливу сортових особливостей на темпи росту є більш помірними, істотна різниця при проведенні двофакторного дисперсійного аналізу виявлена для обрізаних саджанців цього сорту різниця досліджуваних середніх значень для показника приріст за рік була достовірною при 95 % довірчому рівні ($F_{\text{факт}} = 104,1258 > F_{0,95} = 5,4342$; $p = 0,004$), така ж тенденція спостерігається для культивару 'I-45/51'. Вплив сортових особливостей на приріст за рік для саджанців із стовбурами не є статистично достовірним ($F_{\text{факт}} = 6,18 < F_{0,95} = 8,21$; $p = 0,002$); при цьому вплив сортових особливостей на приріст обрізаних саджанців виявився достовірним при 95 % довірчому рівні ($F_{\text{факт}} = 98,6123 > F_{0,95} = 3,6561$; $p = 0,001$).

Найбільші показники висоти на кінець вегетаційного періоду 2022 року, як і у попередні роки, виявилися у рослин сорту 'Dorskamp'. За використання саджанців зі стовбурами висота становила $197,2 \pm 6,61$ см, а без стовбурів – $209,3 \pm 5,62$ см.

Погодні умови 2022 року були найменш сприятливі для росту рослин сорту 'I-45/51'. Їх середня висота в кінці вегетації становила за використання саджанців зі стовбурами $134,1 \pm 4,31$ см, а без стовбурів – $135,9 \pm 4,94$ см.

У рослин сорту 'Robusta' показники середньої висоти рослин з саджанців зі стовбурами у 2022 році вперше за роки досліджень виявилися дещо вищими за показники саджанців без стовбурів ($160,1 \pm 5,09$ і $155,6 \pm 5,91$ см відповідно).

Розрахунок впливу факторів на приріст саджанців за висотою протягом 2022 року показав, що на цей показник протягом вегетаційного періоду найбільше впливали сортові особливості (на 41%) та вид садивного матеріалу (на 35%). Вплив інших факторів становив 24% (рис. 3.5).

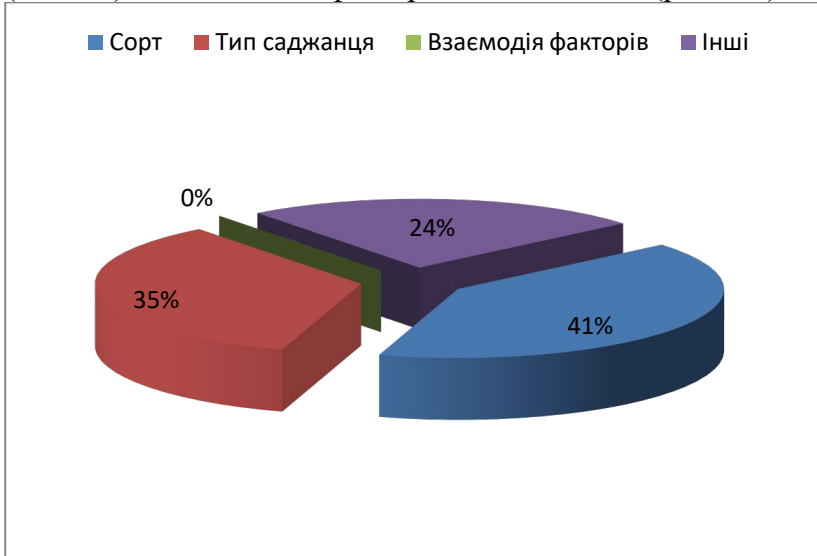


Рис. 3.5. Частка впливу факторів на річний приріст саджанців тополі за висотою (2022 р.)

Отже, за роки досліджень, на приріст живцевих саджанців за висотою найбільший вплив мали сортові особливості та вид садивного матеріалу, сукупний вплив яких становив від 73 до 76%.

Таким чином, проведені дослідження вказують на в цілому вищу ефективність використання при створенні насаджень тополі саджанців без стовбурів, порівняно з саджанцями, які висаджувалися із стовбурами.

Крім вищих показників приживлюваності живців і більшої середньої висоти рослин, за цього варіанту вивільняється значна кількість однорічних стовбурів, які

можна використати для заготівлі високоякісних живців для створення насаджень, чи вирощування живцевих саджанців.

3.2. Продуктивність енергетичних плантацій тополі на малогумусних чорноземах Правобережного Лісостепу України

З метою встановлення особливостей росту і урожайності біомаси енергетичної плантації тополі в умовах Правобережного Лісостепу України для наступного встановлення оптимального віку ротації таких плантацій, нами був закладений спеціальний дослід з використанням живців культивуару 'Robusta'.

Дослідження були проведені у 2019-2022 роках на Дослідному полі ІБКіЦБ НААН (с. Ксаверівка Друга Київської області). Для досліджень було використано сорт 'Robusta'.

Дослідне насадження було створене навесні 2019 року садінням однорічних здерев'янілих живців довжиною 25 см і товщиною 0,8–1,0 см. Обробіток ґрунту був поведений на глибину 25 см. Безпосередньо перед проведенням садіння живців була проведена передсадивна культивация.

Схема розташування садивних місць становила: 2,0x0,8 м у густішому варіанті та 2,0x0,9 м – у рідкішому.

Через два тижні було виконане перше розпушування ґрунту зі знищенням бур'янів культиватором. Проведення протягом першої половини вегетаційного періоду ще двох прополовань дозволило майже повністю знищити бур'яни.

Для контролю бур'янів у рядках виконувалося ручне прополовання, що забезпечило високу укоріненість живців та інтенсивний ріст надземної частини саджанців.

Після завершення кожного вегетаційного періоду за загальноприйнятими у рослинництві методиками

виконувалися дослідження укорінення живців, збереженості рослин та їхніх морфометричних характеристик.

Після завершення першого вегетаційного періоду на дослідних ділянках відбулася загибель значної кількості саджанців. Це сталося через проведення косіння бурянів за допомогою мотокоси (тримера) і недотримання захисної зони біля саджанців, внаслідок чого була пошкоджена їх кора. На дослідній ділянці № 1 загинуло 27% живців, а на № 2 – 24% (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Приживлюваність живців і збереженість рослин чотирирічних плантацій тополі сорту 'Robusta' на вилугуваних чорноземах

№ дослідної ділянки	Кількість садивних місць, шт./га	<u>Кількість рослин за роками, шт./га</u> Приживлюваність (збереженість), %			
		1 (2019р.)	2 (2020р.)	3 (2021р.)	4 (2022р.)
1.	6342	<u>4631</u> 73,0	<u>4094</u> 64,6	<u>4060</u> 64,0	<u>4060</u> 64,0
2.	5650	<u>4305</u> 76,2	<u>3004</u> 53,2	<u>2915</u> 51,6	<u>2915</u> 51,6

Після другого року вирощування у густому варіанті залишилося 4094 дерева (64,4% від їх початкової густоти), а на рідкому – 3004 шт. або 53,2%. Протягом третього року вирощування збереженість рослин тополі зменшилася не суттєво (у обох варіантах – на 0,6%), а протягом четвертого – загибелі дерев не спостерігалось. Слід відзначити, що внаслідок інтенсивного росту дерев тополі і повного затінення їх кронами поверхні ґрунту, протягом третього року в досліджуваних насадженнях майже повністю зникли бур'яни.

Найбільше на збереженість рослин тополі вплинули погодні умови вегетаційного періоду (58%) та густина стояння саджанців (20%, рис. 3.6).

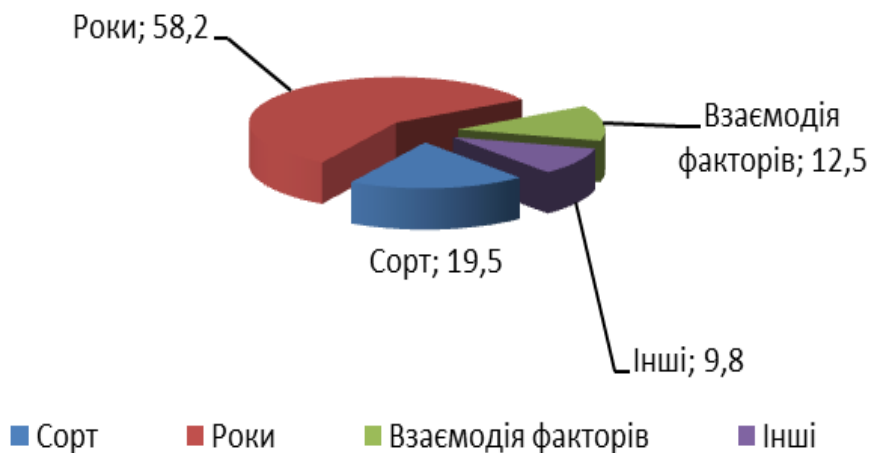


Рис. 3.6. Частка впливу факторів на приживлюваність та збереженість саджанців тополі за висотою (2019-2022 рр.)

Після першого року вирощування висота рослин тополі на обох варіантах була однаковою і становила $1,6 \pm 0,05$ м (табл. 3.6).

За другий рік їх приріст за висотою був у рідкішого варіанту на рівні $2,0 \pm 0,05$ м, а у більш густого – $2,1 \pm 0,05$ м.

Протягом третього вегетаційного періоду висота збільшилася відповідно на 3,1 та 3,0 м, а їхня середня висота досягла відповідно 6,8 та 6,6 м.

За наступний рік швидкість росту рослин тополі за висотою суттєво сповільнилася (до 1,2 та 1,1 м відповідно) і висота чотирирічних насаджень склала $8,0 \pm 0,16$ м на густому варіанті та $7,7 \pm 0,22$ м – на більш рідкому.

Таблиця 3.6

**Динаміка середньої висоти рослин чотирирічних
плантацій тополі
сорту 'Robusta' на вилюгуваних чорноземах**

№ дослідної ділянки	Кількість садивних місць, шт./га	Середня висота рослин за роками, м			
		Річний приріст за висотою, м			
		2019 р.	2020 р.	2021 р.	2022 р.
1.	6342	<u>1,6±0,03</u>	<u>3,7±0,06</u>	<u>6,8±0,09</u>	<u>8,0±0,16</u>
		1,6	2,1	3,1	1,2
2.	5650	<u>1,6±0,05</u>	<u>3,6±0,07</u>	<u>6,6±0,12</u>	<u>7,7±0,22</u>
		1,6	2,0	3,0	1,1

Найбільший вплив на показники висоти мав рік вирощування (93%, рис. 3.7).

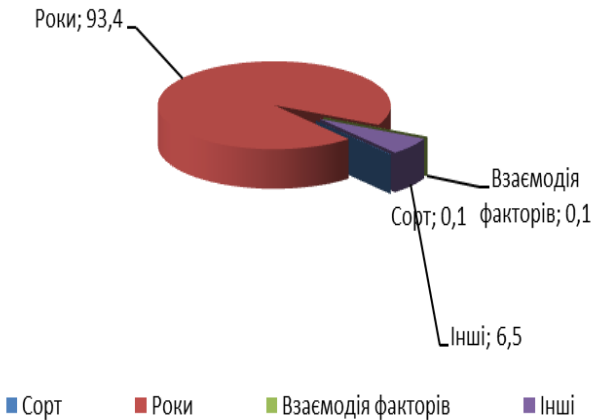


Рис. 3.7. Частка впливу факторів на висоту дерев тополі (2019-2022 рр.)

Різниця досліджуваних середніх значень для різних років була достовірною при 95 % довірчому рівні ($F_{\text{факт}} = 4352,3 > F_{0,95} = 4,75$; $p = 0,001$); При тому вплив густоти садіння на середню висоту рослин не є

статистично достовірним ($F_{\text{факт}} = 3,37 < F_{0,95} = 5,14$; $p = 0,1$).

Проведена математична обробка росту досліджуваних плантацій за висотою та річним приростом за висотою показала, що динаміку цих показників найбільш точно відображають поліноміальні рівняння третього ступеня (рис. 3.8).

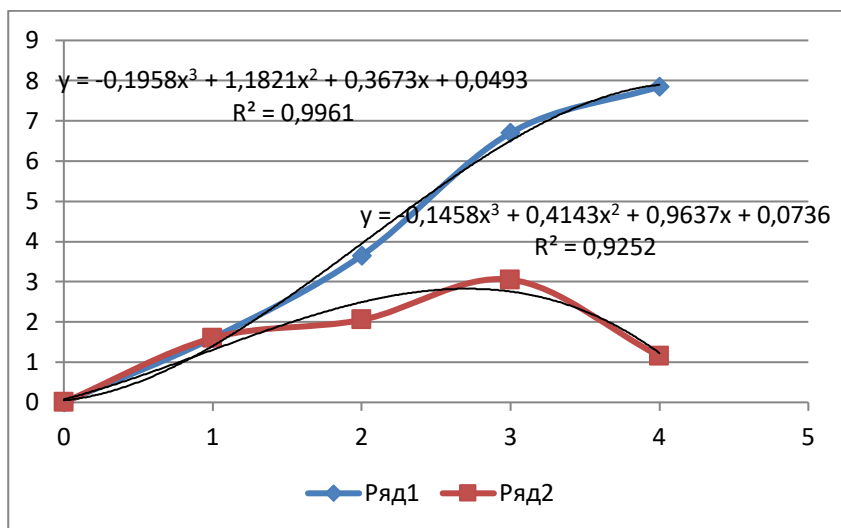


Рис. 3.8. Динаміка висоти та річного приросту за висотою середньо-ротаційних плантацій тополі сорту 'Robusta' (2019-2022 рр.)

Ряд 1 – динаміка росту за висотою

Ряд 2 – динаміка зміни приросту за висотою

Як вказують наведені дані, незважаючи на інтенсивний ріст таких насаджень, їх щорічний приріст за висотою досяг максимуму після третього року вирощування і за четвертий рік почав різко зменшуватися.

Схожа динаміка простежується також з середнім діаметром дерев досліджуваної плантації тополі.

Завдяки більшій площі живлення дерев рідкішого варіанту, їх середній діаметр виявився дещо більшим, порівняно з густішим (табл. 3.7).

