

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Факультет природничих наук
Кафедра лісового і аграрного менеджменту

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістра

(освітній рівень)

на тему: **ОЦІНКА ВПЛИВУ ПЕРВИННОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ
ДЕРЕВИНИ НА ЛІСОВІ ҐРУНТИ В ДП «РАХІВСЬКЕ ЛІСОВЕ
ДОСЛІДНЕ ГОСПОДАРСТВО**

Виконав: студент II курсу, групи ЛГ-2м
спеціальності 205 «Лісове
господарство»
Гурик І.Р.
Керівник: к.т.н., с.н.с. Коржов В.Л.
Рецензент: к.б.н., доц. Клід В.В.

Івано-Франківськ – 2024 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І НОРМАТИВНОЇ БАЗИ.....	9
1.1 Вплив транспортування деревини на лісові ґрунти.....	9
1.2 Нормативна база України щодо впливу транспорту на лісові ґрунти.....	9
1.3 Екологічні та фізико-механічні характеристики лісових ґрунтів у гірській місцевості.....	10
1.4 Аналіз наукових підходів до оцінки впливу транспортування на ґрунти.....	11
1.5 Порівняльний аналіз зарубіжного досвіду щодо мінімізації впливу транспортування деревини.....	13
1.6 Вплив кліматичних умов на стан лісових ґрунтів та специфіка транспортування деревини в гірських умовах.....	13
1.7 Використання спеціалізованої техніки для зменшення негативного впливу транспортування деревини на ґрунти.....	14
1.8 Методи моніторингу стану ґрунтів після транспортування деревини.....	14
1.9 Зарубіжний досвід відновлення ґрунтів після лісозаготівельних робіт.....	15

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДЕРЕВИНИ ЛІСОТРАНСПОРТНИМИ МАШИНАМИ В УМОВАХ ГІРСЬКОГО РЕЛЬЄФУ.....18

- 2.1 Проблеми лісотранспортування в гірських умовах.....18**
- 2.2 Огляд літератури з питань вибору та обґрунтування параметрів
лісотранспортних машин.....18**
- 2.3 Теоретичні основи вибору типу лісотранспортної машини.....19**
- 2.4 Аналіз сучасних підходів до вибору параметрів лісотранспортних
машин.....19**
- 2.5 Вимоги до лісотранспортних машин для використання в умовах
гірського рельєфу.....20**
- 2.6 Сучасні досягнення та інновації у лісотранспортній техніці.....21**

РОЗДІЛ 3. ОБ'ЄКТ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....22

- 3.1 Характеристика об'єкту дослідження.....22**
- 3. 2. Методи дослідження впливу транспортування на лісові
грунти.....24**
- 3.3. Методика дослідження впливу первинного транспортування
деревини на лісові ґрунти.....25**
 - 3.3.1 Визначення завдань та етапів дослідження.....25**
 - 3.3.2 Вибір ділянок для дослідження.....26**
 - 3.3.3 Методи відбору та підготовки зразків ґрунту.....27**
 - 3.3.4 Методи вимірювання фізичних характеристик ґрунту.....27**
 - 3.2.5 Хімічні та біологічні методи аналізу ґрунту.....28**

РОЗДІЛ 4. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ЛІСОТРАНСПОРТНИХ МАШИН.....32

4.1. Визначення ключових технічних параметрів лісотransпортних машин.....32

4.2. Вплив кліматичних умов на роботу лісотransпортних машин.....33

4.3. Огляд сучасних лісотransпортних машин, адаптованих до гірських умов.....33

4.4. Технічні характеристики лісотransпортних машин.....34

4.5. Переваги та недоліки сучасних лісотransпортних машин у гірських умовах.....35

РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ НАСЛІДКІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДЕРЕВИНИ ДЛЯ ҐРУНТІВ НА ТЕРИТОРІЇ ДП «РАХІВСЬКЕ ЛГ».....36

5.1 Загальні аспекти оцінки екологічних наслідків.....36

5.2 Довгострокові наслідки впливу транспортування деревини на лісові ґрунти.....36

5.3. Оцінка фізичних наслідків впливу на ґрунти.....37

5.4.. Ерозійні процеси та їх взаємозв'язок із транспортуванням деревини.....38

5.5. Хімічний вплив транспортування деревини на ґрунти.....39

5.6. Вплив транспортування на мікробіологічний стан ґрунтів.....40

5.7. Відновлення ґрунтів після впливу транспортування деревини.....41

5.8. Вплив транспортування деревини на гідрологічний режим ґрунтів.....	43
5.9. Вплив на біорізноманіття та лісові екосистеми.....	44
5.10. Методи оцінки стану ґрунтів після транспортування деревини.....	45
5.11. Програми моніторингу та відновлення ґрунтів у лісових господарствах.....	47
5.12. Методи пом'якшення негативного впливу транспортування на лісові ґрунти.....	49
5.13. Аналіз практичних підходів до зменшення ущільнення ґрунтів на основі досвіду інших лісових господарств.....	51
5.14. Оцінка економічної ефективності заходів для пом'якшення негативного впливу.....	52

РОЗДІЛ 6. ОЦІНКА ВПЛИВУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДЕРЕВИНИ НА ЛІСОВІ ГРУНТИ ДП «РАХІВСЬКЕ ЛГ».....54

6.1 Методологія оцінки впливу транспортування деревини на ґрунти.....	54
6.2 Аналіз екологічних наслідків транспортування деревини.....	55
6.3 Ключові фактори впливу транспортування на ґрунти.....	56

РОЗДІЛ 7. РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДЕРЕВИНИ НА ЛІСОВІ ГРУНТИ ДП «РАХІВСЬКЕ ЛГ».....57

7.1 Оптимізація транспортних шляхів для зниження впливу на ґрунти.....	57
7.2 Використання спеціалізованої техніки для зменшення навантаження на ґрунти.....	58
7.3 Захист ґрунтів за допомогою біоматеріалів та покриттів.....	59
7.4 Рекультивація та відновлення пошкоджених ділянок після транспортування.....	59
7.5 Запровадження системи моніторингу стану ґрунтів.....	60
7.6 Використання альтернативних методів транспортування деревини.....	61
7.7 Пропозиції для покращення правового регулювання діяльності щодо транспортування деревини.....	61
7.8 Роль громадських організацій та міжнародних стандартів у збереженні лісових ґрунтів.....	63
7.9 Економічне обґрунтування впровадження заходів зі збереження лісових ґрунтів.....	63
7.10 Прогнозування та моделювання наслідків транспортування на ґрунти.....	64
7.11 Використання інформаційних технологій для оцінки стану ґрунтів.....	66
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ПОСИЛАНЬ.....	67
ВИСНОВКИ.....	69

ВСТУП

Первинне транспортування деревини є одним із найбільш значущих процесів у лісозаготівельній діяльності, оскільки він дозволяє переміщувати деревину від місця заготівлі до проміжного складу або безпосередньо до місця подальшого транспортування. Проте цей процес має також серйозний вплив на лісові ґрунти, викликаючи ущільнення, ерозійні процеси, а також зміни гідрологічного режиму та структури ґрунту. Це, у свою чергу, може призводити до зниження продуктивності лісових екосистем, а в окремих випадках – до повного виснаження ґрунтових ресурсів. Зокрема, в умовах гірської місцевості, що є типовою для території ДП «Рахівське лісове господарство», негативний вплив транспортування деревини на ґрунти може бути особливо руйнівним. Особливості рельєфу, високий рівень зволоження, ризик ерозії та можливість зсувів ґрунтів значно підвищують потребу у дослідженні цих процесів з метою розробки практичних рекомендацій для зниження їх негативного впливу. Такий підхід є критично важливим для забезпечення сталого розвитку лісового господарства в Україні.

Мета роботи – оцінити вплив первинного транспортування деревини на лісові ґрунти в умовах ДП «Рахівське лісове господарство» та розробити екологічні та економічно обґрунтовані рекомендації для зниження цього впливу. Для досягнення поставленої мети виконували наступні завдання:

1. Провести аналіз наукової літератури та нормативної бази щодо оцінки впливу транспорту на лісові ґрунти.
2. Визначити характеристику ґрунтових умов та параметри транспортування деревини на території ДП «Рахівське лісове господарство».
3. Дослідити методи оцінки впливу транспортування на фізико-механічні властивості ґрунту та вибрати оптимальні для гірських умов методи.

4. Провести польові вимірювання та оцінити рівень ущільнення, ерозійної стійкості та гідрологічних змін ґрунтів на ділянках транспортування деревини.

5. Розробити та обґрунтувати заходи для зменшення впливу транспорту на лісові ґрунти, включаючи рекомендації з технічного оснащення та організації лісозаготівельних робіт.

Об’єкт дослідження – процес первинного транспортування деревини в умовах гірської місцевості ДП «Рахівське лісове господарство». **Предмет дослідження** – вплив транспортування деревини на фізико-механічні та гідрологічні властивості лісових ґрунтів, а також на процеси їх ерозії та ущільнення.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети були використані такі методи:

- Аналіз наукової літератури та нормативної бази – для дослідження існуючих підходів і методів оцінки впливу транспорту на лісові ґрунти.
- Польові вимірювання – для оцінки фізико-механічних властивостей ґрунту, рівня його ущільнення, стійкості до ерозії та зміни гідрологічного режиму на ділянках, що використовуються для транспортування деревини.
- Математичне моделювання – для аналізу отриманих результатів вимірювань та моделювання впливу транспортування на довгострокові зміни ґрунту.
- Експертні оцінки та моделювання економічної ефективності – для обґрунтування запропонованих заходів щодо зниження негативного впливу транспорту на ґрунти та їхньої економічної доцільності.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І НОРМАТИВНОЇ БАЗИ.

1.1 Вплив транспортування деревини на лісові ґрунти.

У процесі транспортування деревини на лісові ґрунти здійснюється багатофакторний вплив, який спричиняє фізичні, хімічні та біологічні зміни ґрунтових умов. Найбільш значущими впливами є ущільнення ґрунту та його ерозія. Ущільнення знижує проникність ґрунту для води й повітря, що негативно позначається на рості рослинності. З іншого боку, ерозійні процеси можуть значно порушувати структуру ґрунту, що веде до втрати органічних речовин та поживних елементів, необхідних для здорової лісової екосистеми. Основними параметрами, що визначають вплив транспортування на ґрунти, є маса транспортувальних засобів, частота їх проходження, тип колісної або гусеничної системи, а також властивості ґрунтів. У гірській місцевості, де зазвичай спостерігається підвищена вологість ґрунту і більш чутливі ґрунтові структури, ці фактори мають ще більшу значимість.

1.2 Нормативна база України щодо впливу транспорту на лісові ґрунти.

На території України діють нормативно-правові акти, що регламентують діяльність з охорони ґрунтів у процесі лісозаготівлі, зокрема, це законодавчі положення про захист навколишнього природного середовища та специфічні інструкції щодо збереження лісових ресурсів. Основні вимоги до збереження лісових ґрунтів і мінімізації їх порушень у процесі лісозаготівель регулюються законами України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про охорону земель» та іншими нормативними актами. Українські стандарти

також містять рекомендації щодо зменшення механічного впливу на ґрунти шляхом регулювання ваги техніки, сезонного обмеження лісозаготівельних робіт, а також впровадження альтернативних методів транспортування деревини, які є менш руйнівними для лісових екосистем.

1.3 Екологічні та фізико-механічні характеристики лісових ґрунтів у гірській місцевості.

Лісові ґрунти в умовах гірської місцевості мають особливі властивості, які впливають на їх чутливість до механічного впливу транспортування деревини. Високий рівень вологості, нерівномірна структура ґрунтів, схильність до ерозії та зсувів у поєднанні з нахилом поверхні створюють додаткові загрози для збереження ґрунтових умов. Ущільнення ґрунту, спричинене важкою технікою, зменшує пористість ґрунту, що, у свою чергу, знижує його здатність до проникнення води та збагачення повітрям. Це особливо негативно впливає на кореневу систему рослин та мікрофлору, важливу для підтримання екологічного балансу. Окрім ущільнення, важливою загрозою є поверхнева ерозія, яка спричиняється порушенням рослинного покриву та збільшенням стоку води. Гірські ґрунти часто містять високий рівень органічної речовини, яка сприяє утриманню вологи і поживних речовин. Однак при значному ущільненні чи ерозії цей органічний шар руйнується, що призводить до деградації ґрунту.

1.4 Аналіз наукових підходів до оцінки впливу транспортування на ґрунти.

