

УДК 630\*17:582:630\*232

**В. Д. ГУДИМА<sup>1</sup>, Ю. І. ГАЙДА<sup>1</sup>, В. М. ГУДИМА<sup>2</sup>, Р. М. ЯЦИК<sup>2\*</sup>**

**ПРИРОДНЕ ВІДНОВЛЕННЯ ЯЛИНИ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ (*PICEA ABIES* (L.) KARST.)  
У ЛІСАХ ПІВНІЧНОГО МЕГАСХИЛУ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ**

1. Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва ім. П. С. Пастернака

2. Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника

У статті висвітлені причинно-наслідкові зв'язки між кількістю природного поновлення ялини європейської та інших деревних порід під наметом насаджень і низкою різноманітних дієвих факторів. У процесі обробки польових матеріалів використовували кореляційний, дисперсійний та регресійний аналізи. Кореляційна матриця показників, які характеризують досліджені деревостани та природне поновлення під їхнім наметом, вказує, що для більшості пар показників коефіцієнт кореляції є значущим ( $p < 0,05$ ), а рівень кореляції – помірним ( $0,25 < r \leq 0,75$ ). За допомогою процедури регресійного аналізу побудовано ряд однофакторних та багатфакторних регресійних моделей, що різнобічно характеризують причинно-наслідкові зв'язки в явищі природного поновлення ялини європейської під наметом деревостанів на північному мегасхилі Українських Карпат.

Ключові слова: ялина європейська, деревостан, природне відновлення, кількісний аналіз, якісні параметри.

**Вступ.** Проблема кількісного аналізу процесу поновлення ялини звичайної (*Picea abies* (L.) Karsten) знаходиться в полі зору науковців давно. Окремими питаннями цієї проблеми в різний час займалися М. А. Голубець, Я. О. Сабан, П. І. Тишкевич, П. І. Молотков, С. А. Генсірук, В. І. Гніденко [1–3, 5–8]. Було встановлено певні закономірності природного поновлення ялини, у т. ч. залежності його кількості від повноти материнського насадження, потужності підстилки, типу лісу, експозиції та стрімкості схилу, висоти над рівнем моря. Однак часто такі причинно-наслідкові зв'язки виявлено на основі обмежених емпіричних вихідних даних або інтуїтивних припущень, інколи вони мають вузьку територіальну прив'язку і стосуються обмежених територій.

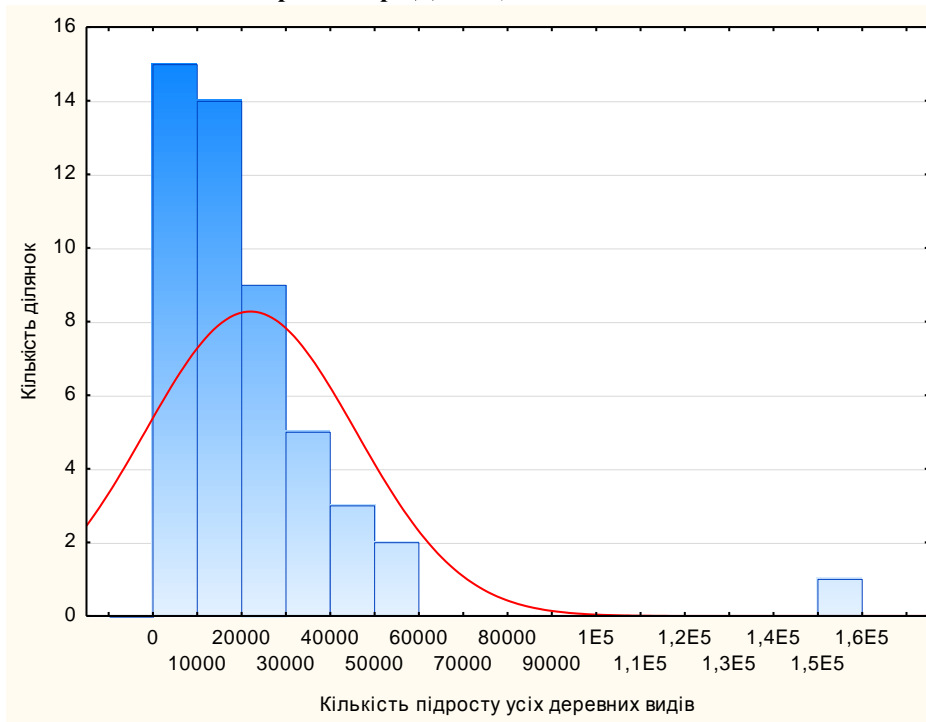
**Метою дослідження** було здійснити спробу виявити причинно-наслідкові зв'язки між низкою факторів різного характеру (кількісного і якісного) та результативним показником – кількістю природного поновлення лісових деревних порід під наметом насадження – на основі значного масиву вихідних даних (49 пробних площ) і обробки їх за допомогою широкого спектру математико-статистичних методів [4, 9, 10].