Як видно з наведених даних, після першого року вегетації середній діаметр на висоті 1,3 м у густішому варіанті був на 0,2 см більшим (0,5 см проти 0,3 см), однак уже протягом наступного 2020 року середній діаметр більш рідкого варіанту зріс на 3,0 см і став на 0,4 см більшим, порівняно з деревами густішого насадження.

Таблиця 3.7

Динаміка середнього діаметра рослин чотирирічних плантацій тополі сорту 'Robusta' на вилугуваних чорноземах

№ дослідної ділянки	Кількість садивних місць, шт./га	Середній діаметр рослин на висоті 1,3 м за роками, см			
		Річний приріст за діаметром, см			
		2019 р.	2020 р.	2021 р.	2022 р.
1.	6342	<u>0,5±0,02</u> 0,5	<u>2,9±0,08</u> 2,4	<u>5,8±0,14</u> 2,9	<u>7,2±0,22</u> 1,4
2.	5650	<u>0,3±0,03</u> 0,3	<u>3,3±0,07</u> 3,0	<u>6,2±0,19</u> 2,9	<u>8,0±0,31</u> 1,8

Протягом третього вегетаційного періоду приріст обох насаджень за діаметром був однаковим (становив 2,9 см), а середній діаметр – відповідно 5,8 та 6,2 см. На четвертий рік вирощування приріст за діаметром у обох насадженнях значно знизився (становив відповідно 1,4 і 1,8 см) і їх середній діаметр досяг показників 7,2±0,22 і 8,0±0,31 см відповідно.

Графічне зображення процесів зміни діаметра дерев тополі у досліджуваних плантаціях наведено на рисунку 3.9).

Наведені математичні моделі ілюструють певну схожість процесів росту тополі за висотою і діаметром.

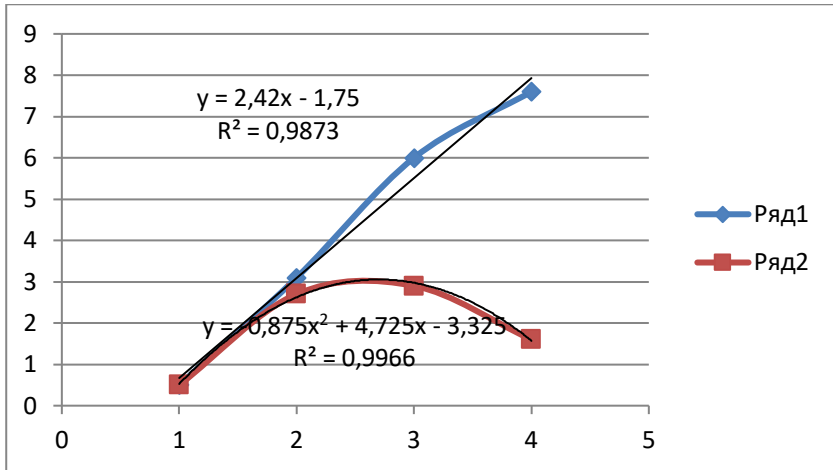


Рис. 3.9. Динаміка зміни середнього діаметра та річного приросту за діаметром середньо-ротаційних плантацій тополі сорту 'Robusta'

Ряд 1 – динаміка росту за діаметром;

Ряд 2 – динаміка зміни приросту за діаметром.

Єдине, що їх відрізняє – це більша наближеність наростання середнього діаметра дерев досліджуваних плантацій до прямої лінії, порівняно з висотою, динаміка росту якої може бути виражена більш складними кривими.

Внаслідок вищих показників діаметру рослин з меншою густиною стояння, у них виявилася більшою середня маса дерева, але внаслідок меншої кількості рослин, їх урожайність поступалася більш густому варіанту (табл. 3.8).

Із графічного зображення процесів накопичення сухої біомаси на одиницю площі видно, що на час завершення досліджень (після чотирьох років вирощування) урожайність сухої біомаси інтенсивно зростає (рис. 3.10 і 3.11).

Таблиця 3.8

**Продуктивність плантації тополі сорту 'Robusta'
протягом перших чотирьох років вирощування**

№ ділянки	Вік плантації років	Кількість садивних місць, шт./га	Кількість дерев, шт./га	Сира маса одного дерева, кг	Вихід сирової біомаси, т/га	Вихід сухої біомаси, т/га
1.	1	6342	4631	0,15	0,69	0,35
2.		5650	4305	0,13	0,56	0,28
1.	2	6342	4094	1,45	5,94	2,97
2.		5650	3004	1,50	4,51	2,25
1.	3	6342	4060	7,18	29,15	14,58
2.		5650	2915	8,00	23,32	11,66
1.	4	6342	4060	14,75	59,89	29,94
2.		5650	2915	17,69	51,57	25,78

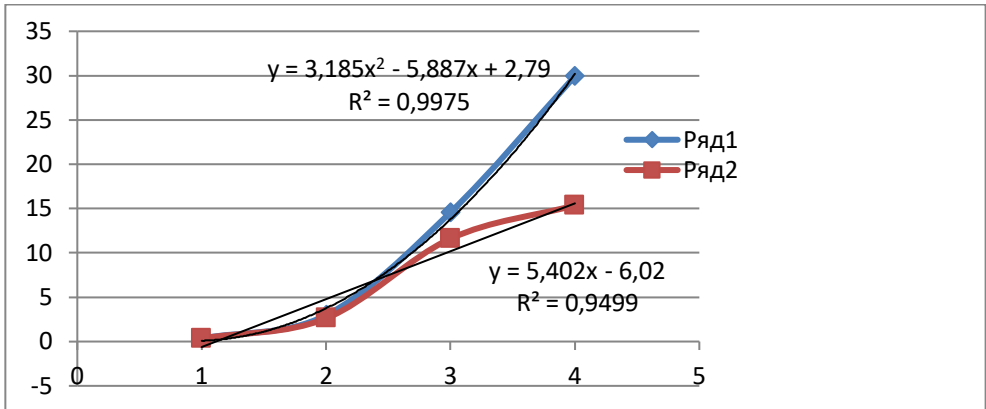


Рис. 3.10. Динаміка урожайності сухої біомаси та зміни її річного приросту в плантації тополі сорту 'Robusta' з початковою густиною 6,3 тис. шт./га

Ряд 1 – динаміка росту за урожайністю;

Ряд 2 – динаміка зміни приросту за урожайністю.

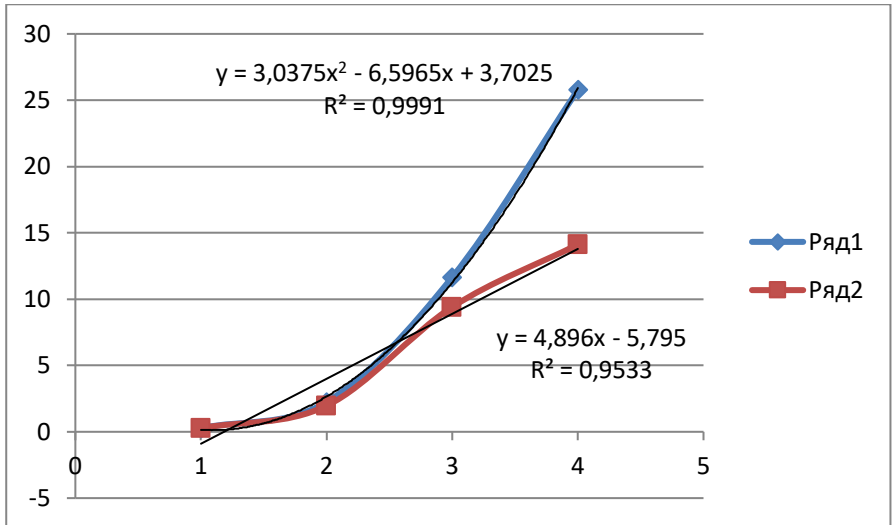


Рис. 3.11. Динаміка наростання урожайності сухої біомаси та зміни її річного приросту в плантації тополі сорту 'Robusta' з початковою густрою 5,7 тис. шт./га
 Ряд 1 – динаміка росту за урожайністю
 Ряд 2 – динаміка зміни приросту за урожайністю.

Представлені дані вказують на те, що у віці 4 роки збирання енергетичної біомаси на досліджуваних плантаціях недоцільне, оскільки вони ще не досягли піку продуктивності. Аналіз представлених математичних моделей вказує на високу ймовірність досягнення ними максимальної урожайності у віці 5–6 років.

Отже проведені дослідження дозволили вивчити деякі особливості росту і продуктивності середньо-ротаційних енергетичних плантацій тополі культивуvarу 'Robusta' в умовах Правобережного Лісостепу України за перші 4 роки, створених однорічними живцями. Такий тип плантацій є доволі популярним в Італії [157], де вважається, що використання такої системи дозволяє суттєво скоротити витрати на весь комплекс робіт [159;

160] а також розширити систему плантаційного вирощування на відносно незручні для прискороного вирощування деревини території [159]. Аналіз отриманих результатів та літературних даних вказує, що на різних ґрунтах, в тому числі на чорноземах, укоріненість живців тополі та ріст її насаджень суттєво залежать від сортових особливостей, тому ефективність вирощування насаджень тополі різного призначення значною мірою залежить від вибору певного сорту, на що вказують також дослідження низки інших вчених [85; 160; 183]. Низкою досліджень встановлено, що клон 'Robusta' є одним з найперспективніших як для вирощування великомірної деревини, так і для енергетичної біомаси для Київського регіону [56; 60; 62].

Позитивні результати укорінення живців завдовжки 20-25 см в регіоні досліджень вказують на значну схожість загальних елементів технології вирощування тополі, які застосовуються різних регіонах північної півкулі. Зокрема, отримані результати корелюють з дослідженнями низки авторів [85; 185], які теж вказують на доцільність використання живців тополі завдовжки 20 см.

Представлені у даному розділі результати щодо інтенсивного накопичення біомаси насадженнями клону 'Robusta' на четвертий рік корелює з даними інших дослідників, які вважають, що плантації тополі максимального середньорічного приросту біомаси досягають у віці 4-10 років [123; 178], що вказує на актуальність подальшого вивчення цього питання, в тому числі – на малогумусних чорноземах Правобережного Лісостепу.

Після збирання енергетичної біомаси тополі, з пнів навесні відростає рясна поросль, з пагонів якої формується наступна генерація енергетичної плантації. При цьому, маючи уже сформовану кореневу систему, така плантація

росте значно інтенсивніше, ніж перше її покоління і досягає максимальних показників приросту біомаси на 1–2 роки швидше. Про це свідчать дані, отримані співробітниками ІБКіЦБ України на Дослідному полі інституту [3], де, після зрізування трирічних рослин культивуару 'Robusta', за наступний вегетаційний період з порослі сформувалися рослини заввишки $2,97 \pm 0,173$ м, тоді як у рослин цього ж сорту, що виростили з живців за перший рік мали висоту лише $1,60 \pm 0,03$ м.

Висновки до розділу 3.

1. Підвищення інтенсивності вирощування енергетичної біомаси тополі передбачає використання передового досвіду та дослідження особливостей росту і продуктивності високопродуктивних сортів та удосконалення технологічних схем їх вирощування в різних кліматичних зонах України.

2. Використані для досліджень три сорти чорних тополь ('Dorskamp', 'I-45/51' та 'Robusta' можна вважати придатними для вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України.

3. У всіх досліджуваних сортів протягом перших двох років вищі показники приживлюваності однорічних живцевих саджанців були у варіанті зі зрізаною надземною частиною – від $57,0 \pm 3,01$ до $68,9 \pm 2,90\%$. У саджанців з надземною частиною приживлюваність становила від $50,3 \pm 2,40$ % до $68,1 \pm 2,71$ %. За вегетаційний період 2022 року отримано найбільші показники приживлюваності саджанців – від $74,4 \pm 4,62\%$ у сорту 'Robusta' з видаленими стовбурами до $88,9 \pm 3,33\%$ у цього ж сорту з стовбурами. При цьому, у решти досліджуваних клонів приживлюваність обох варіантів садивного матеріалу була приблизно однаковою. У рослин сорту 'Dorskamp' вона становила відповідно $81,1 \pm 4,15$ і $82,2 \pm 4,05\%$, а у I-45/51 – $77,8 \pm 4,41$ і $75,6 \pm 4,55\%$.

4. Середня висота рослин після завершення першого періоду вегетації у переважній більшості випадків була вищою у саджанців з видаленим стовбуром. Найбільшу висоту при цьому мали рослини клону 'Dorskamp' – $189,5 \pm 3,45$ см. Рослини цього сорту з саджанців з надземною частиною мали середню висоту $174,0 \pm 7,69$ см. Приріст за висотою у саджанців зі стовбуром був дуже малим і становив від 4,6 до 17,7 см.

5. У 2021 році показники висоти виявилися дещо вищими але в цілому загальна тенденція, що спостерігалася 2020 року збереглася. Приріст саджанців зі стовбурами становив від 17,8 см у сорту 'Robusta' до 31,1 см – у 'Dorskamp'. Відповідно вищими виявилися і їх середні висоти. При цьому, у випадку з сортом 'Dorskamp', саджанці з стовбурами виявилися дещо вищими – $190,4 \pm 7,93$ см проти $188,6 \pm 4,15$ см за використання саджанців з видаленим стовбуром.

6. Погодні умови 2022 року були найменш сприятливі для росту рослин сорту 'I-45/51'. Їх середня висота в кінці вегетації становила за використання саджанців зі стовбурами $134,1 \pm 4,31$ см, а без стовбурів – $135,9 \pm 4,94$ см. У рослин сорту 'Robusta' показники середньої висоти рослин з саджанців зі стовбурами у 2022 році вперше за роки досліджень виявилися дещо вищими за показники саджанців без стовбурів ($160,1 \pm 5,09$ і $155,6 \pm 5,91$ см відповідно).

7. Отже, проведені дослідження вказують на в цілому вищу ефективність використання при створенні насаджень тополі саджанців без стовбурів, порівняно з саджанцями зі стовбурами. Крім вищих показників приживлюваності живців і більшої середньої висоти рослин, за цього варіанту вивільняється значна кількість однорічних стовбурів, які можна використати для заготівлі високоякісних живців для створення насаджень, чи

виросування живцевих саджанців.