В сучасних дослідженнях виділяють кілька методів оцінки впливу транспортування деревини на лісові ґрунти. Найбільш поширеними підходами є:

1. Механічне ущільнення ґрунту: Оцінка здійснюється за допомогою вимірювання щільності ґрунту перед і після впливу. Використовується методика зняття ґрунтових зразків та їх аналізу за допомогою геотехнічних пристроїв, таких як пенетрометри та геодинамометри. Такий підхід дозволяє кількісно оцінити рівень ущільнення та пов'язані зміни в структурі ґрунту.

2. Гідрологічна оцінка: Включає вимірювання рівня проникності води в ґрунт на ділянках транспортування. Цей метод дозволяє оцінити зміни водного режиму, які можуть спричиняти зміни в екосистемі, зокрема вміст вологи та швидкість стоку поверхневих вод. На основі таких даних можна оцінити ризики змиву верхнього шару ґрунту та ризики ерозійних процесів.

3. Аналіз ризику ерозії: Визначення стійкості ґрунту до ерозії проводиться на основі даних про нахил поверхні, склад ґрунту, кліматичні умови та тип транспортних засобів. Для прогнозування ерозії застосовуються моделі, такі як модель RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), яка враховує комплексні фактори, що впливають на руйнування ґрунту.

4. Вивчення біологічних показників: Цей метод базується на дослідженні зміни складу рослинності та мікрофлори ґрунту, що є важливим показником його екологічного стану. Зміни в складі мікроорганізмів можуть свідчити про деградацію ґрунту і втрату його родючості, що значною мірою впливає на здатність лісу до природного відновлення.

1.5 Порівняльний аналіз зарубіжного досвіду щодо мінімізації впливу транспортування деревини.

У багатьох країнах світу для мінімізації негативного впливу на ґрунти активно застосовуються екологічно спрямовані методи транспортування деревини. Серед найбільш розповсюджених підходів у країнах з гірськими ландшафтами можна виділити:

- Використання легких транспортних засобів та новітніх технологій: У скандинавських країнах і Канаді, де екологічний вплив лісозаготівель має високий пріоритет, використовуються легкі форвардери та спеціалізовані транспортери, які знижують тиск на ґрунти. Зокрема, техніка оснащується спеціальними гусеницями або покращеними шинами, що рівномірно розподіляють вагу і зменшують навантаження на ґрунт.

- Сезонне обмеження лісозаготівельних робіт: У регіонах з підвищеною вологістю, таких як Німеччина та Австрія, активно впроваджують обмеження на транспортування деревини в періоди підвищеної вологості ґрунтів, коли вони є найбільш вразливими до ущільнення. Це дозволяє зберегти їхню структуру та запобігти ерозійним процесам.

- Використання деревозаготівельних трелів у комбінації з механізмами на базі канатних установок: На складних ділянках у США та Швейцарії застосовуються канатні системи для транспортування деревини. Це значно зменшує вплив на ґрунти, оскільки мінімізує контакт важкої техніки з поверхнею лісу.

- Моніторинг та оцінка впливу: У Швеції та Фінляндії проводяться регулярні екологічні моніторинги, які включають вивчення змін у ґрунті після завершення лісозаготівель. Результати таких моніторингів стають основою для вдосконалення технологій і розробки нових методик зниження негативного впливу на ґрунти.

1.6 Вплив кліматичних умов на стан лісових ґрунтів та специфіка транспортування деревини в гірських умовах.

Кліматичні умови, що притаманні гірським лісам, зокрема в регіоні Рахівського лісового господарства, значно впливають на якість та стан ґрунтів, а отже й на вибір оптимальних методів транспортування деревини. Основні кліматичні фактори, що впливають на лісові ґрунти, включають високі рівні опадів, значні температурні коливання протягом року, а також часті коливання рівня вологості ґрунту.

Ці фактори мають значний вплив на стабільність ґрунтів, здатність ґрунту до водопроникності та піддатливість до механічних пошкоджень. У гірських умовах часті опади, що характерні для більшої частини року, збільшують ризик ерозії ґрунтів. Надлишкова волога в поєднанні зі значними нахилами сприяє утворенню поверхневого стоку, який може розмивати верхній родючий шар ґрунту. Така ерозія призводить до зниження родючості та сприяє зміні складу ґрунтових мікроорганізмів, що є важливим фактором підтримки стабільності екосистеми.

Для транспортування деревини в таких умовах необхідно враховувати фактор сезонності, оскільки саме підвищена вологість ґрунту у весняно-літній період спричиняє значне ущільнення ґрунту, якщо проводити транспортування важкими транспортними засобами. Тому в багатьох країнах з гірською місцевістю існує практика обмеження транспортування деревини у певні сезони або після дощів, коли ґрунт є особливо вразливим.

1.7 Використання спеціалізованої техніки для зменшення негативного впливу транспортування деревини на ґрунти.

Використання сучасної техніки для лісозаготівлі може значно знизити негативний вплив на ґрунти. Спеціалізовані транспортні засоби з низьким тиском на ґрунт, оснащені гусеницями або низькопрофільними шинами, розподіляють вагу техніки рівномірніше. Вони створюють менший тиск на ґрунт і допомагають уникнути надмірного ущільнення, що особливо важливо в умовах гірських лісів. Зарубіжний досвід свідчить, що у таких країнах як Норвегія та Фінляндія використовують техніку з високим кліренсом і гідравлічними системами, які дозволяють маневрувати на складних ділянках. Крім того, в деяких регіонах застосовуються інноваційні способи транспортування деревини за допомогою спеціалізованих трелів, що зменшують навантаження на ґрунт. Ці підходи не тільки сприяють зменшенню ерозійних процесів, але й допомагають зберегти природний вигляд та екологічний стан лісових угідь.

1.8 Методи моніторингу стану ґрунтів після транспортування деревини.

Моніторинг стану ґрунтів після проведення лісозаготівельних робіт є ключовим аспектом для оцінки екологічного впливу та планування подальших заходів щодо відновлення лісових екосистем. Існують кілька основних методів, які використовуються для моніторингу стану ґрунтів:

1. Геодезичний моніторинг: Використання геодезичних інструментів для оцінки змін поверхні ґрунту, зокрема ущільнення та зниження родючості, які є

наслідками важкої техніки. Цей метод дозволяє визначити зони з підвищеним ризиком ерозії та провести оцінку структурних змін ґрунту.

2. Хімічний аналіз ґрунтів: Дослідження вмісту органічних речовин, рівня кислотності, наявності поживних елементів та концентрації токсичних речовин, що можуть з'явитися внаслідок лісозаготівельних робіт. Хімічні показники дозволяють оцінити ступінь забруднення ґрунтів і визначити необхідні заходи для відновлення їх родючості.

3. Біологічний моніторинг: Оцінка зміни біологічного складу ґрунту, зокрема мікроорганізмів, фауни ґрунтів і кореневої системи. Ці параметри дають можливість оцінити відновлювальні можливості екосистеми та виявити негативні наслідки впливу транспортування деревини на біологічне середовище.

4. Моніторинг водного режиму: Вимірювання вологості ґрунту та рівня проникності, які є показниками здатності ґрунту до збереження водного режиму. Порушення водного режиму в результаті транспортування може призвести до зміни структури ґрунту та посилення ерозійних процесів.

1.9 Зарубіжний досвід відновлення ґрунтів після лісозаготівельних робіт.

У багатьох країнах світу існують практики з відновлення лісових ґрунтів після лісозаготівель. Наприклад, в Австрії та Швейцарії, де збереження екологічного стану лісових масивів має високий пріоритет, активно застосовують методи рекультивації та заліснення пошкоджених ділянок. Одним із методів є відновлення рослинного покриву за допомогою посіву трав'яних сумішей, що запобігає ерозії та сприяє природному відновленню ґрунту. У Фінляндії проводиться активне висаджування дерев на пошкоджених ділянках

та використання органічних добрив для підвищення родючості. Ці заходи дозволяють прискорити процеси відновлення, а також підтримують природну структуру ґрунтів. У Канаді широко застосовують метод біологічного рекультивування, який передбачає використання мікроорганізмів для прискорення відновлювальних процесів.

Отже, аналіз наукової літератури та практичного досвіду свідчить про те, що питання впливу транспортування деревини на лісові ґрунти має багатофакторний характер і вимагає комплексного підходу. Гірські лісові ґрунти є особливо вразливими до механічного впливу через їхню специфічну структуру, нахили, підвищену вологість та схильність до ерозійних процесів. Ефективне управління лісовими ресурсами передбачає не лише мінімізацію впливу на ґрунти, а й використання сучасних методів моніторингу та відновлення, що сприятиме довгостроковому збереженню екологічної стійкості лісових екосистем.

Зарубіжний досвід показує, що ефективне використання легких транспортних засобів, обмеження транспортування у вологі сезони, застосування канатних систем та інноваційних методів рекультивації можуть значно знизити ризики деградації ґрунтів у гірських регіонах. Важливим етапом є впровадження методів моніторингу, які дозволяють оцінити стан ґрунтів після транспортування і вчасно вжити заходів для їх відновлення. Рекомендації щодо адаптації міжнародного досвіду в Україні. На основі аналізу зарубіжного досвіду можна запропонувати наступні рекомендації для лісових господарств України, зокрема для ДП «Рахівське лісове господарство»:

1. Використання легких лісозаготівельних машин: Перехід на техніку з низьким тиском на ґрунт дозволить зменшити негативний вплив на структуру ґрунтів.

2. Введення сезонних обмежень на транспортування: Запровадження обмежень у період підвищеної вологості ґрунту дозволить уникнути надмірного ущільнення та ерозії.

3. Рекультивація пошкоджених ділянок: Відновлення трав'яного покриву та висадка місцевих видів рослин сприятимуть стабілізації ґрунтів та відновленню природних екосистем.

4. Моніторинг та наукове дослідження: Проведення регулярного моніторингу стану ґрунтів дозволить вчасно виявити порушення і застосувати необхідні заходи. Ці підходи можуть стати важливим кроком до забезпечення сталого управління лісовими ресурсами в Україні та сприяти збереженню екологічного стану лісових екосистем на довгий термін.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДЕРЕВИНИ ЛІСОТРАНСПОРТНИМИ МАШИНАМИ В УМОВАХ ГІРСЬКОГО РЕЛЬЄФУ

2.1 Проблеми лісотранспортування в гірських умовах.

Транспортування деревини є одним з найважливіших етапів у лісозаготівельному процесі, особливо у гірських районах, де складні ландшафтні та кліматичні умови ускладнюють виконання робіт. Розробка і застосування оптимальних машин для лісотранспорту у гірських умовах має важливе значення для зниження витрат на транспортування, підвищення безпеки робіт, зменшення впливу на навколишнє середовище та забезпечення стійкості робочого процесу.

2.2 Огляд літератури з питань вибору та обґрунтування параметрів лісотранспортних машин.

Література з досліджень, присвячених вибору лісотранспортних машин, містить значний масив теоретичних та практичних розробок. Серед ключових джерел виділяються роботи, присвячені аналізу техніко-експлуатаційних характеристик машин, розробці оптимальних параметрів для ефективного функціонування в умовах гірського рельєфу та підвищенню прохідності техніки за складних погодних умов. У роботах [1, 2] детально розглянуто вплив основних параметрів лісовозів, таких як маса, потужність двигуна, шасі, та їхнє поєднання із властивостями лісосічних і трелювальних умов. Автори підкреслюють важливість правильного вибору габаритів та маси машин, врахування крутого рельєфу та частих змін погодних умов, що впливають на

стабільність та прохідність техніки. Крім того, у [3] наведені дослідження екологічних аспектів впливу лісотransпортних машин на ґрунти та лісові дороги.

2.3 Теоретичні основи вибору типу лісотransпортної машини.

У гірських умовах при виборі лісотransпортної машини враховуються такі основні критерії:

- Потужність двигуна і вантажопідйомність. Ці параметри повинні відповідати умовам підвищених навантажень, пов'язаних із підйомами та спусками на крутих схилах.
- Тип шасі. У більшості випадків рекомендуються машини з гусеничним або комбінованим шасі, яке забезпечує кращу стійкість і менший тиск на ґрунт.
- Система підвіски та амортизації. Надійна підвіска з амортизаційними системами захищає від надмірного зношення й забезпечує комфорт оператора.
- Витрати палива. Економічна ефективність залежить від можливості оптимізації витрат на транспортування у важкодоступних регіонах.

