

3. ЛІСОВІ КУЛЬТУРИ, ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ, СЕЛЕКЦІЯ І ГЕНЕТИКА

УДК 630*165.3

Ю.І. ГАЙДА¹, Р.М. ЯЦИК², М.М. СІЩУК³

ВЗАЄМОДІЯ «ГЕНОТИП-СЕРЕДОВИЩЕ» В ГЕОГРАФІЧНИХ КУЛЬТУРАХ *PINUS SIBIRICA* DU TOUR ТА *PINUS KORAIENSIS* SIEB. ET ZUCC.

Наведено результати дослідження явища взаємодії «генотип-середовище» (*Genotype-Environment Interaction, GEI*) у географічних культурах сосни кедрової сибірської та сосни кедрової корейської, створених на двох гіпсометричних рівнях північно-східного мегасхилу Українських Карпат. Один із варіантів *GEI*, а саме взаємодію «походження-середовище» оцінено за допомогою методів середнього відхилення рангів та коефіцієнта рангової кореляції Спірмена. У сосни кедрової сибірської більшою мірою така взаємодія проявилася для поточного приросту за висотою, дещо менше – щодо середньої висоти і середнього діаметра стовбура. Через незначну кількість походжень сосни кедрової корейської, які проходять випробування, можна припускати лише про певні тенденції у прояві явища їх інтерактивності з лісорослинними умовами.

Ключові слова: взаємодія «генотип-середовище» (*GEI*), методи середнього відхилення рангів та коефіцієнта рангової кореляції Спірмена, сосна кедрова сибірська, сосна кедрова корейська, географічні культури

Вступ. У лісових деревних видів роль навколишнього середовища у фенотипічній експресії генотипу є дуже важливою. Досить часто генотипи, які є найкращими в одних лісорослинних умовах, не є такими на іншому екологічному фоні, або ж різниця між їх фенотипами в різних умовах навколишнього середовища є непостійною. У цьому проявляється суть явища взаємодії «генотип-середовище» (*Genotype-Environment Interaction, GEI* – англ., *Interaktion zwischen Genotypen und Umwelten, IGU* – нім.) [1, 2, 7, 8, 14]. Дослідження цього явища є важливим теоретичним завданням лісової генетики і селекції, окрім того, воно має істотне практичне значення у плануванні, прогнозуванні, реалізації селекційних програм, зокрема випробуванні селекційних зразків (сортів, потомств популяцій, окремих дерев, гібридів).

Дані про наявність і рівень *GEI* потрібні для визначення фактичної величини коефіцієнта успадкування і відповідно більш точнішого прогнозу ефективності селекційних робіт [7]. Неналежне врахування і недооцінення цього явища під час реалізації селекційних

робіт з лісовими деревними породами, які культивуються, на відміну від сільськогосподарських культур, на неоднорідному екологічному фоні (навіть у межах одного урочища), ймовірно, є однією із причин неотримання очікуваного генетичного ефекту від використання насіння зі створених у минулому в Україні селекційно-насінницьких об'єктів (постійних лісонасінних ділянок, насінневих плантацій) і, внаслідок цього, певного зниження інтересу до лісової селекції з боку лісівників-практиків.

Потрібно наголосити, що у статистичній генетиці термін «генотип» трактують дещо інакше, ніж у загальній генетиці. Класичне визначення генотипу стосується окремої особини (у лісовій генетиці – дерева), однак для вивчення *GEI* цей термін використовують і стосовно групи особин з певним ступенем генетичної подібності (півсіби, сібси, провенієнції (походження)) [11]. А тому розрізняють різні види взаємодії «генотип-середовище», наприклад: «сібси-середовище», «півсіби-середовище», «походження-середовище». Саме останнього типу взаємодії стосується наша робота.

¹ ГАЙДА Юрій Іванович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри менеджменту біоресурсів і природокористування, Тернопільський національний економічний університет, м. Тернопіль, Україна. Тел.: +38 (0352) 47-50-63. E-mail: haydshn@ua.fm

² ЯЦИК Роман Михайлович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, професор кафедри лісознавства, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ, Україна. Тел.: (0342) 59-61-72. E-mail: yatsykr@ukr.net

³ СІЩУК Мар'яна Миколаївна – молодший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва ім. П.С. Пастернака, м. Івано-Франківськ, Україна. Тел.: +38(03422) 2-52-16. E-mail: girlis@ukr.net

Також значно ширше розглядають у подібних дослідженнях термін «середовище». Під ним розуміють або градієнт лісорослинних умов за одним із абіотичних факторів середовища (грунтових, кліматичних, гіпсометричних та ін.) *ceteris paribus*, або градієнт варіантів менеджменту лісових насаджень (густоти насадження, інтенсивності агротехнічних та лісівничих заходів та ін.) *ceteris paribus*, або градієнт комплексу лісорослинних умов та лісового менеджменту [14].