**Методика та об'єкти дослідження.** Використано комплекс статистичних інструментів, який включає кореляційний, дисперсійний, регресійний аналізи. Дослідженнями було охоплено 49 насаджень, які розташовані в семи гірських державних лісгосподарських підприємствах Чернівецької та Івано-Франківської областей і Гірському науково-дослідному відділенні УкрНДІГірліс. Вони представляють шість типів лісу в трьох типах лісорослинних умов на різних гіпсометричних рівнях (від 750 до 1280 м н. р. м.) та схилах практично усіх напрямів експозиції, стрімкістю від 15 до 40°. У більшості деревостанів домінуючою породою є ялина європейська різної продуктивності (бонітет від IV до Ia). Переважають насадження середньої повноти (0,6–0,7). Коливання віку деревостанів є досить суттєвим – від 60 до 290 років. Також значна варіація спостерігається між ділянками і за запасом стовбурової деревини – від 205 до 770 м<sup>3</sup>/га.

**Результати дослідження.** Аналіз свідчить, що у 48 із 49 досліджених насаджень природне поновлення лісових деревних видів наявне. Кількість підросту в них становить від 1600 до 153000 шт./га, у більшості насаджень – не перевищує 40 тис. шт./га (рис. 1).

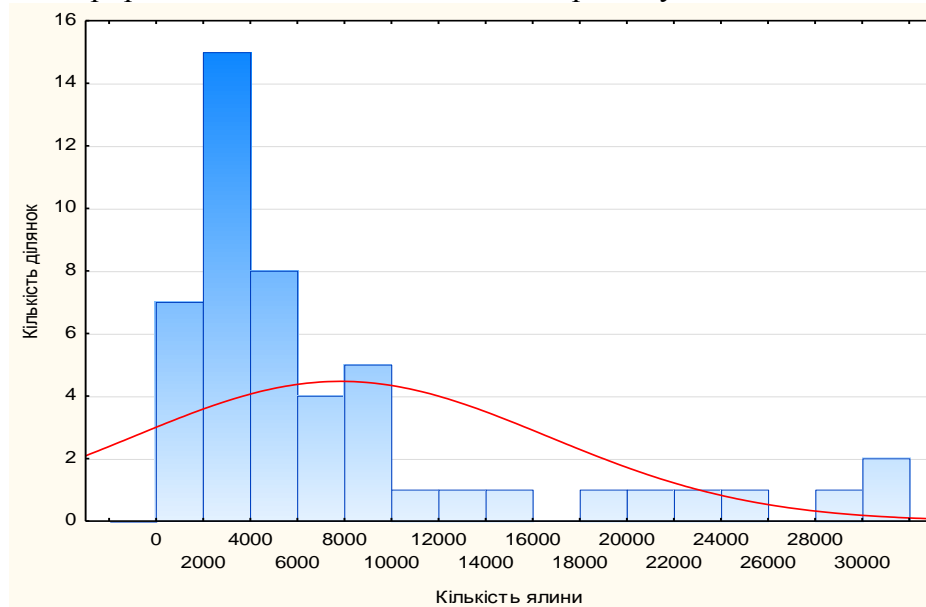
У складі природного поновлення домінує ялина європейська. Однак трапляється багато насаджень, де переважають інші деревні породи – бук лісовий (на 15 ділянках) та ялиця біла (на 4 ділянках).

\* © В. Д. Гудима, Ю. І. Гайда, В. М. Гудима, Р. М. Яцик, 2014



**Рис. 1 – Розподіл насаджень за кількістю підросту (шт./га) під їхнім наметом**

Амплітуда кількості природного поновлення ялини європейської в досліджених насадженнях також є доволі широкою (рис. 2). Мінімальна кількість самосіву ялини (640 шт./га) виявлена в Явірницькому лісництві ДП «Верховинське ЛГ», а максимальна (38290 шт./га) – у Гірському науково-дослідному відділенні УкрНДІГірліс. На більшості ж ділянок кількість природного поновлення ялини не перевищує 10000 шт./га.