2.4 Аналіз сучасних підходів до вибору параметрів лісотransпортних машин.

Аналізуючи підходи до вибору параметрів, слід зазначити, що існує кілька моделей, які вже добре зарекомендували себе на ринку техніки. Зокрема, форвардери та трактора з причіпним устаткуванням є провідними типами машин, що дозволяють ефективно вирішувати питання транспортування

деревини з місць рубки до проміжних складів або доріг загального користування. Згідно з дослідженням [4], для гірських умов підходять компактні моделі з низьким центром ваги та високою потужністю. Вони забезпечують стабільність і зниження ризиків перекидання на крутих схилах. Робота [5] вказує на важливість стабілізаційних механізмів, що дозволяють адаптуватися до складних умов рельєфу.

2.5 Вимоги до лісотransпортних машин для використання в умовах гірського рельєфу.

Гірські умови ставлять перед лісотransпортною технікою ряд специфічних вимог:

1. Прохідність на нерівних поверхнях. Машини повинні легко долати перепони та адаптуватися до нестабільного ґрунту.
2. Маневреність. У вузьких лісових проходах та на крутих поворотах маневреність є критично важливою.
3. Мінімізація шкоди для ґрунтів. Гусеничні моделі зазвичай мають менший тиск на ґрунт, що зменшує шкоду для екосистеми.
4. Міцність конструкції. Міцніші та надійніші деталі й вузли дозволяють витримувати підвищені навантаження в умовах складного рельєфу.
5. Екологічність. Знижене споживання палива та мінімальні викиди важливі з погляду збереження навколишнього середовища.

2.6 Сучасні досягнення та інновації у лісотransпортній техніці.

Сучасні лісотransпортні машини оснащуються такими інноваційними технологіями, як системи моніторингу стану техніки в реальному часі, інтелектуальні стабілізаційні механізми та гібридні двигуни, що дозволяють оптимізувати витрати палива. Використання таких технологій підвищує безпеку, ефективність і довговічність машин, а також забезпечує кращий захист навколишнього середовища.

Отже, вибір та обґрунтування параметрів лісотransпортної машини є складним процесом, який залежить від багатьох факторів, включаючи рельєф, кліматичні умови та технічні характеристики обладнання. Сучасні дослідження та інновації у лісотransпортній галузі пропонують надійні рішення для підвищення ефективності транспортування деревини, зниження впливу на довкілля та покращення умов роботи оператора.

РОЗДІЛ 3. ОБ'ЄКТ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Характеристика об'єкту дослідження.

Рахівський держлісгосп розташований у високогірній частині Українських Карпат і характеризується складним гірським рельєфом із численними схилами різних експозицій та крутизни. Територія розділена долинами річок Чорна та Біла Тиса на три гірські масиви: Свидовець, Чорногора та Мараморош. З масиву Свидовець на територію лісгоспу заходять лише східні схили хребта Камінного, які межують із річками Тиса та Чорна Тиса, на території Квасівського лісництва.

Східні Полонинні гори характеризуються широкими, плоскими вершинами, що створює специфічний ландшафт на території лісгоспу. У гірському масиві Чорногора, що охоплює Говерлянське, Богданське, Білотисянське та східну частину Квасівського лісництва, зосереджені найвищі вершини Українських Карпат. Цей масив займає 50% площі лісгоспу, і саме тут знаходиться Говерла, найвища гора України (2061 м). До інших значних вершин Чорногори належать Петрос (2022 м), Піп Іван (2026 м) та Менчул (2002 м).

Марамороські гори займають південну частину території лісгоспу, розташовану нижче річки Біла Тиса, включаючи Устеріцьке, Щаульське та Рахівське лісництва. Найвищою точкою цього масиву є гора Піп Іван Марамороський (1940 м).

Клімат району розташування лісгоспу має помірно-континентальні особливості, з високою вологістю в гірському поясі та помірно-теплим кліматом у долині річки Тиса. У зв'язку з різноманітністю рельєфу, висотою над рівнем моря та експозицією схилів, тут формується безліч мікрокліматів, що створюють специфічні умови для різних рослинних зон.

З підняттям на кожні 100 метрів над рівнем моря температура знижується в середньому на 0,7-0,8°C за рік. Розподіл опадів також тісно пов'язаний з висотою: опади збільшуються приблизно на 70 мм на кожні 100 м, особливо в літні місяці. На висоті 1200-1300 м проходить ізотерма +5°C, яка є природною межею зростання бука, що обумовлює зональність лісових угруповань та впливає на типи лісових насаджень у цьому районі.

Кліматичні умови на території лісгоспу ускладнюють ріст і розвиток лісових насаджень через низку факторів, таких як пізні весняні та ранні осінні заморозки, надмірне зволоження ґрунту від сильних дощів, різкі температурні коливання та сильні вітри зі швидкістю понад 15 м/с. Ці умови можуть призводити до пошкодження молодих дерев та зниження стійкості лісових екосистем.

Згідно лісорослинного районування територія Рахівського держлісгоспу відноситься до лісорослинної зони Українських Карпат, по лісогосподарському районуванню – до Гірськокарпатського округу, району буково-ялицево-ялинових лісів.

Лісові масиви лісгоспу розташовані на висоті від 420 до 1600 м над рівнем моря, причому близько 54% площі лісгоспу лежить на висоті понад 1000 м. Це висотне розташування впливає на екологічні умови, видову структуру та стійкість лісів, роблячи їх частиною унікальної високогірної екосистеми.

Безперервне лісовпорядкування на території лісгоспу з 2000 року передбачало систематичне оновлення даних про лісові ділянки, охоплені господарською діяльністю або уражені стихійними явищами. Щорічні натурні таксаційні роботи забезпечували актуалізацію по видільних таксаційних і картографічних баз даних, що включали інформацію про види дерев, їхній вік, стан, а також про лісовідновлення та санітарний стан лісів.

Ці дані слугували основою для складання обліково-звітної документації та аналізу виконання проекту з організації й розвитку лісового господарства. Таким чином, завдяки безперервному лісовпорядкуванню лісгосп постійно мав

актуальну інформацію для ефективного управління лісовими ресурсами та адаптації своєї діяльності до змін у стані лісових екосистем.

На території лісгоспу в межах швейцарсько-українського проекту FORZA проводилися дослідні роботи для впровадження планів ведення лісового господарства за принципами наближеного до природи лісівництва. Цей підхід спрямований на створення більш стійких і біорізноманітних лісових екосистем, зважаючи на природні процеси та специфіку місцевих ландшафтів.

Проект FORZA, який діє в Закарпатті, підтримує такі методи лісівництва, які мінімізують втручання в природну динаміку лісів, а також стимулюють природне відновлення деревостанів, зменшують ризики деградації ґрунтів і посилюють водоохоронні функції лісу. Це включає вибіркову рубку, збереження різновікових деревостанів і пріоритет природного поновлення, що загалом сприяє збереженню біорізноманіття та екологічної рівноваги.

3. 2. Методи дослідження впливу транспортування на лісові ґрунти.

Для виявлення екологічних наслідків транспортування деревини на ґрунти в Рахівському лісовому дослідному господарстві застосовуються різні методи. Основні методи оцінки включають польові дослідження, лабораторний аналіз ґрунтових зразків, моделювання та статистичний аналіз даних.

1. Польові дослідження: Включають збирання зразків ґрунту з різних ділянок лісового масиву, що піддавалися транспортуванню деревини. Це дозволяє отримати інформацію про структуру ґрунту, рівень ущільнення, а також провести візуальну оцінку наслідків транспортування. Збір зразків проводиться в кількох точках, що представляють різні рівні впливу транспорту, а також контрольні ділянки для порівняння результатів.

2. Лабораторний аналіз зразків: На основі зібраних зразків проводиться аналіз фізико-хімічних характеристик ґрунту, таких як щільність, вологість, пористість, а також вміст органічної речовини та основних поживних елементів (азоту, фосфору, калію). Ці дані дозволяють встановити, наскільки суттєво змінились характеристики ґрунту під впливом транспортування.

3. Геостатистичне моделювання: Застосовується для прогнозування зон впливу транспортування деревини, що базується на даних з реальних вимірювань. Геостатистичні методи дозволяють визначити можливі масштаби негативних впливів, враховуючи ландшафтні особливості та інтенсивність лісозаготівельної діяльності.

4. Біологічний аналіз: Включає оцінку стану ґрунтової фауни та мікрофлори. Зміни в складі мікроорганізмів можуть свідчити про порушення біологічного циклу ґрунту, що впливає на його родючість та здатність до регенерації.

3.3. Методика дослідження впливу первинного транспортування деревини на лісові ґрунти

3.3.1 Визначення завдань та етапів дослідження.

В рамках дослідження розроблено поетапний план, що забезпечує системний підхід до аналізу змін у ґрунтах під впливом транспортування деревини. Кожне із завдань включає такі етапи:

- Польові дослідження: Збір проб ґрунту та проведення вимірювань безпосередньо в польових умовах на обраних ділянках. Це дозволяє отримати початкові дані про поточний стан ґрунтів у місцях із різним навантаженням транспорту.

- **Лабораторний аналіз:** Виконання комплексного хімічного та біологічного аналізу зібраних проб. В лабораторії можна визначити точні показники кислотності, вмісту органічної речовини, концентрації макро- та мікроелементів, а також вивчити структуру ґрунтової мікрофлори.

- **Оцінка екологічних показників ґрунту:** На основі зібраних даних проводиться аналіз змін у екологічному стані ґрунту та створюється комплексна оцінка ступеня негативного впливу. Екологічні показники включають якість водопроникності, біологічну активність, ступінь ущільнення ґрунту тощо.

3.3.2 Вибір ділянок для дослідження.

З метою покращення репрезентативності результатів дослідження було обрано кілька типів ділянок, які дозволяють врахувати різні інтенсивності навантаження від транспорту та природні відмінності ґрунтів у регіоні дослідження. Вибір ділянок здійснювався за наступними критеріями:

1. **Тип ґрунту:** Урахування типу ґрунту дозволяє краще зрозуміти, які саме властивості змінюються під дією транспортування. Наприклад, піщані ґрунти можуть бути більш схильними до ерозії, а глинисті - до ущільнення.

2. **Рельєф:** Нахил поверхні значно впливає на процеси ерозії, що можуть бути посилені транспортуванням деревини, особливо на схилах. Ділянки з різним нахилом (рівнина, середній нахил, крутий схил) допомагають отримати більш повне уявлення про вплив транспорту в умовах різного рельєфу.

3. **Вид лісової рослинності:** Види дерев і підліску впливають на утворення ґрунтового покриву. У хвойних і листяних лісах ґрунти мають різні показники кислотності та вмісту органічної речовини, що також враховувалося при відборі ділянок.

3.3.3 Методи відбору та підготовки зразків ґрунту.

Для більш детального аналізу, кожна з ділянок поділена на підділянки з відбором проб у точках, що відповідають характерним умовам ґрунту. Відбір зразків проводиться кілька разів протягом різних сезонів для врахування сезонних змін вологовмісту та температури ґрунту. Відбір зразків на різних глибинах дозволяє виявити, як глибоко проникає вплив транспорту на ґрунт. Наприклад, ущільнення може бути найбільшим у верхніх шарах, але його наслідки, такі як зниження водопроникності, можуть відчуватися і на більшій глибині. Зразки зберігаються у герметичних контейнерах для запобігання втраті вологи до проведення лабораторного аналізу.

3.3.4 Методи вимірювання фізичних характеристик ґрунту.

Пенетрометричний метод є стандартним підходом для визначення ступеня ущільнення ґрунту, що виникає внаслідок механічного впливу транспорту. Вимірювання здійснюються на кількох рівнях профілю, а отримані значення порівнюються з контрольними пробами. Окрім пенетрометрів, у дослідженні використовується метод вимірювання щільності ґрунту за допомогою буріння і визначення ваги сухого ґрунту на кожному рівні. Ступінь ущільнення впливає на аерацію ґрунту, що є критично важливим для ґрунтових організмів та кореневої системи рослин. Сильне ущільнення може призвести до погіршення умов для мікроорганізмів, які відповідають за перетворення органічних речовин та засвоєння поживних елементів рослинами.

Для вимірювання водопроникності застосовується кілька методик, включаючи інфільтраційний тест і тест насичення водою (кондуктометричний метод).

- Інфільтраційний тест: Вимірюється швидкість, з якою вода проникає в ґрунт на конкретній ділянці. Метод полягає у визначенні часу, за який певний об'єм води повністю вбирається ґрунтом.