На рис. проілюстровано три можливі ситуації з ранжуванням генотипів (походжень, родин, клонів) при їх випробуванні вздовж градієнта умов середо-

вища. На рис. а) ранги генотипів у різних умовах навколишнього середовища не змінюються, а це свідчить про відсутність взаємодії «генотип-середовище». Рис. б) показує зміни ранжування варіантів за певною кількісною фенотиповою ознакою і графічно ілюструє наявність GEI. Відсутність зміни рангів генотипів за збільшення різниці між їх фенотипічними проявами на рис. в) також відображає наявність взаємодії «генотип-середовище». Серед можливих причин взаємодії «генотип-середовище» називають зміну складу локусів, які детермінують ознаку в різних умовах навколишнього середовища [14].

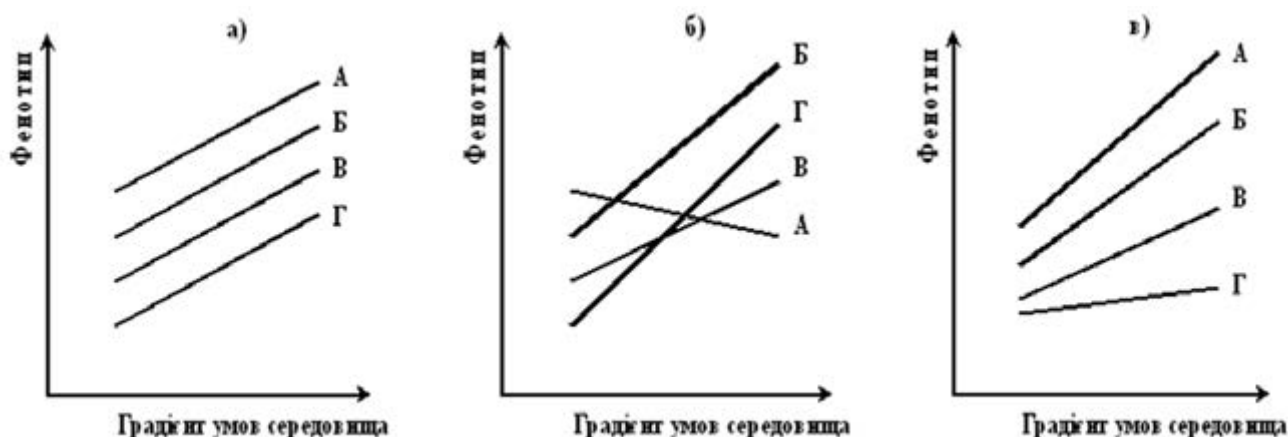


Рис. Графічна ілюстрація відсутності (а) та наявності (б, в) взаємодії генотип × середовище (генотипи А, Б, В, Г) [7, 14]

У минулому розроблено широкий спектр методичних підходів та інструментів для кількісної оцінки взаємодії генотип-середовище, зокрема:

- спосіб оцінювання середнього відхилення рангів [12];
- метод коефіцієнта рангової кореляції Спірмена [13];
- метод коефіцієнта генетичної кореляції типу В [4];
- спосіб оцінювання за показником ефективності фенотипової селекції [13];
- визначення компонентів варіанси методом дисперсійного аналізу [4];
- метод коефіцієнта регресії та варіанси стабільності [6].

Останній метод детально описано та апробовано для походжень дуба звичайного та сосни кедрової сибірської [2].

Мета дослідження полягала у визначенні рівня взаємодії «походження-середовище» для показників середньої висоти, середнього діаметра стовбура та поточного приросту за висотою в географічних культурах сосни кедрової сибірської та сосни кедрової корейської. Для досягнення поставленої мети проведено біометричні обміри рослин в географічних культурах та визначено середньоарифметичні значення висоти, діаметра стовбура та поточного приросту за висотою для кожного походження та їх ранги у двох пунктах випробування.

Методика і об'єкти дослідження. Для оцінки величини взаємодії «генотип-середовище» під час випробування походжень сосен кедрових сибірської та корейської застосовували методи середнього відхилення рангів та метод коефіцієнта кореляції рангів Спірмена.

Середнє відхилення рангів розраховували за А. Матесон та К. Раймонд [12, 15]:

$$rd_i = \frac{1}{k} \sum_j |r_{ij} - \bar{r}_{ij}|$$

де r_{ij} – ранг i -го походження за відповідним показником в j -му пункті випробування;

$\bar{r}_{ij}$ – середній ранг i -го походження за даним показником в усіх пунктах випробування;

k – кількість пунктів випробування.

Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена визначали за загальноприйнятим алгоритмом [3]:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

де d – різниця між рангами походження за відповідним показником у двох різних пунктах випробування, n – кількість походжень, що випробовується.

Значущість емпіричного коефіцієнта рангів r_s оцінювали шляхом його порівняння із критичним значенням r_{st} , яке визначають за формулою

$$r_{st} = \frac{t}{\sqrt{n-1}} \left(1 - \frac{m}{n-1} \right)$$

де n – обсяг вибірки (кількість походжень);

t і m – величини, зв'язані з рівнем значущості α :
для $\alpha = 5\%$ $t = 1,96$ і $m = 0,16$, для $\alpha = 1\%$ $t = 2,58$
і $m = 0,69$.

Нульову гіпотезу про відсутність кореляційного зв'язку відкидають, якщо $r_s \geq r_{st}$.

Дослідження здійснювали в географічних культурах, створених у державному дендрологічному парку “Високогірний” у 1972-1976 рр. на висотах

1150-1280 м н.р.м. на ділянці 13,6 га, де висаджено чотири види кедрових сосен – європейської, сибірської, корейської та кедрового стелюха. Більшість походжень кедрових сосен було висаджено також в архівному відділенні державного дендрологічного парку “Діброва” (300 м н.р.м.) на ділянці 2,0 га.

Об'єктами дослідження були обрані походження сосни кедрової сибірської (*Pinus sibirica* Du Tour) та сосни кедрової корейської (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc), які одночасно випробовують на різних гіпсометричних рівнях у дендропарках “Високогірний” та “Діброва”, лісорослинні умови яких істотно відрізняються за комплексом кліматичних та едафічних показників (табл. 1).

Таблиця 1

Коротка характеристика лісорослинних умов у пунктах випробування походжень сосни кедрової сибірської та сосни кедрової корейської на північно-східному мегахилі Українських Карпат в Івано-Франківській обл.

Показник	Лісове підприємство	
	ДП “Надвірнянське ЛП”, Бистрицьке лісництво, дендропарк “Високогірний”	ДП “Лісівничо- екологічний просвітницький центр Івано-Франківського ОУЛМГ”, дендропарк “Діброва”
ВНРМ, м	1150-1280	300
Географічні координати	48°27' пн.ш.; 24°12' сх.д.	48°48' пн.ш.; 24°32' сх.д.
Середньорічна температура повітря, °С	4,5	6,6
Річна сума опадів, мм	1000	680
Ґрунти	бурі гірсько-лісові потужні та середньопотужні	дерново-опідзолений середньосуглинистий потужний
Індекс ТЛҮ	C ₃	D ₃

Оскільки вік походжень сосни кедрової сибірської в момент обліку змінювався від 38 до 41 років, було зведено показники середньої висоти та серед-

нього діаметра стовбура до одного віку (38 років) за допомогою значень середніх приростів (табл. 2).

Таблиця 2

Біометрична характеристика сосни кедрової сибірської в географічних культурах в Івано-Франківській обл.

Походження		Середня висота рослин				Середній діаметр стовбура				Поточний приріст за висотою			
номер партії насіння	фізико-географічна зона і провінція; область, лісгосп, координати: пн.ш., сх.д.	«Високогірний»		«Діброва»		«Високогірний»		«Діброва»		«Високогірний»		«Діброва»	
		h, м	ранг	h, м	ранг	d, см	ранг	d, см	ранг	z, см	ранг	z, см	ранг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2098	Забайкальська, Чикой-Інгодинська; Читинська, Інгодинський, 51°21'; 112°29'	5,20	3,5	9,55	3	8,2	3	15,6	11	16,0	12	30,8	6
2104	Забайкальська, Чикой-Інгодинська; Читинська, Інгодинський, 51°21'; 112°29'	4,10	12	7,32	10	6,1	10	17,5	3	20,1	8	31,2	3
2117	Саянська, Східно-Саянська; Іркутська, Нижньоудинський, 54°45'; 98°55'	4,40	8,5	8,74	7	7,1	7	16,9	5	23,9	6	29,0	9
2276	Байкало-Станова, Алдано-Типтомська; Якутія, Алданський, 58°20'; 125°45'	4,20	10	5,80	15	7,3	5	15,8	8,5	24,5	4	32,3	1