8. Дослідження чотирирічних енергетичних плантацій культивуру 'Robusta', які були створені однорічними здерев'янілими живцями за схеми розміщення посадкових місць 2,0x0,8 та 2,0x0,9 м показало що після чотирьох років продуктивність таких плантацій становить від 25,78 до 29,94 т/га, або 458,8–532,8 ГДж/га.

9. Дослідження росту даних насаджень тополі доцільно продовжити для встановлення оптимального періоду ротації таких насаджень, який за попередніми підрахунками може становити 5–7 років.

РОЗДІЛ 4

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЛАНТАЦІЙ ТОПОЛІ

4.1. Ресурси сільськогосподарських земель для створення енергетичних плантацій

Двома основними негативними екологічними аспектами, що склалися в Україні є низька лісистість території та її висока розораність [1; 14; 55; 56]. Названі значною мірою можуть бути розв'язані за рахунок вирощування насаджень швидкорослих деревних рослин на сільськогосподарських невіддях і еродованих землях, площа яких на даний час становить відповідно 1,5 і 3,0 млн. га (табл. 4.1).

На частині таких земель доцільно вирощувати також енергетичну деревну біомасу, що дозволило значною мірою вирішити також енергетичну проблему, яка перед нашою країною стоїть дуже гостро.

Як видно з наведених у таблиці 4.1 даних, за виключенням гірської Закарпатської області, територію України за наявністю сільськогосподарських неугідь і еродованих земель можна умовно поділити на південно-східну та північно-західну частини.

До першої з них відносяться регіони з наявністю більшої площі еродованих земель і неугідь (від 224,5 до 394,4 тис. га):

Республіка Крим – 394,4 тис. га;

Донецька 348,1 тис. га;

Запорізька – 278,6 тис. га;

Луганська – 367,9 тис. га;

Одеська – 286,6 тис. га;

Херсонська – 224,5 тис. га.

Таблиця 4.1

**Ресурси сільськогосподарських земель для
лісорозведення, тис. га [39]**

Область	Усього земель	У тому числі:	
		еродовані землі	угіддя
Республіка Крим	394,4	225,8	168,6
Вінницька	131,8	89,1	42,7
Волинська	93,4	71,8	21,6
Дніпропетровська	198,3	100,2	98,1
Донецька	348,1	221,4	126,7
Житомирська	98,0	56,4	41,6
Закарпатська	250,6	226,5	24,1
Запорізька	278,6	249,7	28,9
Івано-Франківська	76,3	36,0	40,3
Київська	149,7	79,5	70,2
Кіровоградська	159,9	123,2	36,7
Луганська	367,9	157,2	210,7
Львівська	174,9	121,8	53,1
Миколаївська	185,6	140,4	45,2
Одеська	286,6	210,8	75,8
Полтавська	131,9	106,8	25,1
Рівненська	176,9	149,2	27,7
Сумська	56,1	36,3	19,8
Тернопільська	109,1	81,5	27,6
Харківська	170,8	117,0	53,8
Херсонська	224,5	85,2	139,3
Хмельницька	120,6	78,0	42,6
Черкаська	108,4	83,1	25,3
Чернівецька	120,0	107,4	12,6
Чернігівська	83,6	49,0	34,6
Разом	4496,0	3003,3	1492,7

До північно-західної частини з площею еродованих земель і неугідь (від 56,1 до 176,9 тис. га) відносяться:

Дніпропетровська – 198,3 тис. га;
Вінницька – 131,8 тис. га;
Волинська – 93,4 тис. га;
Житомирська – 98,0 тис. га;
Івано-Франківська – 76,3 тис. га;
Київська – 149,7 тис. га;
Кіровоградська – 159,9 тис. га;
Львівська – 174,9 тис. га;
Миколаївська – 185,6 тис. га;
Полтавська – 131,9 тис. га;
Рівненська – 176,9 тис. га;
Сумська – 56,1 тис. га;
Тернопільська – 109,1 тис. га;
Харківська – 170,8 тис. га;
Хмельницька – 120,6 тис. га;
Черкаська – 108,4 тис. га;
Чернігівська – 83,6 тис. га;
Чернівецька – 120,0 тис. га.

Площа сільськогосподарських неугідь і еродованих земель у Закарпатській області становить 250,6 тис. га.

Основні адміністративні області, що входять до регіону наших досліджень – Правобережного Лісостепу (Київська, Черкаська і Вінницька), мають площі неугідь і еродованих земель від 108,4 до 149,7 тис. га.

Згідно відповідної постанови Уряду [39], намічено створити лісові насадження на невіддях на площі 180826 га.

Виконання даної постанови та заліснення інших невідь, які не попали під її дію дозволить значно підвищити лісистість території держави, поповнити лісосировинні запаси, що матиме важливе економічне та екологічне значення. Як вважають деякі дослідники [29; 30; 33; 56; 69], доцільно, щоб переважна більшість таких земель на перших етапах засаджувалася плантаційними

насадженнями швидкорослих деревних рослин, зокрема – тополі на енергетичні цілі, оскільки, у зв'язку з особливостями будови ґрунтового профілю сільськогосподарських земель, перше покоління лісу в цих умовах недовговічне. Вирощування в таких умовах 1–3 генерацій плантаційних культур, крім отримання значної кількості високоякісних сортиментів деревини чи енергетичної біомаси, дозволить сформувати на зайнятих ними землях сприятливіші умови для успішного росту тут у подальшому деревних рослин чи сільськогосподарських культур. Таким чином одночасно будуть вирішені кілька екологічних проблем: припинення ерозії ґрунтів, відновлення родючості ґрунтів, фіксація вуглекислоти і виділення кисню вирощуваними насадженнями, збільшення різноманіття видів тощо, а також – економічна – отримання деревної сировини.

4.2. Екологічна ефективність плантаційного вирощування енергетичної біомаси тополі

Одним із основних аспектів, який забезпечує екологічну ефективність плантаційного вирощування енергетичної біомаси тополі є прискорене накопичення плантаційними насадженнями деревної маси, що супроводжується, відповідно, більшим поглинанням ними в процесі фотосинтезу вуглекислого газу і виділенню більшої кількості кисню, порівняно з менш швидкоростучими деревами і чагарниками. За даними Е.Ф. Брюніга [56] на утворення однієї тонни абсолютно сухої маси деревини, незалежно від деревного виду, поглинається у середньому 1,83 тонни CO_2 і виділяється 1,32 тонни кисню.

Проведені нами на основі даних таблиці 3.8 розрахунки показали, що всього за 4 роки досліджувані

нами тополеві енергетичні плантації сорту 'Robusta' на формування надземної деревної маси поглинають з атмосфери 47–55 т/га вуглекислого газу та виділяють 34–40 т/га кисню (табл. 4.2).

Особливо інтенсивно процеси накопичення деревної енергетичної біомаси і, відповідно, – поглинання CO₂ і виділення O₂ спостерігалися останні роки вирощування, коли ці показники зростали більш ніж удвічі.

Крім надземної деревної біомаси важливо враховувати також біомасу корневих систем та масу листя, яке щорічно опадає на поверхню ґрунту, перегниває і збагачує орний шар органікою та поживними елементами.

Таблиця 4.2

**Поглинання вуглекислого газу та виділення кисню
плантаціями тополі культивуvarу 'Robusta' на
вилугуваних чорноземах протягом перших чотирьох
років вирощування**

№ ділянки	Вік плантації, років	Кількість дерев, шт./га	Вихід сухої біомаси, т/га	Кількість поглинутого CO ₂ , т/га	Кількість виділеного кисню, т/га
1.	1	4631	0,35	0,64	0,46
2.		4305	0,28	0,51	0,37
1.	2	4094	2,97	5,44	3,92
2.		3004	2,25	4,12	2,97
1.	3	4060	14,58	26,68	19,25
2.		2915	11,66	21,34	15,39
1.	4	4060	29,94	54,79	39,52
2.		2915	25,78	47,18	34,03

Як показали наші дослідження, після четвертого вегетаційного періоду на ґрунт під насадженнями енергетичної тополі опало від 3,6 до 4,2 т/га сухої листяної біомаси (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

**Вміст елементів живлення у листяному опаді 4-річних
плантацій тополі сорту 'Robusta' на вилугуваних
чорноземах**

№ дослідної ділянки	Кількість рослин, шт./га	Маса сухого листя, т/га	Вміст елементів живлення, кг/га			
			N	P	K	Ca
1.	4060	4,19	96,4	10,1	62,9	76,3
2.	2915	3,61	83,0	8,7	54,2	65,7

Як видно з наведених даних, ця значна кількість органіки, що за 1-2 роки трансформується у гумус, містить також достатньо велику кількість макроелементів живлення, які також значно підвищують родючість ґрунту.

Дещо більша кількість листяного опадів виявилася у варіанті з вищою щільністю стояння рослин, що значною мірою корелює з вищою продуктивністю енергетичної біомаси. За приблизно однакового хімічного складу опалого листя, більша кількість макроелементів також потрапила на ґрунтову поверхню густішого варіанту. При цьому ґрунт збагатився на значну кількість азоту (96,4 кг/га), калію (62,9 кг/га) та кальцію (76,3 кг/га). Вміст фосфору в опаді виявився незначним – 10,1 кг/га.

Таким чином, при плантаційному вирощуванні енергетичної біомаси тополі можна отримати високий екологічний ефект, пов'язаний з невиснажливим використанням ґрунтових умов та рядом інших корисних впливів, що позитивно позначаються на довкіллі: захист території від вітрової та водної ерозії, затримання вологи в ґрунті, біологічна консервація земель тощо.

Вирощування енергетичної біомаси тополі можливе також на більш зручних для вирощування її високопродуктивних насаджень умовах, зокрема – у

полезахисних лісосмугах. Як вважають науковці ІБКіЦБ НААН, для цього класичні полезахисні насадження слід трансформувати, увівши до їх складу швидкорослі деревні види, зокрема – тополю, яка здатна забезпечать достатньо високу ефективність лісосмуг практично з перших років їх існування, а надалі її дерева з певною періодичністю і через певну кількість рядів можна зізати на отримання енергетичної біомаси [42].

Одним із варіантів такого типу полезахисних насаджень може слугувати чотирирядна полезахисна смуга тополі, створена за нашої участі поблизу Дослідного поля ІБКіЦБ НААН, що в с. Ксаверівка Друга Білоцерківського району на Київщині за схемою садіння однорічних живцевих саджанців $3,0 \times 3,0$ м (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Дворічна чотирирядна полезахисна смуга тополі, Дослідне поле ІБКіЦБ, с. Ксаверівка Друга Білоцерківського району Київської області

Також схожого типу насадження тополі більшої чи меншої ширини можна використовувати в умовах гідрографічної мережі для захисту річок та інших водойм

від замулювання та призупинення ерозії ґрунтів. При цьому, зважаючи на значну вологолюбність представників роду Тополя, у них можна налагодити високоефективне отримання великої кількості енергетичної біомаси із забезпеченням повного виконання ними полезахисних функцій [42].

Висновки до розділу 4:

1. Важливим резервом для поліпшення екологічного стану України та вирішення енергетичної проблеми є великі обсяги сільськогосподарських неугідь і еродованих земель (відповідно 1,5 і 3,0 млн. га), значну частину яких передбачається віддати під заліснення. На частині таких земель доцільно вирощувати також енергетичну деревну біомасу тополі.

2. Встановлено, що всього за 4 роки тополеві енергетичні плантації сорту 'Robusta' на формування надземної деревної маси поглинають з атмосфери 47–55 т/га вуглекислого газу та виділяють 34–40 т/га кисню.

3. Як показали наші дослідження, після четвертого вегетаційного періоду на ґрунт під насадженнями енергетичної тополі опало від 3,6 до 4,2 т/га сухої листяної біомаси. При цьому він збагатився на значну кількість азоту (96,4 кг/га), калію (62,9 кг/га) та кальцію (76,3 кг/га). Вміст фосфору в опаді виявився незначним – 10,1 кг/га.

4. Вирощування енергетичної біомаси тополі можливе також на більш зручних для вирощування її високопродуктивних насаджень умовах, зокрема – у полезахисних лісосуках. При цьому, у них можна налагодити високоефективне отримання великої кількості енергетичної біомаси із забезпеченням повного виконання ними полезахисних функцій.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА Й ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ТОПОЛІ В ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

5.1. Економічна ефективність вирощування енергетичних плантацій тополі

Економічна ефективність вирощування плантацій тополі залежить від собівартості (витрат на їх створення і догляд за ними, вартості заготівлі енергетичної біомаси та урожайності насадження) і ціни на енергетичну біомасу на час її заготівлі.

Станом на 2022–2023 роки вартість 1 тонни сухої біомаси становить в середньому 1600 грн, а вартість теплової енергії – 1654,41 грн за 1 Гкал [119].

Результати розрахунку вартості біомаси та енергії, яка в ній міститься, за роками вирощування, наведені у таблиці 5.1.

Як видно з наведених даних, синхронно із збільшенням урожайності енергетичної біомаси з кожним роком досліджень, стрімко зростає її вартість. При цьому, вартість енергії, що в ній міститься значно (у 4,4 рази) переважає вартість самої енергетичної біомаси. Це вказує на те, що підприємства-виробники енергетичної біомаси, для підвищення економічної ефективності своєї діяльності, повинні максимально налаштовувати переробляння біомаси для реалізації не самої біомаси, а теплової чи іншої енергії, отриманої з неї.

Різке збільшення вартості біомаси протягом чотирьох років вирощування (рис. 5.1) вказує на доцільність більш тривалого періоду вирощування таких насаджень для отримання максимальної економічної вигоди.