- Кондуктометричний метод: Визначає швидкість насичення ґрунту водою в лабораторних умовах. Цей метод дозволяє більш точно оцінити, наскільки ущільнення впливає на здатність ґрунту до вбирання води.

Вологовміст ґрунту визначається шляхом зважування зразків перед сушінням і після нього, що дозволяє оцінити відсоток води, яка міститься у ґрунті. Вологість є важливим параметром, оскільки вона впливає на біологічну активність ґрунту та розвиток кореневої системи. Вологість ґрунту також корелює з його водопроникністю: за високої вологості ущільнений ґрунт не здатний вбирати додаткову воду, що призводить до поверхневого стоку та ерозійних процесів, особливо на схилах.

3.3.5 Хімічні та біологічні методи аналізу ґрунту.

Для хімічного аналізу використовуються методики, що дозволяють оцінити стан органічних речовин, кислотність, вміст макроелементів (азоту, фосфору, калію) та мікроелементів (кальцію, магнію). Ці показники дозволяють визначити, наскільки ґрунт втрачає поживні речовини внаслідок ущільнення і як це впливає на його родючість.

- Органічна речовина: Вміст гумусу вказує на здатність ґрунту підтримувати рослинність. При ущільненні внаслідок транспортування деревини знижується вміст органічної речовини через скорочення біологічної активності.

- Кислотність (pH): Значення pH визначає здатність ґрунту утримувати поживні елементи. У разі ущільнення кислотність може підвищуватись, що впливає на доступність поживних речовин для рослин.

Біологічні показники ґрунту є важливим компонентом оцінки його екологічного стану та реакції на вплив транспортування деревини. Ущільнення ґрунту може призвести до зменшення аерації, що негативно впливає на розвиток ґрунтових мікроорганізмів, які відіграють важливу роль у кругообігу поживних речовин. Дослідження біологічних характеристик ґрунту включає:

1. Визначення кількості мікроорганізмів: Здійснюється облік загальної кількості ґрунтових бактерій, грибів, актиноміцетів та інших мікроорганізмів. В умовах ущільненого ґрунту кількість мікроорганізмів знижується через зменшення доступу до кисню та поживних речовин. Важливо також враховувати, що різні групи мікроорганізмів мають специфічні функції — деякі розкладають органічні речовини, інші забезпечують перетворення азоту, що є критично важливим для рослинності.

2. Аналіз ферментативної активності ґрунту: Вимірювання активності ферментів, таких як фосфатаза, уреаза та целюлаза, дозволяє оцінити біохімічні процеси, що відбуваються у ґрунті. Наприклад, фосфатаза впливає на процеси розкладання органічного фосфору до доступних рослинам форм, а уреаза — на перетворення органічного азоту.

3. Біомаса мікроорганізмів: Визначення мікробної біомаси є індикатором загального біологічного стану ґрунту. В умовах ущільнення мікробна біомаса знижується, що є ознакою деградації ґрунту. Це дослідження зазвичай проводиться шляхом фумігації-знаходження та витягання мікробної маси через методи хімічного аналізу.

4. Показники дихання ґрунту: Вимірювання інтенсивності ґрунтового дихання є одним із способів оцінити активність біоти ґрунту. Дихання ґрунту (виділення CO_2) є показником метаболічної активності мікроорганізмів та

індикатором здатності ґрунту підтримувати біохімічні процеси. При ущільненні дихальна активність ґрунту знижується, оскільки обмежується доступ кисню та можливість метаболічних процесів.

5. Біодоступність поживних речовин: Визначення біодоступності таких елементів, як азот, фосфор, калій, допомагає оцінити, наскільки ущільнення ґрунту впливає на здатність рослин засвоювати поживні речовини. При ущільненні порушується природний цикл трансформації елементів, що призводить до зниження їх доступності для рослин та мікроорганізмів.

Структура ґрунту є основним показником його якості та здатності підтримувати біологічне різноманіття. При транспортуванні деревини структура ґрунту піддається значному впливу через механічне навантаження, яке спричиняє ущільнення та зменшення пористості. Наслідки змін у структурі ґрунту можуть бути суттєвими та мати тривалий вплив на екологічний стан лісових ґрунтів.

Пористість та щільність є важливими параметрами, які впливають на здатність ґрунту забезпечувати циркуляцію повітря і води. Ущільнення ґрунту призводить до зменшення кількості великих пор та збільшення об'ємної щільності, що негативно впливає на водний режим ґрунту та зменшує доступність води і повітря для рослин та мікроорганізмів.

- Пористість ґрунту: Визначається як співвідношення об'єму пор до загального об'єму ґрунту. Пористість, зазвичай, зменшується під впливом транспорту, що ускладнює просочування води та погіршує аерацію ґрунту.

- Об'ємна щільність ґрунту: Цей показник є індикатором рівня ущільнення ґрунту. Зростання об'ємної щільності свідчить про зменшення кількості пористих простору та погіршення умов для розвитку рослинності. Зниження пористості і збільшення об'ємної щільності негативно впливає на ріст кореневої системи рослин, оскільки зменшується здатність ґрунту до поглинання поживних речовин та води.

Мікроструктура ґрунту, що відображає розмір та форму ґрунтових агрегатів, визначає його стійкість до механічного впливу і здатність зберігати стабільність під час транспортування деревини. При інтенсивному транспортуванні мікроструктура ґрунту порушується, що призводить до руйнування агрегатів та погіршення стійкості ґрунту.

- Розмір ґрунтових агрегатів: При ущільненні зменшується розмір ґрунтових агрегатів, що посилює ризик ерозії та збільшення поверхневого стоку води.

- Стабільність агрегатів: Чим стабільніші агрегати, тим менший ризик втрати ґрунтової структури під впливом транспортування. В умовах ущільнення ґрунтові агрегати стають більш крихкими, що сприяє зниженню стійкості до механічного навантаження.

Зміна структури ґрунту призводить до модифікації його фізико-хімічних властивостей, таких як вологомісткість, теплопровідність та хімічний склад. Порушення фізико-хімічних властивостей ґрунту погіршує його екологічні функції, що знижує здатність лісу до регенерації після інтенсивного транспортування деревини. Це включає такі зміни:

- Зниження вологомісткості: Ущільнення зменшує здатність ґрунту утримувати воду, що призводить до погіршення умов для рослин та загрози посухостійкості лісів.

- Зміна теплопровідності: Щільніші ґрунти мають вищу теплопровідність, що змінює тепловий режим ґрунту і може вплинути на ґрунтову біоту, чутливу до температурних змін.

- Модифікація хімічного складу: Ущільнення ґрунту може впливати на доступність та мобільність поживних речовин, особливо азоту і фосфору, через зниження аерації, що уповільнює процеси їхньої трансформації.

РОЗДІЛ 4. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ЛІСОТРАНСПОРТНИХ МАШИН.

4.1 Визначення ключових технічних параметрів лісотransпортних машин.

Основними технічними параметрами, що визначають придатність лісотransпортних машин для експлуатації у гірських умовах, є потужність двигуна, вантажопідйомність, тип шасі, розмір коліс, маневреність та витривалість на складному рельєфі. Ці характеристики є фундаментальними для забезпечення стабільної роботи техніки, запобігання пошкодженням машин та зниження зношування деталей при підвищених навантаженнях. При виборі потужності двигуна важливо врахувати:

1. Тип навантажень — підйоми на круті схили вимагають значного запасу потужності;
2. Розмір вантажу, що впливає на вимоги до силової установки;
3. Потреба в економії палива, адже у гірських умовах довші маршрути потребують значних ресурсів. Згідно з дослідженням [6], для гірських умов оптимальними є двигуни потужністю від 200 до 400 кінських сил. Такий рівень потужності дозволяє справлятися зі складними умовами, зберігаючи баланс між витратами пального та ефективністю роботи.

3.2 Порівняння типів шасі та їх придатності для гірських умов У гірських умовах вибір типу шасі лісотransпортної машини суттєво впливає на стабільність, стійкість та можливість пересування на нерівних поверхнях.

Існує два основних типи шасі, що використовуються в лісотransпорті: колісні та гусеничні.

1. Колісне шасі: цей тип забезпечує вищу швидкість пересування, менші витрати пального та кращу маневреність на твердих дорогах. Однак у гірських умовах колісне шасі може виявитися менш стабільним через високу ймовірність ковзання на крутому рельєфі.

2. Гусеничне шасі: у порівнянні з колісним, гусеничне шасі є більш стійким на нерівних ділянках, забезпечуючи менший тиск на ґрунт. У гірських умовах гусеничне шасі краще пристосоване до роботи на складних поверхнях, що дозволяє уникати пошкодження поверхні лісових доріг та зменшувати знос деталей. Таким чином, для роботи у гірських районах доцільніше використовувати лісотransпортні машини на гусеничному шасі, оскільки це забезпечує стабільність та зниження ризиків пошкодження техніки при підйомах і спусках.

4.2. Вплив кліматичних умов на роботу лісотransпортних машин.

Різкі зміни погодних умов у гірських районах значно ускладнюють процес транспортування деревини. Машини повинні бути адаптовані до умов високої вологості, частих опадів та зміни температур, що підвищує вимоги до їх стійкості та захисту від корозії. У роботі [7] відзначено, що надійність лісотransпортних машин у гірських районах можна підвищити шляхом використання захисних покриттів від корозії, ущільнених механізмів захисту двигуна, а також надійної системи амортизації, яка зменшує негативний вплив вібрацій.

4.3. Огляд сучасних лісотransпортних машин, адаптованих до гірських умов.

Розглянемо кілька моделей, що успішно застосовуються для транспортування деревини в умовах гірського рельєфу:

1. John Deere 948L-II — форвардер, оснащений гусеничним шасі та потужним двигуном, здатний витримувати значні навантаження та працювати на крутому рельєфі. Модель вирізняється стабільною роботою при складних погодних умовах та оснащена захисними покриттями від корозії.

2. Komatsu 875 — машина із системою стабілізації та потужним двигуном, що забезпечує зниження витрат палива та високу продуктивність. Система гідравлічної амортизації підвищує комфорт для оператора та знижує зношування деталей.

3. Ponsse Elephant King — розроблений спеціально для транспортування важких вантажів, має високу вантажопідйомність, адаптивну підвіску та технологію стабілізації на схилах.

4.4. Технічні характеристики лісотransпортних машин.

На основі аналізу та технічних характеристик, лісотransпортні машини можна класифікувати за кількома ключовими параметрами: потужність двигуна, тип шасі, витрата палива, вантажопідйомність і системи стабілізації. Нижче наводимо таблицю з технічними характеристиками трьох основних моделей лісотransпортних машин, які відповідають вимогам роботи в гірських умовах.

Модель	Потужність (к.с.)	Тип шасі	Витрата палива (л/год)	Вантажопідйомність (т)	Система стабілізації
John Deere 948L-II	220	Гусеничний	25	15	Наявна
Komatsu 875	250	Колісний	28	13	Наявна
Ponsse Elephant King	270	Гусеничний	30	18	Наявна

4.5. Переваги та недоліки сучасних лісотransпортних машин у гірських умовах.

Аналізуючи основні параметри, можна виділити ключові переваги та недоліки зазначених моделей лісотransпортних машин:

1. Переваги: а. Гусеничні моделі забезпечують кращу стійкість та маневреність на крутих схилах; б. Висока потужність двигуна сприяє ефективній роботі на складному рельєфі; с. Наявність систем стабілізації та амортизації підвищує безпеку роботи та комфорт для оператора.

2. Недоліки: а. Підвищена витрата палива у гірських умовах може вплинути на загальну вартість транспортування; б. Гусеничні машини можуть вимагати частішого обслуговування через підвищене навантаження на механічні деталі.

Отже, розглянуті лісотransпортні машини є надійними інструментами для роботи в гірських умовах завдяки своїй стійкості, потужності та адаптивності до рельєфу. Проте кожна модель має свої переваги та недоліки, що потребує ретельного вибору машини в залежності від специфічних умов використання. Використання сучасних технологій, таких як системи стабілізації та адаптивні підвіски, дозволяє забезпечити безпечне та ефективне транспортування деревини у важкодоступних районах.

РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ НАСЛІДКІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДЕРЕВИНИ ДЛЯ ҐРУНТІВ НА ТЕРИТОРІЇ ДП «РАХІВСЬКЕ ЛГ»

5.1 Загальні аспекти оцінки екологічних наслідків.