**Рис. 2 – Гістограма розподілу насаджень за кількістю поновлення ялини (шт./га) під їхнім наметом**

У табл. 1 наведено кореляційну матрицю показників, які характеризують досліджені деревостани та природне поновлення під їхнім наметом як із лісівничої, так і з таксаційної точок зору. Виявилось, що для більшості пар показників, для яких коефіцієнт кореляції був значущим ( $p < 0,05$ ), рівень кореляції є помірним ( $0,25 < r \leq 0,75$ ).

Таблиця 1

## Кореляційна матриця показників, що характеризують деревостан та поновлення деревних видів під його наметом

Показник	ВНРМ	Стрімкість	Частка ялини	Вік	Повнота	Запас	Кількість підросту	Кількість ялини	Частота трапляння ялини	Частота трапляння головної породи	Частота трапляння загальна
ВНРМ	1,000	0,264	0,325*	0,096	0,255	-0,198	-0,340*	0,022	0,303*	-0,246	-0,220
Стрімкість	0,264	1,000	0,025	0,287*	0,034	-0,099	-0,330*	-0,163	0,005	-0,026	-0,077
Частка ялини	0,325*	0,025	1,000	-0,001	0,055	-0,338*	-0,259	0,342*	0,446*	-0,375*	-0,333*
Вік	0,096	0,287*	-0,001	1,000	0,008	0,218	-0,252	-0,259	-0,056	0,046	-0,002
Повнота	0,255	0,034	0,055	0,008	1,000	0,565*	-0,212	-0,364*	-0,286*	-0,393*	-0,393*
Запас	-0,198	-0,099	-0,338*	0,218	0,565*	1,000	0,060	-0,452*	-0,421*	0,196	0,183
Кількість підросту	-0,340*	-0,330	-0,259	-0,252	-0,212	0,060	1,000	0,336*	0,136	0,376*	0,349*
Кількість ялини	0,022	-0,163	0,342*	-0,259	-0,364*	-0,452*	0,336*	1,000	0,655*	0,199	0,176
Частота трапляння ялини	0,303*	0,005	0,446*	-0,056	-0,286*	-0,421	0,136	0,655*	1,000	0,251	0,250
Частота трапляння головної породи	-0,246	-0,026	-0,375*	0,046	-0,393*	0,196	0,376*	0,199	0,251	1,000	0,942*
Частота трапляння загальна	-0,220	-0,077	-0,333*	-0,002	-0,393*	0,183	0,349*	0,176	0,250	0,942*	1,000

\*  $p < 0,05$

Так, наприклад, виявлено середній рівень від'ємної кореляції між висотою над рівнем моря (ВНРМ) та кількістю підросту під наметом деревостанів ( $r = -0,340$ ). Це означає, що із підвищенням гіпсометричного рівня ділянки загальна кількість природного поновлення дещо зменшується. В той же час частота трапляння та кількість ялини на облікових площадках певною мірою збільшуються. Кореляційним аналізом підтверджена природна закономірність спрощення видового складу ялиників у напрямі підвищення ВНРМ ( $r = 0,325$ ). Тобто частка ялини у складі деревостанів поступово збільшується.

Статистичний аналіз підтверджує важливу роль повноти деревостану в процесі успішного поновлення ялини європейської. З повнотою насадження помірно корелює кількість поновлення ялини ( $r = -0,364$ ), частота трапляння ялини на облікових ділянках, тобто рівномірність поширення самосіву у насадженні ( $r = -0,286$ ), частота трапляння головної породи у складі підросту ( $r = -0,393$ ).

Інший важливий фактор, який гіпотетично може впливати на процес появи самосіву ялини європейської, – це частка цієї породи у складі материнського деревостану. Проведений нами кореляційний аналіз підтверджує цю гіпотезу.

Як свідчать дані табл. 1, помірний рівень зв'язку спостерігається між показником, що характеризує частку ялини у складі насадження, та кількістю її поновлення ( $r = 0,342$ ) і частоту трапляння ( $r = 0,446$ ).