Таблиця 5.1

**Вартість біомаси та енергії з неї на плантаціях
тополі сорту 'Robusta'**

№ дослідної ділянки	Вік плантації, років	Урожай сиріої біомаси, т/га	Урожай сухої біомаси, т/га	Вартість сухої біомаси, грн./га	Вихід енергії, ГДж/га	Вартість енергії, тис. грн./га
1.	1	0,69	0,35	560	6,23	2,5
2.		0,56	0,28	448	4,98	2,0
1.	2	5,94	2,97	4752	52,85	20,8
2.		4,51	2,25	3600	40,04	15,8
1.	3	29,15	14,58	23328	259,5	102,2
2.		23,32	11,66	18656	207,5	81,7
1.	4	59,89	29,94	47904	532,8	209,9
2.		51,57	25,78	41248	458,8	180,7

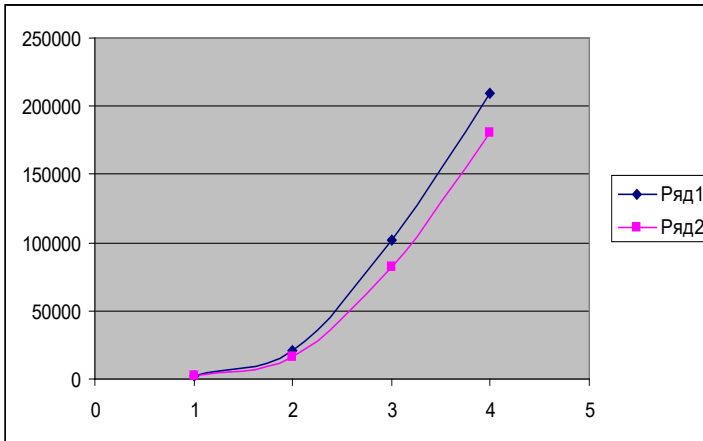


Рис. 5.1. Динаміка зростання вартості енергії, накопиченої в урожаї енергетичних плантацій тополі різної густоти: Ряд 1 – густота 6,3 тис. шт./га; Ряд 2 – густота 5,7 тис. шт./га.

Як видно з наведених на рис. 5.1 даних, за чотири роки вартість урожаю більш густого варіанту, зважаючи на тренд графіків наведених графіків, мінімум ще у наступні два роки більший прибуток можна отримати з плантації з початковою густиотою 6,3 тис. шт./га, порівняно з густиотою 5,7 тис. шт./га.

Зниженню собівартості створення енергетичних плантацій тополі однорічними живцевими саджанцями може сприяти висаджування їх без стовбурів. При цьому підвищується приживлюваність, інтенсивність росту і за його застосування вивільняються однорічні стовбури, з яких отримують стандартні живці.

Використавши дані табл. 3.2–3.4; початкову густиоту плантації 6,3 тис. шт./га і вартість одного живця 2,12 грн., ми розрахували додатковий прибуток від використання зрізаних стовбурів на живці (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2

Розрахунок додаткового прибутку від заготівлі живців зі зрізаних стовбурів однорічних живцевих саджанців при створенні плантацій тополі

Сорт тополі	Середня висота живцевих саджанців, см	Кількість отриманих живців, тис. шт./га	Вартість одного живця, грн	Прибуток від реалізації живців, грн./га
'Dorskamp'	158,7	37,8	2,12	80136
'Robusta'	149,4	31,5	2,12	66780
'I-45/51'	137,6	30,1	2,12	63812

Таким чином зрізання надземної частини живцевих саджанців та її використання для заготівлі живців може мати значний прибуток, який оцінюється на рівні від 64 до 80 тис. грн. на 1 га.

5.2. Енергетична ефективність вирощування біомаси тополі

Вихід енергії з одного гектара та її вартість (табл.5.1) вказує на значну економічну ефективність вирощування енергетичних плантацій. Для більш об'єктивнішої оцінки ефективності вирощування різних культур використовують показник енергетичної ефективності технологій їх вирощування – енергетичний коефіцієнт, який являє собою співвідношення енергії, акумульованої у врожаї з енергією, витраченою на його вирощування і заготівлю (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Енергетична ефективність чотирирічних плантацій тополі культивуvarу 'Robusta' на вилугуваних чорноземах

№ дослідної ділянки	Кількість садивних місць, шт./га	Урожайність сухої біомаси, т/га	Затрати сукупної енергії ГДж /га	Вихід енергії, ГДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності
1.	6342	29,94	72,3	532,8	7,4
2.	5650	25,78	68,6	458,8	6,1

Результати проведених досліджень свідчать, що кількість енергії, яка міститься у вирощеній біомасі тополі, у 6,1–7,4 разів перевищують витрати енергії на її вирощування. Найефективнішим виявився варіант з густотою садіння 6,3 тис. шт./га, за якого коефіцієнт енергетичної ефективності становив 7,4.

Висновки до розділу 5

1. Із збільшенням урожайності енергетичної біомаси з кожним роком досліджень, стрімко зростає її вартість. При цьому, вартість енергії, що в ній міститься значно (у 4,4 рази) переважає вартість самої енергетичної біомаси.

2. Різке збільшення вартості біомаси протягом чотирьох років вирощування тополі вказує на доцільність більш тривалого (5-6-річного) періоду вирощування таких насаджень для отримання максимальної економічної вигоди.

3. Зрізання надземної частини живцевих саджанців та її використання для заготівлі живців може мати значний прибуток, який оцінюється на рівні від 64 до 80 тис. грн. на 1 га.

4. Енергетично найефективнішим, серед використаних у дослідженнях, варіант із густотою садіння 6,3 тис. шт./га, за якого коефіцієнт енергетичної ефективності досягає 7,4.

ВИСНОВКИ

1. Тополя, як одна з найбільш швидкорослих деревних рослин світу здавна культивується для отримання деревини та виконання інших корисних функцій. Протягом останніх десятиліть її насадження почали вирощувати для отримання енергетичної біомаси.

2. В Україні роботи з плантаційного вирощування енергетичної тополі на даний час помітно інтенсифікувалися. Для забезпечення позитивних результатів, прикладні роботи повинні мати належний науковий супровід. Це робить актуальними дослідження особливостей росту, розвитку та продуктивності енергетичних плантацій, добору високопродуктивних і стійких до дії негативних чинників видів і сортів тополі та застосування ефективних елементів технології їх вирощування.

3. Природні умови Правобережного Лісостепу – досить сприятливі для вирощування насаджень тополі енергетичного та захисного спрямування. Температурний режим середовища протягом трирічного періоду досліджень (2020–2022 рр.) був дещо вищим середніх багаторічних показників. За кількість опадів та зволоженістю останні роки були посушливішими за середні багаторічні показники.

4. У всіх досліджуваних культиварів тополі ('Dorskamp', 'I-45/51' та 'Robusta') протягом перших двох років вищі показники приживлюваності однорічних живцевих саджанців були у варіанті зі зрізаною надземною частиною – від $57,0 \pm 3,01$ до $68,9 \pm 2,90\%$. У саджанців з незрізаною надземною частиною приживлюваність становила від $50,3 \pm 2,40$ % до $68,1 \pm 2,71$ %. За вегетаційний період 2022 року отримано найбільші показники приживлюваності саджанців – від $74,4 \pm 4,62\%$ у сорту 'Robusta' з видаленими стовбурами до $88,9 \pm 3,33\%$ у цього

ж сорту із стовбурами. У решти досліджуваних клонів приживлюваність обох варіантів садивного матеріалу була приблизно однаковою. У рослин сорту 'Dorskamp' вона становила відповідно $81,1 \pm 4,15$ і $82,2 \pm 4,05\%$, а у I-45/51 – $77,8 \pm 4,41$ і $75,6 \pm 4,55\%$.

5. Середня висота рослин після першого року була переважно вищою у саджанців з видаленим стовбуром. Найбільшу висоту мали рослини клону 'Dorskamp' – $189,5 \pm 3,45$ см. У необрізаних рослин цього сорту вона становила $174,0 \pm 7,69$ см. Приріст за висотою у саджанців зі стовбуром був дуже малим і становив від 4,6 до 17,7 см. У 2021 році показники висоти виявилися дещо вищими. Приріст саджанців зі стовбурами становив від 17,8 см у сорту 'Robusta' до 31,1 см – у 'Dorskamp'. При цьому, у сорту 'Dorskamp', саджанці з стовбурами виявилися дещо вищими – $190,4 \pm 7,93$ см проти $188,6 \pm 4,15$ см за використання саджанців з видаленим стовбуром. У сорту 'I-45/51' середня висота становила у саджанців зі стовбурами $134,1 \pm 4,31$ см, а без стовбурів – $135,9 \pm 4,94$ см. У рослин сорту 'Robusta' показники середньої висоти рослин з саджанців зі стовбурами у 2022 році вперше за роки досліджень виявилися дещо вищими за показники саджанців без стовбурів ($160,1 \pm 5,09$ і $155,6 \pm 5,91$ см відповідно).

6. Проведені дослідження вказують на в цілому вищу ефективність використання при створенні насаджень тополі саджанців без стовбурів, порівняно з саджанцями зі стовбурами. Крім вищих показників приживлюваності живців і більшої середньої висоти рослин, за цього варіанту вивільняється значна кількість однорічних стовбурів, які можна використати для заготівлі високоякісних живців для створення насаджень, чи вирощування живцевих саджанців.

7. Дослідження чотирирічних енергетичних плантацій культивуvarу 'Robusta', що були створені однорічними за розміщення посадкових місць 2,0x0,8 та 2,0x0,9 м дозволило з'ясувати, що після чотирьох років вирощування з одного гектару можна отримати 25,78–29,94 тонн сухої біомаси, що еквівалентно 458,8–532,8 ГДж енергії. Дослідження росту даних насаджень тополі доцільно продовжити для встановлення оптимального періоду ротації таких насаджень, який за попередніми підрахунками може становити 5–6 років.

8. Важливим резервом для поліпшення екологічного стану України та вирішення енергетичної проблеми є великі обсяги сільськогосподарських неугідь і еродованих земель (відповідно 1,5 і 3,0 млн. га), значну частину яких передбачається віддати під заліснення. На частині таких земель доцільно вирощувати також енергетичну деревну біомасу тополі.

9. Встановлено, що всього за 4 роки тополеві енергетичні плантації сорту 'Robusta' на формування надземної деревної маси поглинають з атмосфери 47–55 т/га вуглекислого газу та виділяють 34–40 т/га кисню.

10. Після четвертого вегетаційного періоду на ґрунт під насадженнями енергетичної тополі опало від 3,6 до 4,2 т/га сухої листяної біомаси. При цьому він збагатився на значну кількість азоту (96,4 кг/га), калію (62,9 кг/га) та кальцію (76,3 кг/га). Вміст фосфору в опаді виявився незначним – 10,1 кг/га.

11. Із збільшенням урожайності енергетичної біомаси з кожним роком досліджень, стрімко зростає її вартість. При цьому, вартість енергії, що в ній міститься значно (у 4,4 рази) переважає вартість самої енергетичної біомаси.

12. Різке збільшення вартості біомаси протягом чотирьох років вирощування тополі вказує на доцільність більш тривалого (5-6-річного) періоду вирощування таких

насаджень для отримання максимальної економічної вигоди.

13. Зрізання надземної частини живцевих саджанців та її використання для заготівлі живців може мати значний прибуток, який оцінюється на рівні від 64 до 80 тис. грн. на 1 га.

14. Енергетично найефективнішим, серед використаних у дослідженнях, варіант із густотою садіння 6,3 тис. шт./га, за якого коефіцієнт енергетичної ефективності досягає 7,4.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. В умовах Правобережного Лісостепу одним з найбільш перспективних для створення енергетичних плантацій тополі є культивар 'Robusta'. За необхідності можна також використовувати культивар 'Dorskamp'.

2. На етапі створення енергетичних плантацій тополі однорічними саджанцями слід віддавати перевагу використанню саджанців з видаленими стовбурами.

3. За створення енергетичних плантацій тополі однорічними живцями за кількості садивних місць 5-6 тис. шт./га, оптимальним віком заготівлі їхньої біомаси є вік 5-7 років.

АНОТАЦІЯ

Фучило Я.Д., Кирилко Я.О. «Агроекологічні аспекти створення енергетичних плантацій тополі (*Populus L.*) в умовах Правобережного Лісостепу України»

Актуальність теми. Залежність України від імпорту енергоносіїв та вичерпність викопних джерел енергії спонукає до дослідження можливостей використання власних ресурсів для отримання дешевої сировини для виробництва біопалива. Серед відновних енергоносіїв одним із основних є деревина. Вона може бути отримана підчас догляду за лісом та заготівлі лісової продукції, або ж вирощуватися на спеціальних енергетичних плантаціях швидкорослих деревних рослин, зокрема – різних видів і сортів тополі.

Успішність плантаційного вирощування енергетичної сировини тополі залежить від врахування ґрунтово-кліматичних умов, сортових особливостей і застосованих елементів технології створення, вирощування та експлуатації їх плантацій. Це робить актуальними дослідження особливостей росту енергетичних плантацій, добору високопродуктивних і стійких до дії негативних чинників конкретної місцевості видів і сортів тополі та ефективних елементів технології їх вирощування

Ґрунтово-кліматичні умови, що притаманні більшості регіонів України, сприятливі для вирощування високопродуктивних насаджень тополі. Але, зважаючи на суттєві відмінності між конкретними регіонами за цими параметрами, залишаються не вирішеними низка питань стосовно добору перспективних сортів для окремих регіонів та встановлення ефективних технологічних схем створення енергетичних та захисних насаджень тополі. На вирішення вищезазначених питань і спрямована представлена монографічна робота.

Наукова новизна одержаних результатів.

Уперше встановлені перспективні для вирощування в умовах Правобережного Лісостепу сорти тополі та розроблені ефективні способи створення їх енергетичних плантацій з використанням різних видів садивного матеріалу.

Проведено комплексні дослідження особливостей росту та урожайності біомаси енергетичних плантацій сорту 'Робуста' протягом перших років з оцінкою їх економічної, енергетичної та екологічної ефективності.

Удосконалено елементи технології створення енергетичних плантацій тополі.

Набули подальшого розвитку наукові положення щодо продуктивності енергетичної біомаси плантацій тополі в Правобережному Лісостепу.

Практичне значення отриманих результатів. Під час проведення досліджень було встановлено найбільш придатний сорт для створення енергетичних плантацій тополі в регіоні досліджень та удосконалено основні елементи технології вирощування насаджень тополі. Результати проведених досліджень представлені в «Методичних рекомендаціях з технології вирощування енергетичних плантацій верби та тополі».

Основні результати досліджень. За результатами досліджень особливостей створення, росту і продуктивності плантацій тополі в умовах Правобережного Лісостепу встановлено, що для підвищення показників приживлюваності живцевих саджанців сортів тополі 'Dorskamp', 'I-45/51' та 'Robusta' є їх висаджування без надземної частини. Було встановлено, що приживлюваність садивного матеріалу змінювалася залежно від погодних умов вегетаційного періоду і частково – від виду садивного матеріалу.