Екологічна оцінка наслідків транспортування деревини є важливим етапом у вивченні впливу на лісові екосистеми та ґрунти. У цьому розділі аналізуються принципи та методи, що дозволяють оцінити масштаби та характер змін, викликаних транспортуванням, а також детально розглядаються конкретні впливи на фізичні та хімічні властивості ґрунтів. Враховуючи специфіку лісів у ДП «Рахівське лісове дослідне господарство», оцінка екологічних наслідків повинна включати різні аспекти: фізичні зміни ґрунтової структури, ерозійні процеси, зміну хімічного складу ґрунтів та зміну ґрунтової мікрофлори і фауни. Екологічні наслідки варіюються залежно від інтенсивності транспортування, типу ґрунту, вологості та рельєфу місцевості.

5.2 Довгострокові наслідки впливу транспортування деревини на лісові ґрунти.

Вплив транспортування деревини на лісові ґрунти є не лише короткочасним, а й може мати тривалі наслідки. Зміни в структурі ґрунту та його фізико-хімічних і біологічних властивостях можуть стати причиною деградації ґрунтів, яка матиме негативний вплив на екосистему протягом десятиліть. Основні довгострокові наслідки:

1. Погіршення відновлюваних можливостей ґрунту: Ущільнення знижує здатність ґрунту до самовідновлення, що посилює ризик його деградації і

зменшує шанси на повернення до природного стану без додаткових заходів з відновлення.

2. Погіршення якості лісових екосистем: Зниження біологічної активності ґрунту через втрату мікроорганізмів впливає на ланцюги харчування і призводить до скорочення чисельності рослинних і тваринних видів. Це ускладнює природний процес регенерації лісів.

3. Ерозійні процеси: При втраті структурної стабільності ґрунт стає більш уразливим до ерозійних процесів, особливо на схилах. Це може призводити до втрати верхнього шару ґрунту та зниження родючості, що вимагає вжиття заходів для запобігання ерозії, таких як застосування протиерозійних бар'єрів та відновлення рослинного покриву.

4. Вуглецевий баланс: Ґрунти є важливим резервуаром вуглецю, і порушення їхньої структури може призвести до вивільнення вуглецю в атмосферу, що посилює глобальні кліматичні зміни. Ущільнення зменшує накопичення органічного вуглецю, що обмежує здатність ґрунту до поглинання CO_2 з атмосфери.

5. Зміна водного режиму: Деградація ґрунту порушує природний цикл водообігу в лісових екосистемах, що може призвести до зміни гідрологічного режиму річок і джерел в районі дослідження, створюючи додаткові екологічні ризики.

5.3. Оцінка фізичних наслідків впливу на ґрунти.

Одним із найважливіших наслідків транспортування деревини є фізичне ущільнення ґрунту, яке змінює його структуру та водопроникність. Ущільнення призводить до зниження пористості ґрунту, що обмежує доступ повітря і води до коренів рослин та змінює властивості ґрунтової екосистеми.

1. Ущільнення ґрунту: Основна проблема, що виникає при транспортуванні деревини, - це зростання щільності ґрунту. Ущільнений ґрунт має меншу кількість великих пор, що призводить до обмеження проникнення води та повітря. Ущільнення також впливає на розвиток кореневої системи рослин, що може призвести до зменшення біомаси лісових угідь.

2. Вплив на водний режим ґрунту: Зменшення пористості спричиняє зниження водопроникності, внаслідок чого ґрунт менше утримує воду. Це може призвести до зміни локального водного балансу, збільшення стоку поверхневої води та підвищення ризику ерозії.

3. Зміна термічного режиму ґрунту: Ущільнений ґрунт має вищу теплопровідність, що впливає на температурний режим підповерхневих шарів. Зміна температурного режиму може негативно вплинути на біологічну активність ґрунту, а також на процеси розкладання органічних речовин.

5.4. Ерозійні процеси та їх взаємозв'язок із транспортуванням деревини.

Транспортування деревини значно збільшує ризик ерозійних процесів, особливо на крутих схилах і в місцях із вологим ґрунтом. Ерозія призводить до втрати родючого шару ґрунту, що має серйозні наслідки для лісової екосистеми. Основні види ерозії, що спостерігаються на території лісового господарства, включають водну ерозію та вітрову ерозію.

1. Водна ерозія: На ділянках із крутим рельєфом або підвищеною вологою транспортування деревини може створити стік води по поверхні ґрунту, що призводить до змиву родючого шару. Це явище особливо небезпечне в періоди сильних дощів або танення снігу, коли ґрунт насичений водою.

2. Вітрова ерозія: Хоча вона менш поширена в умовах лісового господарства, вітрова ерозія також може бути проблемою на оголених ділянках після транспортування. Вона сприяє втраті дрібнодисперсних частинок ґрунту, що веде до зниження його родючості та втрати поживних речовин.

3. Методи запобігання ерозії: Для зниження ерозійного ризику можуть використовуватись протиерозійні споруди, насадження ґрунтозахисної рослинності та встановлення тимчасових водовідвідних каналів уздовж маршрутів транспортування.

5.5. Хімічний вплив транспортування деревини на ґрунти.

Хімічний вплив транспортування деревини на ґрунти включає зміну їхнього хімічного складу внаслідок випадання пилу, витоків мастильних матеріалів, палива та інших речовин, що використовуються у лісозаготівельному процесі. В умовах ДП «Рахівське лісове дослідне господарство» це може бути суттєвим фактором деградації ґрунтів, особливо в тих районах, де часто використовуються важкі машини для транспортування на довгі відстані.

1. Внесення забруднюючих речовин: Під час транспортування деревини ґрунт може забруднюватись важкими металами, нафтовими залишками та іншими токсичними речовинами. Паливно-мастильні матеріали, що можуть випадати з транспорту під час руху, зокрема нафтові вуглеводні, накопичуються в ґрунті, де розкладаються повільно, що призводить до тривалого забруднення.

2. Зміна кислотно-лужного балансу: Викиди в атмосферу під час роботи техніки можуть осідати на ґрунті, змінюючи його рН-баланс. Підвищення кислотності або лужності негативно впливає на ріст рослин, оскільки змінює

доступність поживних елементів у ґрунті. Особливо чутливими до таких змін є молоді дерева та підлісок, які зазнають значного впливу від змін у складі ґрунту.

3. Вплив на вміст поживних речовин у ґрунті: Постійне використання важкої техніки впливає на запаси азоту, фосфору, калію та інших елементів у ґрунті. Підвищення концентрацій одних речовин і зменшення інших може змінити рівень родючості ґрунту, зокрема в умовах Карпат, де ґрунти мають обмежений доступ до поживних речовин через особливості рельєфу та клімату.

4. Акумуляція токсичних речовин у ґрунтових горизонтах: Транспортування деревини часто спричиняє накопичення токсичних елементів у верхніх шарах ґрунту. Через поверхневий стік токсичні елементи можуть мігрувати в глибші горизонти, що призводить до їх накопичення і може негативно вплинути на водоносні шари, які взаємодіють із ґрунтом.

5. Методи мінімізації хімічного забруднення ґрунтів: Для зниження хімічного навантаження на ґрунти можуть використовуватися екологічно чисті мастильні матеріали, що швидко розкладаються, а також спеціальні технології для утилізації відпрацьованих матеріалів. Також можливе встановлення фільтраційних систем або використання сорбентів у місцях, де найбільша ймовірність виливу шкідливих речовин.

5.6. Вплив транспортування на мікробіологічний стан ґрунтів.

Мікробіологічна активність ґрунтів є важливим показником їхньої родючості та екологічного стану. Мікроорганізми виконують важливі функції, сприяючи розкладанню органічних речовин, перетворенню азоту, фосфору та інших елементів у форми, доступні для рослин. Транспортування деревини

може негативно вплинути на мікробіологічний склад ґрунту, що призводить до порушення природних процесів.

1. Зниження чисельності мікроорганізмів: Ущільнення ґрунту і хімічне забруднення можуть суттєво знижувати активність та чисельність ґрунтових мікроорганізмів. Зокрема, це стосується бактерій, що беруть участь у перетворенні органічної речовини в гумус та у циклі азоту.

2. Зменшення біорізноманіття: Умови, створені транспортуванням деревини, є несприятливими для деяких видів мікроорганізмів, що може призводити до втрати мікробіологічного різноманіття ґрунту. Це, своєю чергою, погіршує здатність ґрунту підтримувати екосистемні функції, такі як розклад органіки та регенерація.

3. Зміна співвідношення мікроорганізмів: Ущільнення та забруднення ґрунту можуть призводити до зміни домінантних груп мікроорганізмів. Наприклад, гриби, які краще пристосовані до умов низького вмісту кисню та підвищеної кислотності, можуть почати домінувати над бактеріями. Це змінює баланс органічних процесів у ґрунті, впливаючи на доступність поживних речовин для рослин.

4. Способи збереження мікробіологічної активності ґрунтів: Використання менш важкої техніки або транспортування деревини в сухіші періоди року може зменшити негативний вплив на мікробіологічний склад ґрунту.

5.7. Відновлення ґрунтів після впливу транспортування деревини.

Відновлення екологічної стійкості ґрунтів після інтенсивного використання для транспортування деревини є ключовим етапом у підтримці їхньої родючості та здоров'я екосистеми. У ДП «Рахівське лісове дослідне

господарство» методи відновлення можуть варіюватися залежно від ступеня порушення та типу ґрунтів.

1. Механічне розпушування ґрунту: Цей метод спрямований на зменшення ущільнення та покращення аерації ґрунту, що є критичним для відновлення мікробіологічної активності. Використання ручного або механізованого розпушування сприяє зниженню негативних наслідків ущільнення та відновленню природних процесів ґрунтоутворення.

2. Органічне мульчування: Мульчування органічними матеріалами, такими як деревна тріска або компост, допомагає зберегти вологу, зменшує ерозію та сприяє розвитку корисної мікрофлори. Цей метод також сприяє поверненню органічних речовин до ґрунту, що допомагає підвищити його родючість.

3. Внесення органічних і мінеральних добрив: Додаткове живлення може допомогти ґрунту відновити свої біологічні функції. Внесення органічних добрив, таких як гній, компост або сидерати, забезпечує ґрунт основними поживними речовинами, що стимулює ріст рослинності та активність мікроорганізмів.

4. Висадка трав'яних культур: Посів трав'яних культур на порушених ділянках може сприяти стабілізації ґрунтів і запобіганню ерозії. Культури з добре розвиненою кореневою системою, такі як конюшина, люцерна або костриця, допомагають укріпити ґрунт, покращують його структуру та сприяють відновленню біорізноманіття.

5. Біоремедіація: Використання спеціальних видів рослин і мікроорганізмів, здатних поглинати та нейтралізувати забруднення, може бути ефективним для відновлення ґрунтів, забруднених нафтовими продуктами та важкими металами. Наприклад, посадка певних видів рослин може сприяти поглинанню важких металів з ґрунту, що є корисним у випадках тривалого впливу транспортування.

6. Підтримка природної сукцесії: Деякі зони відновлюються самостійно завдяки природним сукцесійним процесам. Підтримка таких процесів включає обмеження доступу до територій, створення захисних насаджень та обмеження діяльності, що може перешкоджати самовідновленню.

5.8. Вплив транспортування деревини на гідрологічний режим ґрунтів.

Гідрологічний режим ґрунтів безпосередньо впливає на стан лісових екосистем, а транспортування деревини може спричиняти його значні зміни. Зокрема, ущільнення ґрунту та прокладання транспортних шляхів призводять до зниження водопроникності, збільшення поверхневого стоку та зміни динаміки водного балансу.

1. Зниження водопроникності: Ущільнення ґрунту, що відбувається під час транспортування деревини, зменшує його здатність до інфільтрації води. Це призводить до підвищення рівня поверхневого стоку, збільшення ризику ерозії та зниження доступності вологи для рослин. Недостатня водопроникність також негативно впливає на здатність ґрунту поглинати дощові та талові води.

2. Зміна балансу вологи: Транспортні шляхи у лісових масивах можуть змінювати баланс вологи в ґрунті. Під час сильних опадів ґрунт має меншу здатність поглинати надлишкову воду, що може спричиняти підтоплення або сухість сусідніх ділянок. Ці зміни особливо помітні у гірських районах, де опади є рясними та нерівномірними.