Виявлені значущі коефіцієнти кореляції між досліджуваними показниками свідчать про наявність лінійної залежності між ними. За допомогою процедури регресійного аналізу побудовано низку однофакторних та багатофакторних регресійних моделей, що різнобічно описують причинно-наслідкові зв'язки в явищі природного поновлення ялини європейської під наметом деревостанів на північному мегасхилі Українських Карпат.

У табл. 2 та на рис. 3 в аналітичній та графічній формі представлено лінійну регресійну модель залежності кількості підросту під наметом деревостану від висоти над рівнем моря:

$$Y = 87976,5 - 63,5X, \tag{1}$$

де  $Y$  – загальна кількість підросту усіх деревних порід під наметом, шт./га,  
 $X$  – висота над рівнем моря ділянки, м.

*Таблиця 2*

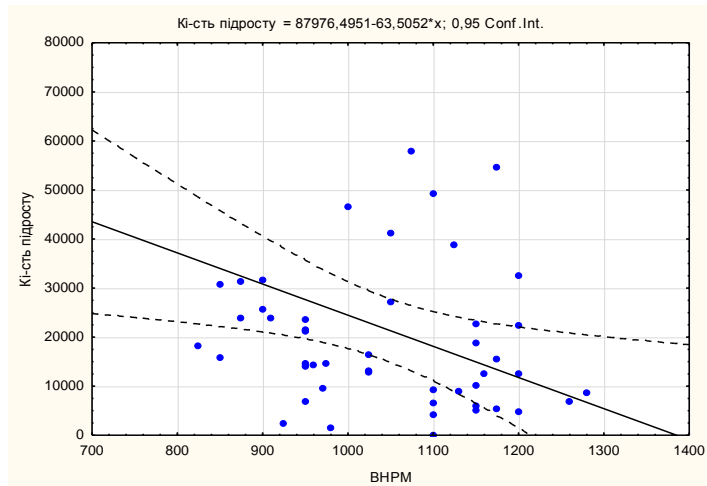
**Результати регресійного аналізу: залежна змінна – кількість підросту під наметом деревостану,  
 незалежна змінна – висота над рівнем моря**

Regression Summary for Dependent Variable: К-сть підросту (Намет.sta)						
$R = 0,340$		$R^2 = 0,115$		Adjusted $R^2 = 0,097$		$F(1,47) = 6,16$
	$b^*$	Std.Err. - of $b^*$	$b$	Std.Err. - of $b$	$t(47)$	$p$ -value
Intercept	–	–	87976,50	26854,20	3,27608	0,001982
ВНРМ	-0,340208	0,137164	-63,51	25,60	-2,48030	0,016766

Лінійна залежність між кількістю природного поновлення ялини європейської та повнотою насадження описується рівнянням:

$$Y = 24476,4 - 26040,3X, \tag{2}$$

де  $Y$  – кількість поновлення ялини під наметом насадження, шт./га,  
 $X$  – повнота насадження.



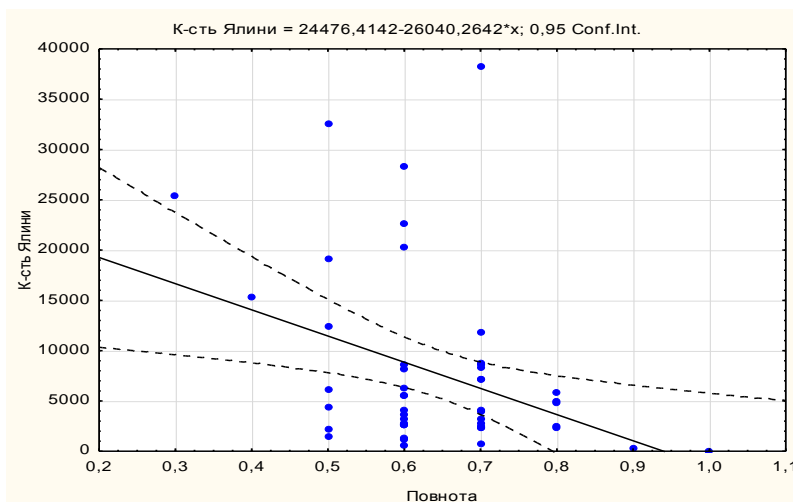
**Рис. 3 – Лінія регресії кількості підросту в деревостанах (шт./га) на зміну висоти над рівнем моря (м)**

Адекватність побудованої моделі підтверджується даними табл. 3, а її графічна ілюстрація зображена на рис. 4.