У досліджуваних культиварів тополі протягом 2020-2021 років вищі показники приживлюваності живцевих саджанців були у випадку використання саджанців зі зрізаними стовбурами – від $57,0 \pm 3,01$ до $68,9 \pm 2,90\%$. Саджанці з надземною частиною прижились гірше - від $50,3 \pm 2,40$ % до $68,1 \pm 2,71\%$. Протягом вегетаційного періоду 2022 року найвищою приживлюваність саджанців була у сорту 'Robusta'. Вона становила $74,4 \pm 4,62\%$ у саджанців з видаленими стовбурами та $88,9 \pm 3,33\%$ - зі стовбурами. У решти досліджуваних сортів приживлюваність обох видів садивного матеріалу була майже однаковою. У рослин сорту 'Dorskamp' вона становила $81,1 \pm 4,15$ і $82,2 \pm 4,05\%$ відповідно, а у I-45/51 – відповідно $77,8 \pm 4,41$ і $75,6 \pm 4,55\%$.

Було встановлено, що середня висота рослин після завершення першого періоду вегетації у переважній більшості випадків була вищою у саджанців з видаленим стовбуром. Найбільшу висоту при цьому мали рослини клону 'Dorskamp' – $189,5 \pm 3,45$ см. У необрізаних рослин цього сорту вона становила $174,0 \pm 7,69$ см. Приріст за висотою у саджанців зі стовбуром був дуже малим і становив від 4,6 до 17,7 см.

Результати аналогічних досліджень, які були проведені протягом вегетаційного періоду 2021 року показали, що показники збереженості та висоти виявилися дещо вищими але в цілому загальна тенденція, що спостерігалася 2020 року збереглася. Приріст саджанців зі стовбурами у 2021 році був вищим, порівняно з 2020 роком – від 17,8 см у сорту 'Robusta' до 31,1 см – у 'Dorskamp'. Відповідно вищими виявилися і їх середні висоти. При цьому, у випадку з сортом 'Dorskamp', саджанці з стовбурами виявилися дещо вищими – $190,4 \pm 7,93$ см проти $188,6 \pm 4,15$ см за використання саджанців з видаленим стовбуром.

Дослідження 2022 року в цілому підтвердили висновки, зроблені у попередні роки. Найбільші показники висоти на кінець вегетаційного періоду 2022 року, як і у попередні роки, виявилися у рослин сорту 'Dorskamp'. За використання саджанців зі стовбурами висота становила $197,2 \pm 6,61$ см, а без стовбурів – $209,3 \pm 5,62$ см.

Погодні умови 2022 року були найменш сприятливі для росту рослин сорту 'I-45/51'. Їх середня висота в кінці вегетації становила за використання саджанців зі стовбурами $134,1 \pm 4,31$ см, а без стовбурів – $135,9 \pm 4,94$ см.

У рослин сорту 'Robusta' показники середньої висоти рослин з саджанців зі стовбурами у 2022 році вперше за роки досліджень виявилися дещо вищими за показники саджанців без стовбурів ($160,1 \pm 5,09$ і $155,6 \pm 5,91$ см відповідно).

Отже, проведені дослідження вказують на в цілому вищу ефективність використання при створенні насаджень тополі саджанців без стовбурів, порівняно з саджанцями, які висаджувалися із стовбурами. Крім вищих показників приживлюваності рослин і більшої середньої висоти рослин, за цього варіанту вивільняється значна кількість однорічних стовбурів, які можна використати для заготівлі високоякісних живців для створення насаджень, чи вирощування живцевих саджанців.

Наведено результати чотирирічних досліджень росту енергетичних плантацій сорту 'Robusta' на малогумусних чорноземах Правобережного Лісостепу України, створених однорічними здерев'янілими живцями завдовжки 25 см і діаметром 0,8–1,0 см. Схема садіння – $2,0 \times 0,8$ м та $2,0 \times 0,9$ м. Після першого року дерева на обох ділянках мали середню висоту 1,6 м. За другий рік їх річний приріст за висотою у рідкішого варіанту становив $2,0 \pm 0,05$ м, а за вищої густоти стояння рослин – $2,1 \pm 0,05$ м. Протягом третього вегетаційного періоду приріст досяг показників

відповідно 3,1 та 3,0 м, а середня висота рослин збільшилась до 6,8 та 6,6 м відповідно. За четвертий рік вегетації ріст рослин тополі за висотою суттєво сповільнився і становив відповідно 1,2 та 1,1 м. При цьому показники середньої висоти чотирирічних насаджень склали $8,0 \pm 0,16$ м на густому варіанті та $7,7 \pm 0,22$ м – на більш рідкому. Після першого року середній діаметр стовбурців на висоті 1,3 м виявився більшим у рослин густішого варіанту – 0,5 см, тоді як за меншої густоти стояння – 0,3 см. Однак, уже за наступний рік він у останнього насадження суттєво зріс і став на 2 мм більшим, ніж за вищої густоти стояння. Така ж різниця збереглася і протягом третього року, коли середній діаметр стовбурів за вищої густоти становив 5,8 см, а за меншої – 6,2 см. На четвертий рік вирощування приріст за діаметром у обох насадженнях значно знизився (становив відповідно 1,4 і 1,8 см) і їх середній діаметр досяг показників $7,2 \pm 0,22$ і $8,0 \pm 0,31$ см відповідно. Встановлено, що після трьох років вирощування плантації тополі культивуvarу 'Robusta', створеної живцями, з 1 га можна отримати від 11,66 до 14,58 тонн сухої біомаси, або відповідно – від 207,5 до 259,5 ГДж енергії, а після четвертого року – від 25,78 до 29,94 т/га, що відповідає від 458,8 до 532,8 ГДж/га енергії. Суттєве зростання показників росту і продуктивності біомаси енергетичних плантацій тополі сорту 'Robusta' протягом четвертого року вегетації вказує, що для отримання максимальної урожайності біомаси доцільно застосовувати 5–6-річний термін вирощування таких плантацій.

Встановлено, що за 4 роки досліджувані тополеві плантації клону 'Robusta' поглинають з атмосфери на формування деревної маси 47–55 т/га вуглекислого газу та вивільняють 34–40 т/га кисню. Після четвертого вегетаційного періоду на поверхню ґрунту під цими

насадженнями опало від 3,6 до 4,2 т/га сухої листяної біомаси. Вона містить значну кількість азоту (96,4 кг/га), калію (62,9 кг/га) та кальцію (76,3 кг/га). Вміст фосфору в листяному опаді був незначним – 10,1 кг/га.

Вирощування енергетичної тополі передбачається на сільськогосподарських невіддях, але воно можливе і на більш багатих землях, зокрема – у полезахисних лісосмугах, де можна налагодити високоефективне вирощування енергетичної біомаси одночасно з виконанням ними у повному обсязі екологічних функцій.

Із збільшенням урожайності енергетичної біомаси з кожним роком досліджень, стрімко зростає її вартість. При цьому, вартість енергії, що в ній міститься значно (у 4,4 рази) переважає вартість самої енергетичної біомаси. Зрізання надземної частини саджанців тополі та заготівля з неї живців може дати значний прибуток – на рівні від 64 до 80 тис. грн. на 1 га. Енергетично найбільш ефективним виявився варіант із щільністю садіння 6,3 тис. шт./га, за якого коефіцієнт енергетичної ефективності становить 7,4.

Ключові слова: *Populus L.*; біоенергетика; 'Dorskamp'; 'I-45/51'; 'Robusta'; живці, живцеві саджанці; приживлюваність, середня висота; середній діаметр; урожайність, продуктивність, біомаса

SUMMARY

Fuchylo Ya. D., Kyrylko Ya.O. "Agroecological aspects of the creation of poplar (*Populus L.*) energy plantations in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine "

Actuality of theme. Ukraine's dependence on imported energy sources and the depletion of non-renewable energy sources prompts research into the possibilities of using its own resources to obtain cheap raw materials for the production of biofuel. Wood occupies an important place among renewable sources of energy. It can be obtained during forest care and

harvesting of forest products, or it can be grown on special energy plantations of fast-growing woody plants, in particular - different types and varieties of poplar.

The success of plantation cultivation of poplar energy raw materials depends on taking into account soil and climatic conditions, varietal characteristics and applied elements of the technology of creating, growing and operating their plantations. This makes it important to research the features of the growth of energy plantations, the selection of highly productive and resistant to the effects of negative factors of a specific area of poplar species and varieties, and effective elements of their cultivation technology

The soil and climatic conditions inherent in most regions of Ukraine are favorable for the cultivation of highly productive poplar plantations. But, taking into account the significant differences between specific regions in terms of these parameters, a number of questions remain unresolved regarding the selection of promising varieties for individual regions and the establishment of effective technological schemes for the creation of energy and protective poplar plantations. The presented work is aimed at solving the above-mentioned issues.

Scientific novelty of the obtained results.

For the first time established poplar varieties that are promising for cultivation in the Right Bank Forest Steppe conditions and developed effective methods of creating their energy plantations using various types of planting material.

Comprehensive studies of the features of growth and biomass productivity of energy plantations of the 'Robusta' variety during the first years with an assessment of their economic, energy and environmental efficiency were conducted.

The elements of the technology for creating energy poplar plantations have been improved.

Scientific provisions regarding the productivity of energy biomass of poplar plantations in the Right Bank Forest Steppe have acquired further development

Practical significance of the obtained results. Through the research, the most suitable variety for creating energy poplar plantations in the research region was established, and the main technological operations for growing poplar plantations were improved. The results of the research are presented in "Methodical recommendations on the technology of growing willow and poplar energy plantations".

Main research results. On basis the results of researches of the features of creation, growth and productivity of poplar plantations in the Right Bank Forest Steppe conditions, it was established that to increase the survival rate seedlings from cuttings of poplar varieties 'Dorskamp', 'I-45/51' and 'Robusta', it is necessary to plant them without the aerial part. It was established that the viability of the planting material changed depending on the weather conditions of the growing season and partially - on the type of planting material.

Among the investigated poplar cultivars during 2020-2021, the higher rates of survival of cuttings seedlings were in the case of using seedlings with cut trunks - from 57.0 ± 3.01 to $68.9 \pm 2.90\%$. Seedlings with an aerial part took root worse - from $50.3 \pm 2.40\%$ to $68.1 \pm 2.71\%$. During the growing season of 2022, the highest survival of seedlings was in the variety 'Robusta'. It was $74.4 \pm 4.62\%$ in seedlings with removed trunks and $88.9 \pm 3.33\%$ - with trunks. In the rest of the studied varieties, the survival rate of both types of planting material was almost the same. In plants of the 'Dorskamp' variety, it was 81.1 ± 4.15 and $82.2 \pm 4.05\%$, respectively, and in I-45/51 - 77.8 ± 4.41 and 75.6 ± 4.55 , respectively %.

The average height of plants after the end of the first growing season was higher in the vast majority of cases in seedlings with the trunk removed. At the same time, plants of

the 'Dorskamp' clone had the highest height - 189.5 ± 3.45 cm. In unpruned plants of this variety, it was 174.0 ± 7.69 cm. The increase in height in seedlings with a trunk was very small and amounted to 4.6 to 17.7 cm.

The results of similar studies, which were conducted during the growing season of 2021, showed that the indicators of preservation and height were slightly higher, but in general, the general trend observed in 2020 was preserved. Growth of seedlings with trunks in 2021 was higher than in 2020, from 17.8 cm in 'Robusta' to 31.1 cm in 'Dorskamp'. Accordingly, their average heights turned out to be higher. Whereas in the case of the 'Dorskamp' variety, seedlings with trunks were slightly higher - 190.4 ± 7.93 cm against 188.6 ± 4.15 cm when using seedlings with the trunk removed.

The 2022 study generally confirmed the conclusions reached in previous years. The highest height indicators at the end of the growing season in 2022, as in previous years, were found in plants of the 'Dorskamp' variety. When using seedlings with trunks, the height was 197.2 ± 6.61 cm, and without trunks - 209.3 ± 5.62 cm.

The weather conditions of 2022 were the least favorable for the growth of the 'I-45/51' plants. Their average height at the end of the growing season was 134.1 ± 4.31 cm when seedlings with trunks were used, and 135.9 ± 4.94 cm without trunks. In plants of the 'Robusta' variety, the average height of plants from seedlings with trunks in 2022 for the first time during the years of research turned out to be higher than of seedlings without trunks (160.1 ± 5.09 and 155.6 ± 5.91 cm, respectively).

Therefore, the conducted studies indicate a generally higher efficiency of using saplings without trunks when creating poplar plantations, compared to seedlings that were planted with trunks. In addition to higher rates of survivability of cutting seedlings and greater average height of plants, this

option releases a significant number of one-year trunks that can be used for harvesting high-quality cuttings for planting or growing cutting seedlings.

The results of four-year research on the growth of energy plantations of the 'Robusta' variety on the Right Bank Forest Steppe, created by one-year lignified cuttings 25 cm long and 0.8–1.0 cm in diameter, are given. The planting scheme is 2.0x0.8 m and 2, 0x0.9 m.

In the second year, their annual increase in height in the less density variant was 2.0 ± 0.05 m, and in the case of a higher plant stand density - 2.1 ± 0.05 m. During the third growing season, the increase reached indicators of 3.1 and 3.0 m, respectively, and the average height of plants increased to 6.8 and 6.6 m, respectively. During the fourth year of vegetation, the growth of poplar plants in height slowed down significantly and amounted to 1.2 and 1.1 m, respectively. At the same time, the average height of four-year plantations was 8.0 ± 0.16 m in the thick version and 7.7 ± 0.22 m - on a more density one. After the first year, the average diameter of plant stems at a height of 1.3 m was larger in the denser version - 0.5 cm, while in the case of a lower stand density - 0.3 cm. However, already in the next year, it increased significantly in the last planting and became 2 mm more than with a higher standing density. The same difference was preserved during the third year, when the average diameter of the trunks at a higher density was 5.8 cm, and at a lower density - 6.2 cm.