3. Ерозія ґрунтів: Поверхневий стік, що посилюється ущільненням ґрунту, сприяє ерозійним процесам, особливо на схилах, де підвищене навантаження на ґрунт призводить до його змиву. Ерозія ґрунтів може

призвести до втрати верхнього родючого шару, що ускладнює подальше відновлення екосистеми.

4. Вплив на водоносні горизонти: При зміні гідрологічного режиму, порушення верхнього шару ґрунту може мати негативний вплив на глибинні водоносні горизонти. Зниження водопроникності ґрунту призводить до обмеження поповнення підземних вод, що може позначитись на рівні води у лісових струмках та річках, важливих для місцевої екосистеми.

5. Методи підтримки гідрологічного балансу: Для зменшення негативного впливу транспортування деревини на гідрологічний режим можуть використовуватися методи, такі як будівництво дренажних систем, створення водозбірних басейнів, обмеження глибини ущільнення ґрунту та збереження рослинного покриву.

5.9. Вплив на біорізноманіття та лісові екосистеми.

Перевезення деревини також може чинити значний тиск на біорізноманіття, особливо якщо траса прокладається через недоторкані лісові масиви. Лісові екосистеми Карпат є домом для багатьох видів флори та фауни, які можуть бути чутливими до змін у ґрунті та довкіллі.

1. Зниження видового складу: Ущільнення ґрунту та витоптування рослинності можуть призводити до зникнення деяких видів рослин, що негативно впливає на кормову базу для тварин. Багато рідкісних видів рослин можуть зникати з уражених ділянок через нездатність пристосуватися до умов ущільненого ґрунту.

2. Зміна ареалу проживання для тварин: Шум, вібрації та людська діяльність, пов'язані з транспортуванням деревини, можуть впливати на

поведінку тварин. Деякі види ссавців та птахів можуть уникати уражених ділянок, що призводить до зміщення їхніх ареалів та скорочення чисельності.

3. Зміна структурної різноманітності: Вирубання та транспортування деревини призводить до зниження структурної різноманітності, оскільки зменшується кількість місць для гніздування та укриття. Втрата підліску та мертвої деревини знижує біорізноманіття, особливо для дрібних ссавців, комах та грибів.

4. Стратегії збереження біорізноманіття: Для захисту біорізноманіття під час транспортування деревини можна використовувати обмеження щодо часу робіт, зокрема, зупиняти роботи в період розмноження тварин, створювати захисні коридори та забезпечувати альтернативні шляхи транспортування.

5.10. Методи оцінки стану ґрунтів після транспортування деревини.

Ефективна оцінка стану ґрунтів після транспортування деревини є важливою для розробки заходів з їхнього відновлення. У ДП «Рахівське лісове дослідне господарство» використовується кілька методів оцінки, кожен із яких має свої особливості та дозволяє оцінити різні аспекти впливу транспорту на ґрунт.

1. Фізико-хімічний аналіз ґрунту: Цей метод включає дослідження основних показників ґрунту, таких як рН, рівень вологості, вміст органічної речовини, азоту, фосфору та калію. Аналіз дозволяє оцінити, наскільки транспортування деревини впливає на родючість ґрунту та його здатність забезпечувати рослини необхідними поживними речовинами.

2. Вимірювання рівня ущільнення ґрунту: Використовується спеціальне обладнання для вимірювання щільності ґрунту на різних глибинах. Це важливо

для розуміння того, наскільки сильно ущільнений ґрунт, і як це впливає на водопроникність і аерацію.

3. Мікробіологічний аналіз: Дослідження складу мікроорганізмів у ґрунті дозволяє визначити, наскільки порушені мікробні екосистеми. Ущільнення ґрунту та вплив важких металів можуть негативно позначитися на мікробному складі ґрунту, що впливає на родючість та здоров'я лісової екосистеми.

4. Геоботанічний аналіз: Включає оцінку стану рослинного покриву, який є індикатором змін у ґрунті. Втрата або заміна певних видів рослин може вказувати на порушення ґрунтових умов, таких як зменшення вологості або родючості.

5. Оцінка ерозійних процесів: Метод включає дослідження ступеня ерозії ґрунту та оцінку втрати верхнього шару ґрунту на основі даних із замірів та спостережень. Ерозія є серйозною проблемою для лісових екосистем, і її оцінка дозволяє передбачити негативні наслідки для навколишнього середовища.

6. Лабораторний аналіз важких металів і токсинів: Транспортування деревини може призвести до накопичення токсичних речовин у ґрунті, зокрема важких металів. Дослідження включає аналіз ґрунтових зразків для виявлення вмісту кадмію, свинцю, ртуті та інших небезпечних речовин, що впливають на рослинність та водоносні горизонти.

7. Оцінка гідрологічного балансу ґрунту: Проводиться моніторинг вологості ґрунту, глибини інфільтрації води та інших показників, що дозволяють оцінити, як транспортування деревини змінило водний режим території. Важливо виявити проблеми, пов'язані з надмірним поверхневим стоком та недостатнім проникненням води.

8. Методи дистанційного зондування та геоінформаційного аналізу: Використання дронів, супутникових знімків та геоінформаційних систем

дозволяє здійснювати моніторинг змін у рослинному покриві та ерозійних процесах на великих територіях. Це особливо корисно для лісового господарства, оскільки дозволяє швидко виявляти найбільш постраждалі райони.

9. Аналіз впливу на фауну та флору: Окрім ґрунтових досліджень, важливо проводити моніторинг впливу на біорізноманіття. Вимірювання чисельності та різноманіття видів, що мешкають у постраждалих зонах, дозволяє оцінити, наскільки зміни у ґрунті впливають на екосистему в цілому.

10. Визначення інтегрального індексу якості ґрунту: Це комплексний показник, який включає в себе сукупність усіх вищезгаданих факторів, дозволяючи отримати загальну картину стану ґрунтів. Інтегральний індекс є особливо корисним для оцінки ефективності відновлювальних заходів.

5.11. Програми моніторингу та відновлення ґрунтів у лісових господарствах.

У рамках програм з відновлення та збереження ґрунтів, ДП «Рахівське лісове дослідне господарство» використовує комплексний підхід, що поєднує регулярний моніторинг, оцінку стану ґрунтів та реалізацію заходів, спрямованих на поліпшення їх якості.

1. Систематичний моніторинг: Здійснюється регулярний контроль за основними показниками ґрунтів, такими як щільність, вологість, рівень забруднення важкими металами тощо. Моніторинг дозволяє своєчасно виявляти негативні тенденції та розробляти ефективні заходи з відновлення.

2. Програми заліснення та захисту ерозійно небезпечних зон: Заліснення зон, схильних до ерозії, та відновлення природного рослинного покриву є важливими складовими програми. Зокрема, висадка деревних та чагарникових

видів допомагає стабілізувати ґрунти на схилах та зменшує ризик змивання верхнього шару ґрунту.

3. Використання компосту та біодобрих: Для відновлення родючості ґрунтів у зонах, де відбувалися транспортування деревини, використовуються органічні добрива. Компост, біодобрива та мульча допомагають відновити рівень органічних речовин у ґрунті та покращити його структуру.

4. Інженерно-технічні заходи: У місцях з високим ризиком ерозії застосовуються інженерні рішення, такі як будівництво дренажних каналів, бар'єрів проти змиву ґрунту та облаштування підпірних стінок. Ці заходи сприяють зменшенню втрати ґрунту та покращують стабільність ландшафту.

5. Заборона на транспортування деревини в періоди високої вологості: Щоб зменшити ступінь ущільнення ґрунту, у лісовому господарстві обмежують транспортування деревини під час дощів або після них. Це допомагає зменшити навантаження на ґрунт та уникнути значного ущільнення.

6. Екоосвітні програми для працівників: Інформування працівників лісового господарства про важливість збереження ґрунтів та екосистеми є невід'ємною частиною програми відновлення. Працівники навчаються технікам мінімізації негативного впливу на ґрунт під час транспортування деревини та відновлення порушених територій.

7. Впровадження методів адаптивного управління: Залежно від результатів моніторингу ґрунтів, лісове господарство коригує стратегії транспортування та відновлення. Це дозволяє враховувати специфічні умови та особливості кожного окремого району лісового масиву.

5.12. Методи пом'якшення негативного впливу транспортування на лісові ґрунти.

Зважаючи на значний вплив транспортування деревини на структуру та біологічний склад ґрунтів, необхідно впроваджувати ефективні методи для пом'якшення його негативних наслідків. Ці методи можуть варіюватися залежно від типу лісу, рельєфу, ступеня деградації ґрунту та інтенсивності лісозаготівлі. Основні напрямки пом'якшення впливу транспортування на лісові ґрунти включають:

1. Оптимізація маршрутів транспортування: Вибір маршрутів для техніки з мінімальним впливом на ґрунт є важливим кроком у зниженні ущільнення. Це включає використання доріг, що вже існують, та вибір ділянок із більш стійкою ґрунтовою структурою. Важливо враховувати також нахил місцевості, оскільки на крутих схилах ризик ерозії ґрунту є значно вищим.

2. Сезонне обмеження транспортування: Обмеження транспортування деревини у періоди підвищеної вологості ґрунту, наприклад, навесні чи восени, може зменшити його ущільнення. Вологий ґрунт є більш чутливим до механічних навантажень, тому транспортування варто проводити в сухі періоди, коли ґрунт більш стійкий до тиску техніки.

3. Використання спеціалізованої техніки: Важливою стратегією є використання техніки з низьким тиском на ґрунт, яка має широкі гусениці або шини з низьким тиском. Це дозволяє знизити рівень ущільнення ґрунту за рахунок кращого розподілу ваги техніки, що робить вплив транспорту на ґрунт менш інтенсивним.

4. Встановлення тимчасових настилів: У місцях, де обов'язково потрібно проїжджати технікою, рекомендується використовувати тимчасові дерев'яні настили або геосітки, що допомагають розподілити тиск на більшу площу. Це дозволяє значно зменшити ступінь ущільнення та зберегти структуру ґрунту навіть при інтенсивному використанні маршруту.

5. Регенераційні заходи після транспортування: Після закінчення лісозаготівельних робіт необхідно провести регенераційні заходи, спрямовані

на відновлення ґрунтової структури. Це може включати механічне розпушування ущільнених ділянок, висаджування покривних рослин для запобігання ерозії та підвищення органічної активності ґрунту, а також внесення органічних добрив для стимулювання біологічної активності.

6. Контроль ерозійних процесів: У місцях підвищеного ризику ерозії варто встановлювати протиерозійні бар'єри, такі як сітки, балки або природні рослинні бар'єри. Це допомагає уповільнити стік води, зменшити змивання ґрунту та сприяє відновленню рослинного покриву, який, у свою чергу, допомагає стабілізувати ґрунт.

7. Реалізація системи моніторингу впливу транспортування: Для своєчасного виявлення та коригування негативних наслідків транспортування деревини необхідно запровадити постійний моніторинг стану лісових ґрунтів. Система моніторингу має охоплювати як фізичні показники ґрунту (щільність, пористість), так і його хімічні та біологічні характеристики, зокрема рівень мікробної активності та наявність поживних речовин.

8. Використання альтернативних методів транспортування: Наприклад, кабельні системи або канатні дороги дозволяють значно зменшити прямий контакт важкої техніки з поверхнею ґрунту, що мінімізує його ущільнення та пошкодження. Це особливо актуально для складних рельєфів, де традиційний транспортний підхід може бути ризикованим для екологічного стану ґрунтів.

9. Висадка ґрунтозахисної рослинності: Після завершення лісозаготівельних робіт на пошкоджених ділянках можна висаджувати спеціальні рослини з потужною кореневою системою, які сприяють стабілізації ґрунту, збагачують його органікою та знижують ризик ерозії. Це допомагає відновити екологічний баланс ґрунту, покращити його структуру та забезпечити захист від ерозійних процесів.

10. Освітні заходи серед працівників лісового господарства: Важливо проводити регулярні тренінги та інформаційні кампанії, щоб підвищити

обізнаність працівників лісозаготівельних підприємств про вплив транспортування на ґрунти. Освічені працівники більш схильні дотримуватися екологічних вимог та методик, що сприяє зниженню негативного впливу їхньої діяльності на довкілля.

5.13. Аналіз практичних підходів до зменшення ущільнення ґрунтів на основі досвіду інших лісових господарств.