Таблиця 3

**Результати регресійного аналізу: залежна змінна – кількість підросту ялини під наметом деревостану, незалежна змінна – повнота**

Regression Summary for Dependent Variable: К-сть ялини (Намет.sta)						
$R = 0,364$ $R^2 = 0,133$ Adjusted $R^2 = 0,11419216$ $F(1,47) = 7,19$						
	$b^*$	Std.Err. - of $b^*$	$b$	Std.Err. - of $b$	$t(47)$	$p$ -value
Intercept	–	–	24476,4	6334,283	3,86412	0,000341
Повнота	-0,364207	0,135847	-26040,3	9712,849	-2,68101	0,010092



**Рис. 4 – Лінія регресії кількості підросту ялини (шт./га) на зміну повноти деревостану**

Нами зроблено спробу побудови множинної (багатофакторної) регресійної моделі, в якій як залежну змінну обрано кількість підросту під наметом деревостану, а як незалежні фактори – висоту над рівнем моря, стрімкість схилу, вік, повноту, запас стовбурової деревини, частку ялини в складі деревостану. Аналітично побудована модель має вигляд рівняння:

$$Y = 114621,1 - 22,8X - 785,4S - 182,2T - 140,4A - 48128,5P + 28,4Z, \quad (3)$$

де  $Y$  – загальна кількість підросту усіх деревних порід під наметом, шт./га;

$X$  – висота над рівнем моря ділянки, м;

$S$  – стрімкість схилу, град.;

$T$  – частка ялини у складі насадження, %;

$A$  – вік насадження, років;

$P$  – повнота насадження;

$Z$  – запас стовбурової деревини у насадженні, м<sup>3</sup>/га.

Якщо оцінювати цю множинну регресійну модель за критеріями значущості та адекватності, то вона є значущою за критерієм Фішера ( $F = 2,52$ ,  $F_{0,05} = 2,29$ ,  $p < 0,036$ ). Коефіцієнт детермінації при цьому становить  $R^2 = 0,265$ , тобто мінливість незалежних змінних пояснює лише 26,5 % варіювання результативного параметра. Однак при цьому усі коефіцієнти в рівнянні регресії є незначущими ( $p = 0,16 \div 0,47$ ).

Враховуючи останнє, було здійснено редукцію незалежних змінних і побудовано низку двохфакторних регресійних моделей. У табл. 4 наведено основні параметри лінійної двохфакторної моделі, у якій результативною змінною є кількість підросту під наметом деревостану, а факторними (незалежними) – висота над рівнем моря та повнота деревостану. Аналітично модель має вигляд рівняння (позначення ті ж, що і для попереднього рівняння (3)):

$$Y = 97880,0 - 57,1X - 25809,4P \quad (4)$$

Ця модель, як і попередня, є значущою за критерієм Фішера (табл. 4), і в ній значущими є усі елементи за винятком коефіцієнта регресії повноти ( $p = 0,35$ ). Вона пояснює лише 13,2 % мінливості результативного параметра.

Таблиця 4

**Результати двохфакторного регресійного аналізу:  
залежна змінна – кількість підросту під наметом деревостану,  
незалежні змінні – висота над рівнем моря та повнота деревостану**

Regression Summary for Dependent Variable: К-сть підросту (Намет.sta) $R = 0,364$ $R^2 = 0,132$ Adjusted $R^2 = 0,095$ $F(2,46) = 3,51$ $p < 0,038$						
	$b^*$	Std.Err. - of $b^*$	$b$	Std.Err. - of $b$	$t(46)$	$p$ -value
Intercept	–	–	97880,0	28874,13	3,38989	0,001444
Повнота	-0,133641	0,142044	-25809,4	27432,21	-0,94084	0,351700
ВНРМ	-0,306071	0,142044	-57,1	26,51	-2,15476	0,036451

Прагнення побудувати більш адекватну регресійну модель зумовили потребу використання нелінійного регресійного аналізу. Адже досить часто залежності, які існують у природі, що нас оточує, мають нелінійний характер. Аналітично отриману модель можна відобразити у форматі рівняння полінома другого ступеня (позначення ті ж, що і для рівняння (4)):

$$Y = 688874 - 1164X + X^2 - 136765P + 96855P^2 \quad (5)$$

Отримана модель виявилася більш адекватною, як за коефіцієнтом детермінації ( $R^2 = 0,226$ ), так і за коефіцієнтом Фішера ( $F = 4,51$ ,  $F_{0,01} = 3,78$ ). Зазначимо, що не всі коефіцієнти регресії у цій моделі є значущими.