In the fourth year of cultivation, the increase in diameter in both stands decreased significantly (it was 1.4 and 1.8 cm, respectively), and their average diameter reached $7, 2\pm 0.22$ and 8.0 ± 0.31 cm, respectively. It was established that after three years of growing a poplar plantation of the cultivar 'Robusta' created by cuttings, from 1 hectare can be obtained from 11.66 to 14.58 tons of dry biomass, or, accordingly, from 207.5 to 259.5 GJ of energy, and after in the fourth year - from 25.78 to 29.94 t/ha, which corresponds to 458.8 to 532.8 GJ/ha of energy. A significant increase in growth indicators and biomass productivity of energy plantations of poplar variety 'Robusta'

during the fourth year of cultivation indicates the expediency of using a 5-6-year period of cultivation of such plantations to obtain the maximum amount of biomass.

It was established that for 4 years the studied poplar plantations of the 'Robusta' clone absorbed 47–55 t/ha of carbon dioxide from the atmosphere and released 34–40 t/ha of oxygen for the formation of wood mass. After the fourth growing season, from 3.6 to 4.2 t/ha of dry leafy biomass fell to the soil surface under these plantations. It contains a significant amount of nitrogen (96.4 kg/ha), potassium (62.9 kg/ha) and calcium (76.3 kg/ha). The content of phosphorus in leaf litter was insignificant - 10.1 kg/ha.

The cultivation of energy poplar is envisaged on agricultural wastelands, but it is also possible on richer lands, in particular - in field protection forest strips, where it is possible to establish a highly efficient cultivation of energy biomass simultaneously their full ecological functions.

As the yield of energy biomass increases with each year of research, its value is increasing rapidly. At the same time, the cost of the energy contained in biomass significantly (by 4.4 times) outweighs the cost of the energy biomass itself. Cutting the aerial part of poplar seedlings and harvesting cuttings from it can give a significant profit - at the level of 64 to 80 thousand hryvnias per 1 ha. The option with a planting density of 6.3 thousand units/ha, for which the energy efficiency coefficient is 7.4, turned out to be the most energy efficient.

Keywords: Populus L.; bioenergy; 'Dorskamp'; "I-45/51"; 'Robusta'; cuttings, seedlings from cuttings; survival rate, average height; average diameter; harvest productivity, biomass

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз потенціалу лісового сектору України та виявлення факторів, що гальмують його інноваційний розвиток. Деревообробний сегмент // Регіональна програма «Правозастосування й управління в лісовому секторі країн східного регіону дії європейського інструменту сусідства та партнерства». 2014. Режим доступу: <http://www.fleg.org.ua/docs/213> (дата звернення 17.04.2017).
2. Андрійчук В. Г. Енергобезпека: енергозбереження і напрями диверсифікації енергопостачання (у контексті перспективи взаємодії України та Польщі) // Економічний часопис – XXI. 2007. № 7–8. Режим доступу: <http://soskin.info/ea/2007/7-8/200703.html> (дата звернення 07.09.2014).
3. Бордусь О. О., Фучило Я. Д., Іванюк І. Д. Ріст і продуктивність маточних плантацій тополі за різної висоти зрізання пагонів. Новітні агротехнології. 2021. № 9. <https://doi.org/10.21498/na.9.2021.261719>.
4. Гвоздь М. Я. Державна незалежність і добробут народу базуються на незалежній національній енергетиці // газ. «Українське слово» від 18–24 січня. 2006. № 3. С. 13.
5. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Кучерук П. П. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Аналітична записка БАУ №9 // Біоенергетична асоціація України. 2014. 32 с.
6. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Аналітична записка БАУ №10 // Біоенергетична асоціація України. 2014. 33 с.
7. Географічна енциклопедія України: у 3 т. / редкол.: О. М. Маринич (відпов. ред.) та ін. Київ: «Українська радянська енциклопедія» ім. М. П. Бажана. 1989.

8. Гордієнко М. І., Маурер В. М., Ковалевський С. Б. Методичні вказівки до вивчення та дослідження лісових культур: навчальне видання. Київ, 2000. 101 с.

9. Групування ґрунтів (МУ ЦИНАО, 1994) // Інститут біології, хімії та біоресурсів. Кафедра ґрунтознавства. Режим доступу: <http://ibhb.chnu.edu.ua/dpt/soilscience/korisni-materiali/grupuvannia-gruntiv-za-riznomanitnimi-pokaznikami> (дата звернення 02.01.2017).

10. Дебринюк Ю. М. Концептуальні засади плантаційного лісовирощування в Україні // Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2013. № 11. С. 25–33.

11. Дебринюк Ю. М. Плантаційні лісові культури в Західному Лісостепу України: концепція, методологія, ресурсний потенціал: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. с.-г. наук: спец. 06.03.01. Львів, 2007. 40 с.

12. Дебринюк Ю. М. Плантаційні лісові культури як елемент інтенсифікації лісогосподарського виробництва в Україні // Науковий вісник УкрДЛТУ. 2004. Вип. 14.5. С. 155–161.

13. Дебринюк Ю. М. Плантаційні лісові насадження як об'єкти невичерпного виробництва енергетичної біомаси // Лісівництво і агролісомеліорація. 2009. № 116. С. 170–178.

14. Дебринюк Ю. М., Соловій І. П. Плантаційне лісовирощування: еколого-економічні, технологічні та лісівничі аспекти // Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2011. № 10. С. 48–53.

15. ДСТУ 4115-2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. Київ: Держспоживстандарт України, 2002. 12 с.

16. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 36 с.

17. Думич В. Технології збирання верби // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової

техніки і технологій для сільського господарства України. 2014. Вип. 18(2). С. 228–236.

18. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0: Методичні вказівки. К.: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.

19. Інструктивно-методичні вказівки по створенню і вирощуванню тополевих насаджень. Житомир, 1962. 59 с.

20. Кирилко Я.О., Фучило Я. Д. Вплив виду садивного матеріалу на ефективність створення насаджень тополі в умовах Правобережного Лісостепу // Біоенергетика / Bioenergy. № 1-2 (21-22). 2023. С. 30–33.

21. Кирилко Я. О., Фучило Я. Д. Особливості формування енергетичної біомаси плантаціями тополі на вилугуваних чорноземах Центрального Лісостепу України. Новітні агротехнології. 2023. № 3. <https://doi.org/10.21498/na.9.2021.261719>

22. Клименко М. О., Фещенко В. П., Вознюк Н. М. Основи та методологія наукових досліджень: навч. посіб. Київ: Аграрна освіта, 2010. 351 с.

23. Концensusний документ з біології тополі *Populus L.* № 16 // Публікації ОЕСР з охорони оточуючого середовища, охорони здоров'я і безпеки. Серія «Гармонізація регуляторного нагляду в галузі біотехнології». Париж: Директорат з охорони оточуючого середовища, Організації Економічного Співробітництва і Розвитку, 2000. 25 с.

24. Лісове господарство та біоенергетика // Лісівник. Лесовод України. 2015. Режим доступу: http://lesovod.blogspot.com/2015/03/blog-post_21.html (дата звернення 30.03.2017).

25. Лісовий кодекс України // Верховна Рада України; Кодекс від 21.01.1994 № 3852-ХІІ. Режим доступу:

<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3852-12> (дата звернення 19.09.2014).

26. Літвін В. М. Біологічні, екологічні та технологічні аспекти плантаційного вирощування тополі в умовах Київського Полісся : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : спец. 06.03.01. Київ, 2011. 21 с.

27. Маринич О. М., Шишченко П. Г. Фізична географія України: підручник. К.: Товариство «Знання», КОО, 2006. 511 с.

28. Маурер В. М., Бровко Ф. М., Кайдик О. Ю., Одарченко І. С. Науково-методичні рекомендації з удосконалення методів відтворення лісових ресурсів України з позицій сталого управління лісами. Київ, 2016. 52 с.

29. Маурер В. М., Гордієнко М. І., Бровко Ф. М. та ін. Теоретичні та технологічні основи відтворення лісів на засадах екологічно орієнтованого лісівництва. Київ: Державний комітет лісового господарства України Науково-інформаційний центр лісоуправління, 2009. 63 с.

30. Маурер В. М. Парадигма вдосконалення відтворення лісів в умовах реформування лісової галузі України. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2010. Вип. 152, ч. 2. С. 32–39.

31. Маурер В. М., Пінчук А. П. Стан та якість робіт із відтворення лісів в Україні та шляхи її покращення. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2013. Вип. № 187, ч. 1. С. 328–334.

32. Маурер В. М., Шилін І. С. (Одарченко І. С.) Сучасний стан та шляхи інтенсифікації плантаційного лісовирощування тополі на Волині. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2014. Вип. 198, Ч.2. С. 137–144.

33. Маурер В. М., Одарченко І. С., Кайдик О. Ю. Агротехнологічні засади плантаційного вирощування тополі в умовах Волинського Полісся та Опілля: монографія. Київ: РВВ НУБіП України, 2018. 188 с.

34. Михалків В. М., Ананьєв П. П., Подкур П. П., Купріна Н. П. Ріст і розвиток тополевих плантацій Херсонського целюлозно-паперового заводу // Лісівництво і агролісомеліорація. 1991. № 83. С. 50–53.

35. Одарченко І. С., Маурер В. М. Вплив товщини та термінів заготівлі на приживлюваність, стан та ріст плантацій тополі Тронко // Здоров'я лісів, екосистемні послуги та лісові продукти для суспільства: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 6–7 квітня 2017 року: тези доповіді. 2017. С. 16–18.

36. Одарченко І. С., Маурер В. М. Плантаційне лісовирощування тополі у безвершинному режимі в умовах Українського Полісся // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2016. Вип. 198. С. 169–175.

37. Ониськів М.І., Фучило Я.Д., Сбитна М.В. Особливості створення плантацій швидкорослих деревних порід. Наук. вісн. НАУ. 1999. Вип. 20. С. 81–87.

38. Ониськів М.І., Фучило Я.Д., Сбитна М.В., Логінов В.Б., Бобко А.М. Плантаційне вирощування деревної сировини для потреб целюлозно-паперової та інших галузей промисловості. Методичні рекомендації. К.: ВЦ НАУ, 2003. 53 с.

39. Про першочергові заходи щодо створення захисних лісових насаджень на неугіддях та басейнах річок: Постанова Кабінету Міністрів України від 28.02.2001 року, № 189.

40. Про підвищення продуктивності лісів за рахунок розвитку плантаційного лісовирощування // Наказ

Державного агентства лісових ресурсів України від 31.05.12. 2012. № 178.

41. Редько Г. І. Культури тополі високої продуктивності // Вісник с.-г. науки. 1958. № 5. С. 36–38.

42. Роїк М.В., Фучило Я. Д., Ганженко О.М. Теоретичні та прикладні аспекти використання агролісомеліоративних насаджень України в енергетичних цілях // Біоенергетика / Bioenergy. № 1 (17). 2021. С. 5–8.

43. Соловій І. П., Перебора С. В. Аналіз світових тенденцій лісової політики у сфері плантаційного лісовирощування // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2007. Вип. 33. С. 18–24.

44. Сопушинський І., Вінтонів І., Тайшінгер А. та ін. До питання методики визначення щільності деревини у зв'язку із зміною вологості // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2003. № 13. С. 14–22.

45. Спірін О. І. Метод клімадіаграм за Госсеном–Вальтером: практичний порадник. Харків. 2012. 38 с.

46. Толстушко Н. О., Вржещ М. В., Толстушко М. М., Пенкаля В. Є. Перспективи вирощування енергетичних лісів в Україні // Прес-служба Волинського ОУЛМГ. 2014. Режим доступу: <http://lis.volyn.ua/?p=3343> (дата звернення 24.05.2017).

47. Торосова Л. О., Висоцька Н. Ю., Лось С. А. та ін. Дослідження представників роду *Populus* за морфологічними ознаками // Лісівництво і агролісомеліорація. 2015. № 126. С. 148–157.

48. Торосова Л. О. Цитологічні маркери для прогнозування швидкості росту видів і гібридів тополь. // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2014. Вип. 24.9. С. 90–94.

49. Турчак Ф. М. Екзоти і місцеві швидкоростучі деревні породи для плантаційного лісовирощування на

Поліссі // Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України: Наук. пр. Поліської ЛНДС. 1999. С. 138–141.

50. Фізико-географічне районування України // Природа України. Режим доступу: <http://geomap.land.kiev.ua/zoning1.html> (дата звернення 14.07.16).

51. Фучило Д. Я. Добір культиварів тополі для плантаційного вирощування в умовах свіжої судіброви Київського Полісся // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2015. Вип. 25.5. С. 106–110.

52. Фучило Я. Д., Літвін В. М., Сбитна М. В. Біологічні, екологічні та технологічні аспекти плантаційного вирощування тополі в умовах Київського Полісся. Київ: Логос, 2012. 214 с.

53. Фучило Я. Д., Маурер В. М., Сбитна М. В., Одарченко І. С., Фучило Д. Я. Особливості вирощування деревної маси і садивного матеріалу тополі у безверхівковому режимі // Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2016. № 14. С. 134–140.

54. Фучило Я. Д., Ониськів М. І., Сбитна М. В. Біологічні та технологічні основи плантаційного лісовирощування: моногр. Київ, 2006. 394 с.

55. Фучило Я. Д. Плантаційне лісовирощування в Україні: перспективи розвитку // Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2008. № 6. С. 97–99.

56. Фучило Я. Д. Плантаційне лісовирощування: теорія, практика, перспективи. Київ: Логос, 2012. 463 с.

57. Фучило Я. Д., Сбитна М. В., Фучило Д. Я. Вплив товщини зимових живців чорних тополь на їх укорінення і ріст живцевих саджанців // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і

природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2014. № 198. С. 122–126.

58. Фучило Я. Д., Сбитна М. В., Фучило Д. Я. Особливості створення плантацій тополі в умовах свіжої та вологої судіброви Київського Полісся // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2014. Вип.198, ч. 2. С. 158–162.

59. Фучило Я. Д., Сбитна М. В., Фучило О. Я. Створення та вирощування енергетичних плантацій верб і тополь. Київ: Логос, 2009. 84 с.

60. Фучило, Я. Д., Сбитна, М. В., Фучило, О. Я., Літвін, В. М. Досвід та перспективи вирощування тополі (*Populus sp. L.*) уПівденному Степу України. Наукові праці Лісівничої академії наук України, 7. (2009), 66-69. [

61. Фучило, Я. Д., Сінченко, В. М., Ганженко, О. М., Гументик, М. Я., Пиркін, В. І., Присяжнюк, О. І., ... Ткаченко, А. М. Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь. Київ: Компрінт, 2018. 137 с.