У багатьох країнах із розвиненою системою лісового господарства впроваджені комплексні методики пом'якшення впливу лісозаготівельних робіт на ґрунти. Розглянемо декілька прикладів, які можуть бути застосовані в умовах ДП «Рахівське лісове дослідне господарство»:

- Німеччина: У Німеччині застосовують геотекстильні матеріали для захисту ґрунту під час лісозаготівельних робіт. Геотекстильний покриття на ділянках транспортування дозволяє зменшити тиск на ґрунт і запобігає його ерозії. Цей метод підходить для ділянок із підвищеною чутливістю до навантажень та значною вологістю ґрунту.

- Канада: Лісові підприємства Канади активно використовують технології кабельного транспорту, які дозволяють мінімізувати контакт техніки з ґрунтом.

Це знижує рівень ущільнення та захищає ґрунт від механічного пошкодження, особливо на складних ділянках, де звичайна техніка може спричинити значні руйнування ґрунтової структури.

- Фінляндія: У лісовому господарстві Фінляндії використовуються мобільні дерев'яні платформи для транспортування деревини. Це дозволяє зменшити вплив транспорту на ґрунт і забезпечує можливість для техніки переміщатися з мінімальним порушенням природної структури ґрунту.

- Швеція: У Швеції застосовують техніку з низьким тиском на ґрунт та спеціальні маршрути для транспорту, які забезпечують мінімальне пошкодження ґрунтового покриву. Такі заходи, як правило, впроваджуються в особливо цінних лісових масивах, де збереження ґрунтів є пріоритетом.

5.14. Оцінка економічної ефективності заходів для пом'якшення негативного впливу.

Поряд із екологічними перевагами заходи з пом'якшення негативного впливу транспортування на ґрунти мають також економічні аспекти. Хоча впровадження технологій захисту ґрунту може вимагати початкових фінансових інвестицій, у довгостроковій перспективі такі заходи дозволяють зберегти продуктивність лісів, уникнути витрат на відновлення деградованих ґрунтів та підвищити екологічну стабільність лісових екосистем.

1. Зменшення витрат на відновлення ґрунту: Використання методів попередження деградації ґрунтів знижує потребу в його відновленні після лісозаготівельних робіт. Регенераційні заходи, такі як розпушування чи внесення добрив, можуть бути значно дорожчими, ніж впровадження превентивних методик.

2. Збільшення доходів від продажу деревини: Завдяки збереженню родючості ґрунтів забезпечується стійке зростання лісів, що збільшує довгостроковий обсяг та якість деревини для продажу.

3. Зменшення впливу штрафних санкцій: Дотримання екологічних норм та мінімізація негативного впливу на ґрунти допомагає уникнути штрафних санкцій та витрат, пов'язаних із відновленням екологічного стану лісових територій, що регламентуються законодавством.

4. Поліпшення репутації підприємства: Лісові господарства, що впроваджують екологічно відповідальні методи, мають перевагу в очах громадськості та споживачів, що може позитивно вплинути на їхній фінансовий стан, репутацію та можливості залучення інвестицій.

Отже, проведений аналіз свідчить про суттєвий вплив транспортування деревини на лісові ґрунти. Завдяки впровадженню ефективних методів захисту ґрунтів можливо зменшити їх деградацію, зберегти біорізноманіття та забезпечити стійкий розвиток лісових екосистем.

РОЗДІЛ 6. ОЦІНКА ВПЛИВУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДЕРЕВИНИ НА ЛІСОВІ ҐРУНТИ ДП «РАХІВСЬКЕ ЛГ»

6.1 Методологія оцінки впливу транспортування деревини на ґрунти.

Оцінка впливу транспортування деревини на лісові ґрунти потребує комплексного підходу, який враховує як прямі, так і опосередковані фактори, що впливають на якість ґрунту. Основними аспектами методології є визначення обсягу ущільнення ґрунту, дослідження фізико-хімічних змін та оцінка біологічних змін у ґрунті.

1. Визначення зон впливу: Основою для оцінки є визначення зон, найбільш схильних до негативного впливу. Зони впливу зазвичай поділяють на:

а. Основні транспортні коридори: дороги та тимчасові шляхи, якими здійснюється транспортування деревини.

б. Смуги вздовж транспортних шляхів: безпосередні прилеглі території, де спостерігається додаткове ущільнення та ерозія. с. Лісові масиви навколо транспортних шляхів: території, на яких транспорт має непрямий вплив через зміни мікроклімату та порушення структури ґрунту.

2. Методи відбору проб та їх аналіз: Для отримання точних даних використовуються стандартні процедури відбору проб ґрунту, які здійснюються на різній глибині. Проби аналізуються на предмет ущільнення, вологості, хімічного складу та біологічної активності. Для об'єктивної оцінки використовують сучасні методи лабораторного аналізу.

3. Порівняння результатів у зоні впливу та зоні контролю: Для визначення ступеня впливу застосовується порівняльний аналіз показників ґрунту в зонах транспортування з показниками контрольних територій. Це дозволяє об'єктивно оцінити зміни, спричинені транспортуванням деревини.

4. Розрахунок індексу деградації ґрунтів: Для кількісної оцінки ступеня деградації використовується інтегральний індекс деградації, що враховує всі досліджувані параметри. Цей індекс допомагає оцінити загальний стан ґрунту і дозволяє відслідковувати зміни в динаміці.

5. Оцінка ризиків екологічних наслідків: На основі отриманих даних про стан ґрунтів здійснюється оцінка ризиків для екосистеми. До таких ризиків належать можливість ерозії ґрунту, зниження родючості та зміни в структурі ґрунтових спільнот.

6.2 Аналіз екологічних наслідків транспортування деревини.

Важливою складовою оцінки є розуміння екологічних наслідків, які можуть виникати в результаті транспортування деревини. Нижче наведено основні наслідки, з якими стикаються лісові господарства під час транспортування лісових ресурсів:

1. Ущільнення ґрунту: Одним з найбільш виражених наслідків транспортування є ущільнення ґрунту, що знижує його аерацію та водопроникність. Це, своєю чергою, призводить до зменшення продуктивності ґрунту та погіршення умов для росту рослин.

2. Зниження біологічної активності: Ущільнення та механічне пошкодження знижують кількість мікроорганізмів у ґрунті. Це негативно впливає на розкладання органічної речовини та формування гумусу, що знижує родючість ґрунтів.

3. Зміна структури ґрунту: При частих транспортуваннях на одній ділянці структура ґрунту порушується, що призводить до ерозії та втрати верхнього родючого шару. Це є особливо небезпечним для лісів, розташованих на схилах та в гірських районах, таких як у ДП «Рахівське лісове дослідне господарство».

4. Ризик змиву та ерозії: Порушення структури ґрунту збільшує ризик змиву поверхневого шару та виникнення ерозійних процесів. Це може мати значний негативний вплив на водні ресурси, зокрема на забруднення струмків та річок.

5. Вплив на рослинний покрив: Транспортування деревини часто призводить до пошкодження рослинного покриву, що знижує біорізноманіття та здатність лісу до самовідновлення.

РОЗДІЛ 7. РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДЕРЕВИНИ НА ЛІСОВІ ГРУНТИ ДП «РАХІВСЬКЕ ЛГ»

Цей розділ присвячено розробці заходів і практичних рекомендацій, спрямованих на зменшення негативного впливу транспортування деревини на лісові ґрунти. У зв'язку з тим, що гірські умови лісів ДП «Рахівське лісове дослідне господарство» характеризуються високим ризиком ерозії та вразливістю ґрунтів до ущільнення, особливо важливо розглянути комплексні підходи, які сприяють екологічній стабільності. У цьому розділі розглядаються оптимальні методи транспортування, захисні заходи для ґрунтів, а також рекомендації щодо відновлення територій після лісозаготівель.

7.1 Оптимізація транспортних шляхів для зниження впливу на ґрунти.

Одним з ключових аспектів мінімізації негативного впливу транспортування є правильне планування транспортних маршрутів, що дозволяє зменшити тиск на ґрунтовий покрив.

1. Вибір оптимальних маршрутів: При плануванні маршрутів необхідно уникати зон із високим ризиком ерозії, таких як круті схили та заболочені ділянки. Альтернативні маршрути можуть значно знизити навантаження на ґрунти та зберегти їхню структуру.

2. Чергування шляхів: Використання чергування шляхів транспортування на різних ділянках дозволяє уникнути надмірного ущільнення ґрунтів на окремих маршрутах. Розподіл навантаження знижує інтенсивність пошкодження ґрунтового покриву.

3. Тимчасові транспортні дороги: Важливо будувати тимчасові дороги, які можна легко демонтувати після завершення робіт. Використання таких доріг, які зазвичай покриваються матеріалами для зменшення прямого контакту транспорту з ґрунтом, допомагає зберегти природний стан ґрунтового покриття на постійних лісових ділянках.

7.2 Використання спеціалізованої техніки для зменшення навантаження на ґрунти.

Технічні засоби, що використовуються під час транспортування деревини, значно впливають на стан ґрунтів. Вибір і налаштування техніки можуть мінімізувати її негативний вплив.

1. Легка техніка з низьким тиском на ґрунт: Використання техніки, яка створює мінімальний тиск на ґрунт, дозволяє значно зменшити ризик його ущільнення. Наприклад, використання гусеничних машин або техніки з широкими шинами може зменшити вплив на поверхню ґрунту.

2. Техніка зі зниженою швидкістю пересування: Використання транспортних засобів із зниженою швидкістю пересування та обмеженим тиском на ґрунт дозволяє рівномірно розподіляти навантаження і зменшити ризик утворення колій.

3. Використання механізмів для вирівнювання ґрунту після транспортування: Впровадження техніки, яка дозволяє вирівнювати ґрунт після завершення транспортування, допомагає відновити структуру та сприяє швидшому природному відновленню території.

7.3 Захист ґрунтів за допомогою біоматеріалів та покриттів.

Застосування біоматеріалів і покриттів є одним з інноваційних методів, який допомагає зберігати якість ґрунту під час робіт у лісах:

1. Біорозкладні покриття: Використання покриттів з натуральних матеріалів, таких як джут або кокосові волокна, дозволяє зменшити прямий вплив транспорту на ґрунти. Такі покриття легко розкладаються та не завдають шкоди природі.

2. Захисні бар'єри проти ерозії: Установка бар'єрів, що запобігають ерозії, є необхідною на схилах, де ризик змиву ґрунту особливо високий. Бар'єри з природних матеріалів, таких як деревина або солома, можуть служити тимчасовим захистом для ґрунтів.

3. Засипка вразливих ділянок мульчею: Засипання мульчею допомагає зберігати вологу в ґрунті, запобігаючи його пересиханню та ущільненню, а також знижує ризик ерозії на відкритих ділянках.

7.4 Рекультивація та відновлення пошкоджених ділянок після транспортування.

Після завершення транспортування важливо провести заходи з рекультивації, які допоможуть відновити природний стан ґрунтів та їхню родючість:

1. Аерація та розпушування ґрунту: Розпушування ущільнених ділянок дозволяє відновити аерацію та сприяє відновленню природного водопроникнення ґрунту, що необхідно для відновлення рослинного покриву.

2. Внесення органічних добрив: Додавання органічних добрив, таких як компост або перегній, сприяє відновленню родючості ґрунту та підтримці його біологічної активності. Це також підвищує стійкість ґрунту до ерозії.

3. Посадка місцевих видів рослин: Використання рослин, які є природними для даної території, допомагає відновити ґрунти та сприяє відновленню природного біорізноманіття.

7.5 Запровадження системи моніторингу стану ґрунтів.

Для ефективного управління та збереження лісових ґрунтів необхідно проводити регулярний моніторинг, який дозволить оцінювати ефективність впроваджених заходів і своєчасно виявляти негативні зміни.

1. Розробка програм моніторингу: Впровадження програми, яка передбачає регулярний відбір проб ґрунту та аналіз ключових показників (ущільнення, вологість, органічний склад), є важливим інструментом контролю стану ґрунтів на території господарства.

2. Використання інноваційних технологій: Залучення безпілотних літальних апаратів (дронів) для зйомки лісових масивів і оцінки змін поверхневого шару ґрунту дозволяє оперативно отримувати дані про стан ґрунтів та визначати ділянки, що потребують відновлення.

3. Створення бази даних про стан ґрунтів: Збирання і систематизація даних дозволяє відслідковувати зміни у динаміці та виявляти довгострокові тенденції. Це сприяє кращому розумінню того, як транспортні процеси впливають на лісові ґрунти.

4. Визначення показників для раннього попередження: Визначення критичних рівнів ущільнення та інших показників, при досягненні яких ґрунт

потребує негайного втручання, дозволяє запобігати довгостроковим негативним наслідкам.