До цього моменту під час проведення регресійного аналізу як залежну змінну ми використовували загальну кількість природного поновлення усіх деревних видів. Для результативного параметра кількості природного поновлення ялини європейської отримано

значно менше моделей. Одна із найбільш адекватних – це лінійна двохфакторна модель, у якій незалежними змінними є стрімкість ділянки та запас стовбурової деревини материнського насадження (табл. 5). Аналітично модель має вигляд лінійного рівняння двох змінних (позначення ті ж, що і для рівняння (3)) :

$$Y = 30464,2 - 33,48Z - 227,39S \quad (6)$$

Як видно із моделі, в результаті збільшення запасу деревостану та стрімкості схилу кількість природного поновлення ялини зменшується.

Таблиця 5

**Результати двохфакторного регресійного аналізу:**  
залежна змінна – кількість підросту ялини під наметом деревостану,  
незалежні змінні – стрімкість ділянки та запас деревостану

Regression Summary for Dependent Variable: К-сть ялини (Hamet.sta)						
$R = 0,507$ $R^2 = 0,257$ $Adjusted R^2 = 0,224$ $F(2,45) = 7,77$ $p < 0,0013$						
	$b^*$	Std.Err. - of $b^*$	$b$	Std.Err. - of $b$	$t(45)$	$p$ -value
Intercept	–	–	30464,18	6524,980	4,66885	0,000027
Запас	-0,484314	0,129105	-33,48	8,925	-3,75130	0,000501
Стрімкість	-0,201015	0,129105	-277,39	178,161	-1,55698	0,126480

Для виявлення впливу якісних показників на процес природного поновлення ялини європейської під наметом її чистих та змішаних деревостанів використали інструмент дисперсійного аналізу. Як предиктори (категоріальні змінні) використовували експозицію схилу, тип лісорослинних умов та бонітет материнського насадження. У результаті проведених аналізів виявлено достовірну залежність частоти трапляння поновлення ялини під наметом деревостанів від типу лісорослинних умов (табл. 6).

Таблиця 6

**Результати однофакторного дисперсійного аналізу: залежна змінна – частота трапляння ялини, категоріальна змінна – тип лісорослинних умов**

	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	87688,26	1	87688,26	144,3879	0,000000
ТЛУ	9126,28	5	1825,26	3,0055	0,020831
Error	25507,03	42	607,31	–	–

Залежність кількості поновлення ялини від типу лісорослинних умов і бонітету материнських насаджень виявилася помітною, але статистично недостовірною.

### **Висновки.**

1. Зі збільшенням висоти над рівнем моря кількість підросту деревних видів помірно зменшується. Одночасно з цим у насадженнях збільшується частота трапляння поновлення ялини європейської, що частково пояснюється збільшенням частки ялини у складі деревостану на вищих гіпсометричних рівнях.

2. Між кількістю поновлення ялини європейської, з одного боку, та повнотою насаджень й запасом стовбурової деревини в них, з іншого, виявлено негативну помірну кореляцію.

3. Побудовані адекватні і значущі однофакторні лінійні регресійні моделі можуть бути використані для прогнозування появи природного поновлення в насадженнях, які за параметрами відповідають інтервалу емпіричних даних, що використані для побудови моделі. Багатофакторні регресійні моделі виявилися менш адекватними, що мотивувало до редукції факторів і побудови більш значущих двофакторних регресійних рівнянь.