62. Фучило Я. Д., Бордусь О. О., Кукош О. Ю., Кирилко Я. О. Агротехнічні аспекти вирощування однорічних живцевих саджанців чорних тополь у Правобережному Лісостепу // «Лісовирощування: історична та інноваційна діяльність у галузі лісового господарства»: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, присвяченої 200-річчю з дня народження В.Є. фон Граффа (15 листопада 2019 р., м. Овруч). Малин: Вид-во МЛТК, 2019. С. 87-90.

63. Фучило Я. Д., Бодрусь О. О., Бодрусь О. Ю., Кирилко Я. О. Особливості вирощування однорічних живцевих саджанців тополі у Правобережному Лісостепу // Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку: Збірник матеріалів учасників Міжнародної науково-практичної конференції студентів, магістрів,

аспірантів, молодих вчених і викладачів (19 травня 2022 р., м.Малин). Малин: Вид-во МФК, 2022. С. 150-153.

64. Фучило Я. Д., Бордусь О. О., Кирилко Я. О. Вплив сегетальної рослинності на збереженість енергетичних плантацій тополі. Гербологія в сучасному екологічно безпечному землеробстві // Матеріали XIII науково-практичної конференції. Київ, 2023. С. 73-76.

65. Фучило Я. Д., Сінченко В. М., Ганженко О. М., Гументик М. Я., Фурман В. А., Сбитна М. В., Квак В. М., Хіврич О. Б., Правдива Л. А., Зелінський Б. В., Вокальчук Б. М., Фучило Д. Я., Бордусь О. О., Кирилко Я. О. Методичні рекомендації з технології вирощування енергетичних плантацій верби та тополі. Київ: ЦП «Компринт», 2021. 24 с.

66. Фучило Я. Д., Кирилко Я. О., Іванюк І. Д., Гументик М. Я., Ганженко О. М. Ріст і продуктивність енергетичних плантацій тополі в умовах Правобережного Лісостепу. Біоенергетика/Boenergy. № 1-2 (19-20). 2022. 57–60.

67. Фучило Я. Д., Кирилко Я. О. Продуктивність енергетичних плантацій тополі на малогумусних чорноземах Лісостепу України // Наукові праці ЛАНУ. Л. : РВВ НЛТУ України. 2022. Вип.24. С. 129–135. <https://doi.org/10.15421/412211>

68. Шевченко С. В. Тополя та її культура в західних областях УРСР. Львів, 1958. 108 с.

69. Шевчук Р. Біоенергетичні культури для Полісся // Аграрний тиждень. Україна. 2016. Режим доступу: <http://a7d.com.ua/plants/13853-boenergetichn-kulturidlya-polssya.html> (дата звернення 12.12.16).

70. Шилін І. С. (Одарченко І. С.), Маурер В. М. Особливості закладання тополевих плантацій у західному Поліссі та Опіллі // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2015. № 26.6. С. 112–118.

71. Шилін І. С. (Одарченко І. С.) Особливості стану та росту культиварів тополі у фазі приживлення на плантаціях Волинського Полісся та Опілля. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2016. № 26.1. С. 122–128.

72. Шилін І. С. (Одарченко І. С.) Представники роду тополя (*Populus* genus) як головні культивари для плантаційного лісовирощування. Лісове і садово-паркове господарство. 2015. № 7. 11 с. Режим доступу до статті: <http://ejournal.studnubip.com/zhurnal-7/ukr/shylin-i-s/>

73. Ansari, J., Udawatta, R. P. & Anderson, S. H. (2023). Soil nitrous oxide emission from agroforestry, rowcrop, grassland and forests in North America: a review. *Agroforest Systems* <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00870-y>

74. Augère-Granier, M. L. (2020). Agroforestry in the European Union. policycommons.net

75. Aylott, M. J., Casella, E., Tubby, I., Street, N. R., Smith, P., & Taylor, G. Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-cutting cycle coppice in the UK. *New Phytol.* 2008. Vol. 178, Iss. 2. P. 358–370. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02396.x

76. Báder, M., Németh, R., Vörös, Á. et al. (2023). The effect of agroforestry farming on wood quality and timber industry and its supportation by Horizon 2020. *Agroforestry Systems.* 97, 587–603 <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00812-8>

77. Barnes B. V., Han F. Q., Phenotypic variation of Chinese aspens and their relationship to similar taxa in Europe and North America. 1993. P. 799–815.

78. Bayala, J., Prieto, I. (2020). Water acquisition, sharing and redistribution by roots: applications to agroforestry systems. *Plant Soil* 453, 17–28 <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04173-z>

79. Berguson B., Eaton J., Stanton B. Development of Hybrid Poplar for Commercial Production in the United States: The Pacific Northwest and Minnesota Experience // Sustainable Alternative Fuel Feedstock Opportunities, Challenges and Roadmaps for Six U.S. Regions. Duluth, 2010. P. 282–299.

80. Berthelot A., Bastien C., Baldet P. et al. Poplar Breeding Activities at GIS «Peuplier» in France // Overview of poplar breeding programs in Europe TREEBREEDEX Activity № 5. INRA-Orléans, 2008.

81. Bioenergy from biomass. Natural Resources Canada. 2016. Режим доступу: <http://www.nrcan.gc.ca/forests/industry/bioproducs/13323> (дата звернення 23.12.16).

82. Boothroyd-Roberts K., Gagnon D., Truax B. Hybrid poplar plantations are suitable habitat for reintroduced forest herbs with conservation status // Springer Plus. 2013. № 2. P. 1–13.

83. Borovics A. Experiences of Hungarian Forest Research Institute in the field of poplar breeding. Overview of poplar breeding programs in Europe // TREEBREEDEX Activity № 5. INRA-Orléans, 2008.

84. Boysen B., Strobl S. A grower's guide to Hybrid Poplar. Brockville: Ontario Ministry of Natural Resources, 1991. 148 p.

85. Broeckx, L. S., Verlinden, M. S., Ceulemans, R. Establishment and two-year growth of a bio-energy plantation with fast-growing *Populus* trees in Flanders (Belgium): effects of genotype and former land use. Biomass Bioenerg. 2012. Vol. 42. P. 151–163. doi: 10.1016/j.biombioe.2012.03.005

86. Burgess, P. J., Rosati, A. (2018). Advances in European agroforestry: results from the AGFORWARD project. Agrofor Syst 92:801-810. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0261-3>

87. . Chirko, C. P., Gold, M. A., Nguyen, P. V., Jiang, J. P. (1996). Influence of direction and distance from trees on wheat yield and photosynthetic photon flux density (Qp) in a Paulownia and wheat intercropping system. For Ecol Manage 83:171-180. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(96\)03721-8](https://doi.org/10.1016/0378-1127(96)03721-8)

88. Collinson M. E. The early fossil history of the Salicaceae // Proc. Roy. Soc. Edinburgh Sect. B (Biol. Sci.). 1992. № 98. P. 155–177.

89. Cuyper B. D. Poplar Breeding Programme in Flanders, Belgium. Overview of poplar breeding programs in Europe // TREEBREDEX Activity № 5. INRA-Orléans, 2008.

90. Czarnecki A., Lewandowska-Czarnecka A. Potential of poplar plantation for enhancing Polish farm sustainability // Geo-Environment and Landscape Evolution II. 2006. P. 241–249.

91. Davis J. M. Genetic improvement of poplar (*Populus* spp.) as a bioenergy crop // Genetic Improvement of Bioenergy Crops. 2008. P. 397–419.

92. DeBell D. S., Clendenen G. W., Harrington C. A., Zasada C. A. Tree growth and stand development in short-rotation *Populus* plantings: 7-Year results for two clones at three spacings // Biomass and Bioenergy. 1996. № 11. P. 253–269.

93. Demeritt M. E. *Populus* L. Poplar hybrids // Silvics of North America. Vol. 2, Hardwoods. Washington, DC: Agriculture Handbook 654, Forest Service, USDA, 1990. P. 577–582.

94. Desrochers A., & Thomas, B. R. (2003). A comparison of preplanting treatments on hardwood cuttings of four hybrid poplar clones. *New forests*, 26(1), 17-32. <https://doi.org/10.1023/A:1024492103150>

95. Dickmann D. I., Isebrands J. G., Echenwalder J. E., Richardson J. E. *Poplar Culture in North America*. Ontario: NRC Research Press, 2002. 397 p.

96. Dickmann D., Phipps H., Netzer D. Cutting diameter influences early survival and growth of several *Populus* clones // North Central Forest Experiment Station. 1980. 4 p.

97. Dickmann D. Silviculture and biology of short-rotation woody crops in temperate regions: then and now // Biomass Bioenergy. 2006. Vol. 30. P. 696–705.

98. Dickmann D., Stuart W. The culture of poplars in Eastern North America. Michigan: Michigan State University, 1983. 68 p.

99. Dieter M. Poplars and Other Fast-Growing Trees – Renewable Resources for Future Green Economies. 25th Session of the International Poplar Commission : Working Paper IPC/15 (Berlin, 13–16 Sept. 2016). Rome : FAO, 2016. 19 p.

100. El Bassam N. Handbook of Bioenergy Crops. A Complete Reference to Species, Development and Applications. London ; Washington, DC : Earthscan, 2010. 544 p.

101. Fahad, S, Chavan, S. B., Chichaghare, A. R., Uthappa, et al. (2022). Agroforestry systems for soil health improvement and maintenance. Sustainability 14:14877. <https://doi.org/10.3390/su142214877>

102. Faostat (2020) Value of Agricultural Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Accessed 16 Oct. 2020. <http://www.fao.org/forestry/sustainable-wood/en/>

103. Eckenwalder J. E. Systematics and evolution of *Populus* // Biology of *Populus* and its implications for management and conservation. Edited by R.F. Stettler, H.D. Bradshaw Jr., P.E. Heilman and T.M. Hinkley. Ottawa: NRC Research Press, National Research Council Canada, 1996. P. 7–32.

104. Facciotto G., Candilo M., Bergante S. et al. Poplar clones for biomass production in Italian SRC // Conference Paper. 2008. Режим доступу:

https://www.researchgate.net/publication/235732234_Poplar_clones_for_biomass_production_in_italian_src_plantations
(дата звернення 19.06.16).

105.Fang S., Xue J., Tang L. Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns // Journal of Environmental Management. 2007. Vol. 85. P. 672–679.

106.FAO, October, 2008. Field Handbook – Poplar Harvesting. International Poplar Commission Working Paper IPC/8. Forest Management Division, FAO, Rome (unpublished).

107.Forest bioeconomy, bioenergy and bioproducts. Natural Resources Canada. 2016. Режим доступу: <http://www.nrcan.gc.ca/forests/industry/bioproducts/13315>
(дата звернення 11.03.17).

108.Fortier J., Gagnon D., Truax B., Lambert F. Understory plant diversity and biomass in hybrid poplar riparian buffer strips in pastures. 2011. № 42. P. 241–265.

109.Fowells H. A. Silvics of forest trees of the United States. Agricultural Handbook No. 271. Washington, DC: Forest Service, USDA, 1965. 762 p.

110.Fuchylo Ya. D., Bordus O. O., Kyrylko Ya. O. The influence of the technology of growing one-year-old poplar cutting seedlings on their morphometric indicators. Modern engineering and innovative technologies Issue 26. Part 4. P. 100–109.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit-26-04-050>. doi: 10.30890/2567-5273.2023-26-04-050

111.Fujikake I. Selection of tree species for plantations in Japan // Forest Policy and Economics. 2007. № 9. P. 811–821.

112.Gebhardt K., Wolf H. Poplar Breeding in Germany: State of art and future perspectives. Overview of poplar breeding programs in Europe // TREEBREEDDEX Activity № 5. INRA-Orléans, 2008.

113. Gordon J. Poplars: Trees of the people, trees of the future // The Forestry Chronicle. 2001. Vol. 77. P. 217–219.

114. Hansen E., Moore L., Netzer D. et al. Establishing intensively cultured Hybrid poplar plantations for fuel and fiber. St. Paul, MN: USDA Forest Service, North central Forest experiment station, 1983. 24 p.

115. Hansen E. A. Netzer D. A., Tolsted D. N. Guidelines for establishing poplar forest service plantations in the North-Central U.S. United states department of agriculture. North Central Forest Experimental Station, ResearchNote NC-363, 1993. 6 p.

116. Heilman P. E., Hinckley T. M., Roberts D. A., Ceulemans R. Production physiology // Biology of Populus and its implications for management and conservation. Ottawa: NRC Research Press, National Research Council of Canada, 1996. P. 459–489.

117. Heilman P. E., Stettler R. F., Hanley D. P., Carkner R.W. High Yield Poplar Plantations in the Pacific Northwest // PNW Extension Bulletin. 1995. № 356. P. 42.

118. <https://focus.ua/technologies/498864-ploshchadyu-43-ga-i-vozzrastom-14-tys-let-krupneyshiy-na-zemle-zhivoy-organizm-mogut-sest>

119. <https://www.flombu.com/uk/articles/taryfy-na-komunalni-posludy-2022-2023>

120. Isebrands J. G. Best management practices poplar manual for agroforestry applications in Minnesota. New London: University of Minnesota, 2007. 56 p.

121. Ivaniuk I., Fuchylo Ya., Kyrylko Ya. Prospects for the use of Walnut and Poplar in Agroforestry of Polissya and Forest-Steppe of Ukraine // Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2023. Vol. 14, No. 3. 35-46 p. DOI: 10.31548/forest/3.2023.35

122.Jones J. R. Distribution // Aspen: ecology and management in the western United States. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, 1985. P. 9–10.

123.Keoleian, G.A. and Volk, T.A. (2005). Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24: 385-406. Stoffel R. Short rotation woody crops – Hybrid poplar. URL: https://www.forestry.umn.edu/sites/forestry.umn.edu/files/cfans_asset_356341.pdf

124.Kohán Š. Hodnotenie rastu a zdravotného stavu topoľov v hrabových lužných jaseninách na Východoslovenskej nížine // Bratislava: Lesn. Čas., 1988. № 34. P. 299–309.