7.6 Використання альтернативних методів транспортування деревини.

Впровадження альтернативних методів транспортування є важливим напрямом для мінімізації впливу на лісові екосистеми, особливо в гірських районах.

1. Канатні системи транспортування: Використання канатних систем для транспортування деревини зменшує контакт з ґрунтом і, таким чином, знижує ризик його ущільнення та ерозії. Цей метод особливо ефективний на складних гірських ділянках.

2. Транспортування в зимовий період: У деяких випадках транспортування взимку, коли ґрунт промерзає, допомагає уникнути його пошкодження. Проте цей метод потребує додаткової підготовки і дотримання вимог безпеки.

3. Використання коней або іншої тягової сили: У важкодоступних місцях, де неможливо використовувати техніку, транспортування деревини за допомогою коней може стати екологічно прийнятним рішенням. Такий підхід практично не впливає на структуру ґрунту і дозволяє зберегти природне середовище.

7.7 Пропозиції для покращення правового регулювання діяльності щодо транспортування деревини.

Для забезпечення сталого використання лісових ресурсів важливе значення має вдосконалення правових норм, що регулюють транспортування деревини.

1. Розробка та впровадження нормативів: Введення стандартів щодо максимально допустимого навантаження на ґрунт при транспортуванні деревини дозволить встановити обмеження на використання важкої техніки на вразливих територіях.

2. Введення обов'язкових екологічних обстежень: Проведення обов'язкових екологічних обстежень перед початком робіт у лісових господарствах дозволить краще оцінити ризики для ґрунту і лісової екосистеми.

3. Стимулювання екологічно відповідальних практик: Введення економічних стимулів, таких як податкові знижки для підприємств, що використовують екологічно чисті методи транспортування, може сприяти збереженню лісових ґрунтів.

4. Розвиток інформаційної підтримки та навчання: Організація навчальних програм і семінарів для працівників лісових господарств та транспортних компаній допоможе підвищити їхню обізнаність щодо екологічно безпечного транспортування.

7.8 Роль громадських організацій та міжнародних стандартів у збереженні лісових ґрунтів.

Ефективне збереження лісових ґрунтів вимагає не лише внутрішніх зусиль з боку лісових господарств, а й активної участі громадських організацій та дотримання міжнародних стандартів сталого розвитку.

1. Залучення громадських організацій: Громадські організації, які займаються охороною природи, можуть відігравати ключову роль у контролі за

діяльністю лісових господарств. Вони здатні організовувати кампанії з інформування суспільства про негативні наслідки транспортування деревини та ініціювати проведення незалежних екологічних оцінок.

2. Міжнародні стандарти сталого управління лісами: Сертифікація лісової продукції за міжнародними стандартами, такими як FSC (Forest Stewardship Council), може забезпечити відповідність практики господарювання принципам сталого розвитку. Ці стандарти встановлюють вимоги до збереження ґрунтів, охорони біорізноманіття та мінімізації впливу транспортування на екосистеми.

3. Міжнародні програми підтримки: Організації, як-от Програма ООН з довкілля, забезпечують підтримку на рівні національних урядів і лісових господарств у впровадженні екологічно безпечних методів. Завдяки фінансовій та технічній допомозі таких програм можна отримати доступ до інноваційних методів і технологій для моніторингу та збереження лісових ґрунтів.

4. Посилення міжнародного співробітництва: Участь України в міжнародних природоохоронних угодах, таких як Конвенція про біологічне різноманіття та Рамкова конвенція ООН зі зміни клімату, сприяє обміну досвідом і запровадженню кращих практик щодо охорони лісових ресурсів, включаючи збереження ґрунтів.

7.9 Економічне обґрунтування впровадження заходів зі збереження лісових ґрунтів.

Впровадження заходів зі збереження ґрунтів вимагає попереднього економічного обґрунтування, яке дозволить лісовому господарству оцінити необхідні інвестиції та потенційні вигоди.

1. Аналіз витрат та вигод: Важливо провести оцінку початкових інвестицій у збереження ґрунтів (включаючи моніторинг, підвищення ефективності транспортування, впровадження альтернативних методів) і порівняти їх з потенційними вигодами. Серед таких вигод — зменшення витрат на відновлення екосистем, зниження ризику ерозії та підвищення продуктивності лісових ресурсів.

2. Вигоди від сертифікації: Впровадження сертифікації відповідно до міжнародних стандартів може підвищити конкурентоспроможність продукції на ринку, оскільки екологічно відповідальна продукція користується підвищеним попитом, особливо на зовнішніх ринках.

3. Залучення фінансової підтримки: Інвестиції в заходи з охорони ґрунтів можуть бути частково компенсовані завдяки фінансовій підтримці з боку державних і міжнародних грантових програм, спрямованих на збереження лісів та екологічно відповідальне управління природними ресурсами.

4. Довгострокова рентабельність: Врахування довгострокових економічних вигод від збереження лісових ґрунтів (зниження втрат від деградації ґрунтів, стабілізація природних процесів у лісах) є основою для планування рентабельності. Збережені ґрунти сприяють стабільності лісової екосистеми, що у довготривалій перспективі підвищує економічну ефективність лісового господарства.

7.10 Прогнозування та моделювання наслідків транспортування на ґрунти.

Прогнозування наслідків від транспортування деревини на лісові ґрунти є важливим інструментом, що дозволяє передбачити можливі екологічні та економічні втрати та розробити заходи для їх запобігання.

1. Моделі деградації ґрунтів: Моделювання процесів деградації дає змогу визначити основні чинники, що впливають на ґрунти. Наприклад, із використанням просторового моделювання можна виявити найбільш вразливі до ущільнення та ерозії ділянки, розташовані вздовж транспортних шляхів.

2. Прогнозування на основі кліматичних даних: Кліматичні фактори мають значний вплив на стабільність ґрунтів, особливо в умовах зміни клімату. Використання кліматичних даних, таких як опади, температура та сезонні зміни, може допомогти передбачити, як ці фактори можуть впливати на ґрунт під час транспортування деревини.

3. Інтеграція біотичних і абіотичних факторів: Моделі, що враховують як біотичні (наприклад, мікроорганізми та кореневі системи рослин), так і абіотичні фактори (хімічний склад, рівень вологості та ущільнення), дозволяють більш комплексно оцінити можливий вплив на лісові ґрунти. Це допоможе передбачити, як саме зміниться структура та функціонування ґрунту в умовах впливу транспортування деревини.

4. Створення карт ризиків: На основі прогнозованих моделей можна створювати карти ризиків, що показують ділянки з високим рівнем ерозії, зниження родючості або інших негативних наслідків. Такі карти можуть використовуватися для прийняття рішень щодо обмеження транспортних операцій на певних територіях.

5. Оцінка варіантів альтернативних транспортних маршрутів: Моделювання дає можливість передбачити результати застосування різних варіантів маршрутів, що дозволяє обрати оптимальний з екологічної точки зору. Наприклад, використання маршрутів, розташованих у менш чутливих до ерозії зонах, може суттєво знизити негативний вплив на ґрунти.

6. Розрахунок показників екосистемних послуг: Оцінка впливу транспортування на ґрунти включає також розрахунок зниження екосистемних послуг, таких як вуглецеве поглинання, збереження біорізноманіття та

підтримка водного циклу. Це допоможе кількісно оцінити екологічні збитки та сприятиме ефективному управлінню природними ресурсами.

7. Аналіз сценаріїв розвитку подій: Використання сценарного аналізу дозволяє оцінити можливі наслідки різних управлінських рішень.

7.11 Використання інформаційних технологій для оцінки стану ґрунтів.

Застосування інформаційних технологій у сфері лісового господарства дозволяє оптимізувати процеси моніторингу, прогнозування та прийняття рішень щодо управління лісовими ґрунтами.

1. Геоінформаційні системи (ГІС): Використання ГІС дозволяє створювати інтерактивні карти з інформацією про стан ґрунтів, маршрути транспортування та зони ризику деградації. Завдяки ГІС можна точно визначати ділянки, на яких необхідні заходи зі збереження, а також відстежувати зміни в структурі ґрунтів у реальному часі.

2. Дистанційне зондування: Зйомки з використанням дронів або супутників дозволяють швидко отримувати дані про стан лісових ґрунтів, виявляти ділянки з високим рівнем ущільнення, ерозії або порушення рослинного покриву. Це полегшує процес моніторингу і дозволяє оперативно реагувати на негативні зміни в екосистемі.

3. Аналіз великих даних: Обробка великих масивів даних, зібраних з різних джерел (кліматичні дані, інформація про ґрунти, дані про транспортування), дозволяє виявляти закономірності та прогнозувати вплив транспортування на ґрунти.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі оцінено вплив первинного транспортування деревини на лісові ґрунти в умовах ДП «Рахівське лісове господарство» та розроблено екологічні та економічно обґрунтовані рекомендації для зниження цього впливу:

1) вибір та обґрунтування параметрів лісотransпортної машини є складним процесом, який залежить від багатьох факторів, включаючи рельєф, кліматичні умови та технічні характеристики обладнання. Сучасні дослідження та інновації у лісотransпортній галузі пропонують надійні рішення для підвищення ефективності транспортування деревини, зниження впливу на довкілля та покращення умов роботи оператора;

2) розглянуті лісотransпортні машини є надійними інструментами для роботи в гірських умовах завдяки своїй стійкості, потужності та адаптивності до рельєфу. Проте кожна модель має свої переваги та недоліки, що потребує ретельного вибору машини в залежності від специфічних умов використання. Використання сучасних технологій, таких як системи стабілізації та адаптивні підвіски, дозволяє забезпечити безпечне та ефективне транспортування деревини у важкодоступних районах;

3) проведений аналіз свідчить про суттєвий вплив транспортування деревини на лісові ґрунти. Завдяки впровадженню ефективних методів захисту ґрунтів можливо зменшити їх деградацію, зберегти біорізноманіття та забезпечити стійкий розвиток лісових екосистем;

4) одним з ключових аспектів мінімізації негативного впливу транспортування є правильне планування транспортних маршрутів, що дозволяє зменшити тиск на ґрунтовий покрив. Вибір і налаштування техніки можуть мінімізувати її негативний вплив. Після завершення транспортування важливо провести заходи з рекультивації, які допоможуть відновити природний стан ґрунтів та їхню родючість. Для ефективного управління та збереження

лісових ґрунтів необхідно проводити регулярний моніторинг, який дозволить оцінювати ефективність впроваджених заходів і своєчасно виявляти негативні зміни. Впровадження альтернативних методів транспортування є важливим напрямом для мінімізації впливу на лісові екосистеми, особливо в гірських районах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Бойко І.М. Екологічна оцінка використання лісових ресурсів у гірських регіонах"//Екологічний вісник. – 2021. – №3. – С.23-28.
2. Гудз Г.С. Техніка для лісового господарства. Львів: НЛТУ України, 2020. – 412 с.
3. Державне агентство лісових ресурсів України. Звіти про стан лісових ресурсів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://forest.gov.ua>.
4. ДП «Рахівське лісове господарство. Річний звіт про лісозаготівельні роботи та стан ґрунтів. – Рахів: 2022.
5. ДП «Рахівське лісове господарство». Методичні рекомендації щодо зменшення впливу транспортування деревини на ґрунти". – Рахів: 2021.
6. ДСТУ 8712:2017 Екологічна безпека. Вимоги до лісозаготівельних робіт. – Київ: Держспоживстандарт України, 2017.
7. Лось О.В. Екологія лісів: Навчальний посібник. – Київ: Кондор, 2017. – 285 с.
8. Стиранівський О.А., Стиранівський Ю.О. Лісозаготівельні роботи та вплив на навколишнє середовище. – Львів: Лісотехнічний університет, 2015. – 320 с.
9. Ковальчук М. В. Охорона ґрунтів в умовах лісозаготівель. – Харків: ХНАУ, 2018.– 208 с.
10. Пархоменко В.Д., Кузьменко С.О. Оцінка впливу лісозаготівельних робіт на ґрунти"//Лісовий журнал. – 2019. – №4. – С.67-72.
11. Петренко Л.О., Гончарук І.В. Вплив транспортування деревини на лісові екосистеми // Наукові записки Лісотехнічного університету. – 2020. – №2. – С.115-122.
12. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Сучасні методи захисту лісових ґрунтів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua>.

13. Національний лісотехнічний університет України. Дослідження впливу транспортування деревини на екологічний стан ґрунтів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nltu.edu.ua>.