4. Серед якісних (категоріальних) параметрів дисперсійний аналіз виявив достовірний вплив типу лісорослинних умов на частоту трапляння її поновлення під наметом деревостанів.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Генцирук С. А. Комплексное лесное хозяйство в горных условиях / С. А. Генцирук. – М. : Лесн. пром-сть, 1971. – 248 с.
2. Гниденко В. И. Возобновление и рубки в еловых высокогорных лесах / В. И. Гниденко // Естественное возобновление лесов. – Ужгород : Карпаты, 1971. – С. 118–119.
3. Голубец М. А. Ельники Украинских Карпат / М. А. Голубец. – К. : Наук. думка, 1978. – 264 с.
4. Лакин Г. Ф. Биометрия : [учебник] / Г. Ф. Лакин. – М. : Высшая школа, 1990. – 352 с.
5. Молотков П. И. Естественное возобновление / П. И. Молотков, Н. И. Мамонов, В. И. Гниденко, И. И. Молоткова. – Ужгород: Карпаты, 1971. – 118 с.
6. Сабан Я. О. Щодо підвищення продуктивності лісів Українських Карпат / Я. О. Сабан, Б. М. Панько // Система ведення лісового господарства в гірських умовах Карпат. – Івано-Франківськ : КФ УкрНДІЛГА, 1990. – Ч.1. – С. 119–120.
7. Сабан Я. О. Деякі особливості росту у висоту ялинових монокультур в різних типах лісу в Карпатах / Я. О. Сабан, О. С. Чорний // Підвищення продуктивності лісів та ефективність їх використання. – Львів : Каменяр, 1973. – С. 113–116.
8. Тышкевич Г. Л. Еловые леса Советских Карпат : автореф. дис. на соиск. учен. степени д-ра с.-х. наук / Г. Л. Тышкевич. – Красноярск, 1966 – 39 с.
9. Халафян А. А. STATISTICA 6.0. Статистический анализ данных : [учебник] / А. А. Халафян. — М. : ООО «Бином-Пресс», 2008. – 512 с.
10. Schmidt-Vogt H. Die Fichte: Taxonomie, Verbreitung, Morphologie, Ökologie, Waldgesellschaften / H. Schmidt-Vogt. – Verlag Paul Parey, Hamburg, 1977. – Band 1. – 647 p.

Hudyma V. D.<sup>1</sup>, Hayda Yu. I.<sup>1</sup>, Hudyma V. M.<sup>2</sup>, Yatsyk R. M.<sup>2</sup>

NATURAL REGENERATION OF SPRUCE (*PICEA ABIES* (L.) KARST.) IN THE FORESTS ON THE NORTH MEGASLOPE OF UKRAINIAN CARPATHIANS

1. Ukrainian Research Institute of Mountain Forestry named after P. S. Pasternak

2. Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

The paper highlights cause-and-effect relations between the amount of natural regeneration of spruce and other species of trees in the growing forest and a number of different active factors. Correlation, variance and regression analyses were used during field research data processing. Correlation matrix of values which characterize the investigated stands and natural regeneration in the growing forest shows that for the majority of values correlation coefficient is significant ( $p < 0.05$ ) and the level of correlation is moderate ( $0,25 < r \leq 0,75$ ). Using regression analysis a number of univariate and multivariate regression models were build. They comprehensively describe casual relations in the phenomenon of natural regeneration of common spruce in the growing forest on the north megaslope of Ukrainian Carpathians.

**Key words:** spruce, forest stand, natural regeneration, quantitative analysis, quality parameters.

Гудыма В. Д.<sup>1</sup>, Гайда Ю. І.<sup>1</sup>, Гудыма В. М.<sup>2</sup>, Яцьк Р. М.<sup>2</sup>

ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ (*PICEA ABIES* (L.) KARST.) В ЛЕСАХ СЕВЕРНОГО МЕГАСКЛОНА УКРАИНСКИХ КАРПАТ

1. Украинский научно-исследовательский институт горного лесоводства им. П. С. Пастернака

2. Прикарпатский национальный университет им. Василия Стефанюка

В статье освещены причинно-следственные связи между количеством естественного возобновления ели обыкновенной и других древесных пород под пологом насаждения и рядом разнообразных действенных факторов. В процессе обработки полевых материалов использовали корреляционный, дисперсионный и регрессионный анализы. Корреляционная матрица показателей, характеризующих исследованные древостои и естественное возобновление под их пологом, указывает, что для большинства пар показателей коэффициент корреляции является значимым ( $p < 0,05$ ), а уровень корреляции – умеренным ( $0,25 < r \leq 0,75$ ). С помощью процедуры регрессионного анализа построен ряд однофакторных и многофакторных регрессионных моделей, которые разносторонне характеризуют причинно-следственные связи в явлении естественного возобновления ели европейской под пологом древостоев на северном мегасклоне Украинских Карпат.

**Ключевые слова:** ель обыкновенная, древостой, естественное возобновление, количественный анализ, качественные параметры.

E-mail: gyd\_v@ukr.net

Одержано редколегією 15.10.2014