125.Kohán Š. K otázke zakladania a ošetrovania topoľových porastov na ťažkých pôdach Východoslovenskej nížiny // Bratislava: Les, 1967. № 23. P. 445–450.

126.Kollert W., Carle J., Rosengren L. Poplars and Willows for Rural Livelihoods and Sustainable Development // FAO 2014. Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment. 2014. P. 577-602.

127.Kord B., Kialashaki A., Kord B. The within-tree variation in wood density and shrinkage, and their relationship in *Populus euramericana* // TÜBITAK. 2010. № 34. P. 121–126.

128.Kovács, K., Vityi, A. (2019). How can agroforestry improve the success of afforestation and contribute to meeting the growing demand of wood? In: Czupy I (ed) Exceeding the vision: forest mechanisation of the future. Proceedings of the 52nd international symposium on forestry mechanization. University of Sopron Press, Sopron, Hungary, pp 606–612

129.Labrecque M., Teodorescu T. I. Field performance and biomass production of 12 willow and poplar clones in short-rotation coppice in southern Quebec (Canada) // Biomass and Bioenergy. 2005. № 29. P.1–9.

130.Langeveld H. F., Quist-Wessel F., Dimitriou I. et al. Assessing Environmental Impacts of Short Rotation Coppice (SRC) Expansion: Model Definition and Preliminary Results // *BioEnergy Research*. 2012. Vol. 5. P. 621–635.

131.Lodhiyal L., Lodhiyal N. Aspects of productivity and nutrient cycling of poplar (*Populus deltoides* Marsh) plantation in the most plain area of the Central Himalaya // *Oecologia Montana*. 1997. № 6. P. 28–34.

132.Lodhiyal L., Lodhiyal N. Variation in biomass and net primary productivity in short rotation high density central Himalayan poplar plantations // *Forest Ecology and Management*. 1997. Vol. 98, № 2. P. 167–179.

133.Loren St. John. Hybrid Poplar – An Alternative Crop for the Intermountain West. Technical Notes. USDA-Natural Resources Conservation Service, 2001. 11 p.

134.Lutter R., Tullus A., Kanal A. et al. Above-ground growth and temporal plant–soil relations in midterm hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) plantations on former arable lands in hemiboreal Estonia // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2017. 11 p.

135.Mann J. (2012). Comparison of Yield, Calorific Value and Ash Content in Woody and Herbaceous Biomass used for Bioenergy Production in Southern Ontario, Canada : A Thesis Presented to The University of Guelph. Guelph, Ontario, Canada. 106 p. URL: <https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/3959/Mann%20Thesis%20Defense%20Revised%202.pdf?sequence=1>

136.Martiník A., Adamec Z., Knott R., Stuchlý O. Production and economic parameters of a poplar (J 105) coppice plantation with different length of the first rotation in the conditions of the Bohemian-moravian highlands // *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae Brunensis*. 2015. Vol. 63. № 5. P.1499–1504.

137. Mitchell C. P. The world perspective // Energy Biomass 3: Biomass Forest. Eur.: Strategy for Future. London-New York, 1988. P. 235 – 255.

138. Moreno, G., Aviron, S., Berg, S., Crous-Duran, J. et al. (2018). Agroforestry systems of high nature and cultural value in Europe: provision of commercial goods and other ecosystem services. *Agrofor Syst* 92:877-891. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0126-1>

139. Morin M., Demeritt J. A nursery guide for propagating poplars. Durham: NC: USDA Forest Service, Northeastern Forest experiment station, 1984. 19 p.

140. Mosquera-Losada, M., Moreno, G., Pardini L. et al. (2012). Past, Present and Future of Agroforestry Systems in Europe. http://www.agroof.net/agroof_ressources /documents /201210_eu_agroforesterie pdf.

141. Mosquera-Losada, M-R., Pantera, A., Rosati, A., Amaral, J., et al. (2012). What priorities for European Agroforestry? The First European agroforestry conference (Brussel, 9-10 October, 2012). 73.

142. Nicolescu, V.-N., Rédei, K., Vor, T., Bastien, J.-C. et al. (2020). A review of black walnut (*Juglans nigra* L.) ecology and management in Europe. *Trees* 34:1087–1112. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01988-7>

143. Nielsen U., Madsen P., Hansen J. et al. Production potential of 36 poplar clones grown at medium length rotation in Denmark. 2014. 14 p.

144. O'Neill M. K., Shock C. C., Lombard K. A. et al. Hybrid poplar (*Populus* ssp.) selections for arid and semi-arid intermountain regions of the western United States // *Agroforestry Systems*. 2010. Vol. 79. P. 409–418.

145. Oosten C. V. Crop Density for Hybrid Poplar in the Prairie Provinces. Project № 20050. Nanaimo: SilviConsult Woody Crops Technology Inc., 2006.

146. Oosten C. V. Hybrid Poplar crop manual for the Prairie Provinces. Nanaimo: SilviConsult Woody Crops Technology Inc., 2006. 234 p.

147. Poplar // Hardwood Manufacturers Association. 2013. Режим доступу: <http://www.hardwoodinfo.com/articles/view/pro/24/315> (дата звернення 01.10.14).

148. Poplar (Populus spp.) Trees for Biofuel Production // Extension: Issues Innovation, Impact. 2014. Режим доступу: <http://articles.extension.org/pages/70456/poplar-populus-spp-trees-for-> (дата звернення 01.02.2016).

149. Poplar tree farming information guide // AgriFarming. 2015. Режим доступу: <http://agrifarming.in/poplar-tree-farming>.

150. Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam, J. H., Mosquera-Losada, M. R. (2009). Agroforestry in Europe Current Status and Future. Prospect. Springer. 450 p.

151. Robison J. D., Kenneth F. R. Importance of cutting diameter and method of production on early growth of hybrid poplar // Tree Planters notes. 1996. P. 76–80.

152. Sabatti M., Nardin F. Parental line improvement and breeding of elite poplar in a short rotation tree improvement program in Italy // Overview of poplar breeding programs in Europe. TREEBREEDEX Activity № 5. INRA-Orléans, 2008.

153. Salix energy. Продукція та послуги. Режим доступу: <http://www.salixenergy.com/produkcija-ta-poslugi>.

154. Sharma, N., Singh, R. (2012). Dry Matter Accumulation and Nutrient Uptake by Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Poplar (*Populus deltoides*) Based Agroforestry System. Agronomy. 2012. Article ID 359673. 1-7.

155. Schreiner E. J. Populus L. // Seeds of woody plants in the United States. Washington, DC: Forest Service, USDA, 1974. P. 645–655.

156.Sedjo R. Biotechnology's Potential Contribution to Global Wood Supply and Forest Conservation. Washington: Resources for the Future, 2001. 37 p.

157.Smith, J., Pearce, B. D., Wolfe, M. S, (2013), Reconciling productivity with protection of the environment: is temperate agroforestry the answer? *Renew Agric Food Syst* 28:1-13. <https://doi.org/10.1017/S1742170511000585>

158.Spinelli R. (2007). Short rotation coppice production in Italy. *Bornimer Agrartechnische Berichte*, Heft 61, Potsdam-Bornim, Germany. 158-167.

159.Spinelli R., Natti C., Magagnotti N. (2008). Harvesting short-rotation poplar plantations for biomass production. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 29.2. 129-139.

160.Spinelli R., Natti C., Magagnotti N. (2009). Using modified foragers to harvest short-rotation poplar plantations. *Biomass and Bioenergy*. 33.5: 817-821.

161.Stanturf J. A., Oosten C. V., Netzer K. D. A. et al. Ecology and silviculture of poplar plantations // *Poplar Culture in North America*. Ottawa, 2001. P. 153–206.

162.Stanturf J. A., Oosten C.V. Operational poplar and willow culture // *FAO 2014. Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment*. 2014. P. 200–248.

163.Stener L. Hybrid aspen and Poplar breeding in Sweden. // *Overview of poplar breeding programs in Europe. TREEBREEDING Activity № 5*. INRA-Orléans: Forest Research Institute of Sweden, 2008.

164.Stoffel R. Short rotation woody crops – Hybrid poplar // *Minnesota Department of Natural Resources Forestry*. Режим доступа:

https://www.forestry.umn.edu/sites/forestry.umn.edu/files/cfans_asset_356341.pdf (дата звернення 11.11.2016).

165.Strong T., Hansen E. Hybrid poplar spacing/productivity relations in short rotation intensive culture

plantations // *Biomass and Bioenergy*. 1993. Vol. 4. Issue 3 P. 255–261.

166.Sven M. G. de Vries. Breeding and selection of poplar in Netherlands // Overview of poplar breeding programs in Europe. TREEBREEDEX Activity № 5. INRA-Orléans, 2008.

167.Szigeti, N., Vityi, A. (2019). Soil moisture and temperature characteristics in a young silvoarable agroforestry system. *Reg Bus Stud* 11(1):21–27. <https://doi.org/10.33568/rbs.2399>

168.Szostak A., Bidzińska G., Ratajczak E., Herbec M. Wood biomass from plantations of fast-growing trees as an alternative source of wood raw material in Poland // *Drewno*. 2013. Vol. 56. № 190. P. 85–113.

169.Tharakan P. J., Volk T. A., Abrahamson L. P., White E. H. Energy feedstock characteristics of willow and hybrid poplar clones at harvest age // *Biomass and Bioenergy*. 2003. Vol. 25. P. 571–580.

170.Thomas K. D., Comeau Ph. G., Brown K. R. The silviculture of Hybrid Poplar plantations (Extension note 47) // *Broadleaf Mixedwood Management*. British Columbia: Ministry of Forests Research Program, 2000. 7 p.

171.Thomasius V. Merkmale und Voraussetzungen einer forstlichen Plantagenwirtschaft // *Soz. Forstwirtsch*. 1979. № 5. P. 144–146.

172.Truax B., Gagnon D., Fortier J., Lambert F. Biomass and Volume Yield in Mature Hybrid Poplar Plantations on Temperate Abandoned Farmland // *Forests*. 2014. № 5. P. 3107–3130.

173.Tullus A., Rytter L., Tullus T. et al. Short-rotation forestry with hybrid aspen (*Populus tremula* L.×*P. tremuloides* Michx.) in Northern Europe // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2012. Vol. 27. P. 10–29.

174.Van den Driessche. First-year growth response of four *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides* clones to fertilizer

placement and level // Can. J. For. Res. 1999. № 29. P. 554–562.

175. Verbylaitė R., Pliūra A., Gradeckas A., et al. Populus breeding strategies in Lithuania // Overview of poplar breeding programs in Europe. TREEBREEDING Activity № 5. INRA-Orléans, 2008.

176. Verlinden M. S., Broeckx L. S., J. Van den Bulcke et al. Comparative study of biomass determinants of 12 poplar (*Populus*) genotypes in a high-density shortrotation culture // Forest Ecology and Management. 2013. № 307. P. 101–111.

177. Vietto L. Poplar Breeding at CRA-PLF in Italy // Overview of poplar breeding programs in Europe. TREEBREEDING Activity № 5. INRA-Orléans, 2008.

178. Volk T. A., Berguson B, Daly C., Halbleib M. D., Miller L., Rials T. G., ... Wright J. (2018). Poplar and shrub willow energy crops in the United States: field trial results from the multiyear regional feedstock partnership and yield potential maps based on the PRISM-ELM model. Global Change Biology Bioenergy. Vol. 10, Iss. 10. P. 735–751. doi: 10.1111/gcbb.12498

179. Wang S. Approaching poplar's functions in the improvement of environment in China's Tree North Shelterbelt System // Environmental and social issues in poplar and willow cultivation and utilization. Proceedings 20th Session of the International Poplar Commission. Budapest: I. Bach. International Poplar Commission, FAO, 1996. P. 500–503.

180. Wang Y., Bai G., Shao G. et al. An analysis of potential investment returns and their determinants of poplar plantations in state-owned forest enterprises of China // New Forests. 2014. P. 251–264.

181. White E. M. Woody biomass for bioenergy and biofuels in the United States – a briefing paper. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 2010. 45 p.

182. Woody Biomass – Filling the Fossil Fuel Gap // AgriComm. 2012. Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=k5oxiSTcyсE> (дата звернення 22.09.15).

183. Wu, W., Tao, Z., Chen, G., Meng, T. et al. Phenology determines water use strategies of three economic tree species in the semi-arid Loess Plateau of China. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume 312, 2022, 108716 <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108716>

184. Zalesny R. S. Jr., Cunningham M. W., Hall R. B. et al. *Woody Biomass from Short Rotation Energy Crops // Sustainable Production of Fuels, Chemicals, and Fibers from Forest Biomass*. New York: American Chemical Society, 2011. P. 27–63.

185. Zalesny R. S. Jr., Hull R. B., Zalesny J. A. et al. Biomass and genotype × environment interactions of populus energy crops in the Midwestern United States // *Bioenergy Research*. 2009. Vol. 2. P. 106–122.

186. Zamora D., Wyatt G., Apostol K., Tschirner U. Biomass yield, energy values, and chemical composition of hybrid poplar in short rotation woody crops production and native perennial grasses in Minnesota, USA // *Biomass and Bioenergy*. 2013. Vol. 49. P. 222–230.

187. Zhang J., Shangguan T., Meng Z. Changes in soil carbon flux and carbon stock over a rotation of poplar plantations in northwest China // *Ecological Research*. 2011. Vol. 26, № 1. P. 153–161.

188. Zsuffa L. A summary review of interspecific breeding in the genus *Populus* L. // *Proceedings 14th meeting of the Canadian Tree Improvement Association, part 2*. Ottawa: Canadian Forestry Service, 1975. P. 107–123.

Наукове видання

ФУЧИЛО Ярослав Дмитрович
КИРИЛКО Ярослав Олегович

**АГРОЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЛАНТАЦІЙ ТОПОЛІ В УМОВАХ
ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**
(Монографія)

Папір офісний. Друк цифровий.
Формат 60×84 1/16. Тираж 300 пр.
Ум. друк. арк. 7,9 Зам. № 82
До друку підписано 19.12.2025 р.

З готового макету надруковано:
ФОП Гембарський О.П. (Видавництво «НОВОград»)
Тел. 093-682-62-52. 067-59915-46
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
серія ДК № 5137 від 30.06.2016 р.