Продовж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2277	Байкало-Станова, Алдано-Типтомська; Якутія, Алданський, 58°20'; 127°00'	4,10	12	6,65	13	5,9	12	12,4	15	17,2	10	20,6	15
2278	Лісоболатна, Середньообська; Томська, Колпашевський, 58°15'; 83°00'	4,10	12	9,22	5,5	6,2	9	15,8	8,5	15,0	13	31,0	5
2279	Лісоболатна, Васюганська; Новосібірська, Болотинський, 55°45'; 84°30'	5,20	3,5	7,51	9	6,0	11	17,2	4	25,0	3	26,8	11
2280	Лісоболатна, Васюганська; Томська, Бочкаревський, 56°55'; 81°50'	4,40	8,5	9,50	4	7,2	6	16,4	6	24,0	5	24,6	14
2281	Гірська область Єнісейського краю; Красноярський, П.-Єнісейський, 60°25'; 98°20'	3,90	14	7,32	11,5	4,7	15	15,2	13	21,9	7	29,0	9
2284	Байкало-Станова, Алдано-Типтомська; Якутія, Ленський, 60°40'; 115°00'	3,30	15	5,89	14	5,2	14	15,2	13	14,8	14	25,5	13
2285	Лісоболатна, Середньообська; Тюменська, Тобольський, 58°15'; 68°20'	5,40	1,5	9,88	2	8,6	2	17,8	2	28,1	1	26,0	12
2289	Гірська область Єнісейського краю; Красноярський, Ус.-Ангарський, 58°15'; 94°42'	4,50	7	9,22	5,5	6,9	8	15,6	10	25,8	2	31,1	4
2293	Лісоболатна, Приєнісейська; Томська, Максимоярський, 58°30'; 86°30'	4,52	6	7,32	11,5	7,9	4	15,2	13	14,0	15	29,0	9
2295	Саянська, Східно-Саянська; Красноярський, Манський, 55°20'; 94°30'	5,40	1,5	8,65	8	5,3	13	16,0	7	17,0	11	29,3	7
2512	Лісоболатна, Хамар-Дабанська; Іркутська, Слюдянський, 51°35'; 103°44'	5,14	5	10,00	1	9,0	1	17,9	1	17,9	9	31,3	2

Результати дослідження. Виявлено, що ранги походжень сосни кедрової сибірської за середньою висотою в різних умовах випробування змінюються – середнє відхилення цих рангів від їх середнього рангу у всіх умовах випробування становить 1,6 (табл. 3). З усіх 15 варіантів п'ять змінили своє порядкове місце у ранжованому ряду за цим показником на 5 позицій і більше (див. табл. 2). Причому походження 2276, 2279, 2293, 2295 істотно покращили свій ріст при переміщенні їх на

вищий гіпсометричний рівень. Лише потомство сосни кедрової сибірської із Колпашевського лісгоспу Томської обл. (2278) значно гірше адаптувалося до умов високогір'я. Сім походжень змінили ранги за середньою висотою під час випробування у високогір'ї та передгір'ї відносно неістотно – показник середнього відхилення рангів у них становить 0,5-1,0 (табл. 4). З огляду на це, коефіцієнт рангової кореляції Спірмена походжень за середньою висотою є достовірним з вірогідністю 0,95 (див. табл. 3).

Таблиця 3

Показники взаємодії «генотип-середовище» в географічних культурах сосен кедрової сибірської та корейської

Вид	Показник		H	D	Z _h
<i>Pinus sibirica</i>	Загальне середнє відхилення рангів	$\Sigma rd / n$	1,6	2,1	2,9
	Коефіцієнт кореляції рангів Спірмена	r_s	0,60	0,44	0,03
		r_{st} 0,05/0,01	0,52/0,66	0,52/0,66	0,52/0,66
<i>Pinus koraiensis</i>	Загальне середнє відхилення рангів	$\Sigma rd / n$	0,75	0,25	0,125
	Коефіцієнт кореляції рангів Спірмена	r_s	-0,20	0,80	0,95

Ранжування походжень сосни кедрової сибірської за середнім діаметром стовбура змінилося дещо більше. Коефіцієнт кореляції Спірмена для цього показника становить 0,44. Однак він є меншим за критичне значення r_{sp} , а тому є недостовірним як для 1%, так і для 5% рівня значущості. Якщо детально проаналізувати зміни рангів походжень цієї породи за середнім діаметром, то незначна зміна (від 0 до 2-х позицій) характерна для

восьми варіантів, в той же час значна (5 позицій і більше) – для п'яти (див. табл. 2).

Ще більше неспівпадання рангів походжень у різних пунктах випробування спостережено за величиною поточного приросту за висотою. Середнє відхилення рангів становить 2,9, а коефіцієнт рангової кореляції виявився близьким до нуля (див. табл. 3). Серед усіх 15 варіантів 12 походжень змінили ранг на три позиції і більше.

Таблиця 4

Середнє відхилення рангів походжень сосни кедрової сибірської за середньою висотою (Н), середнім діаметром стовбура (D), поточним приростом у висоту (Z_h) під час випробування у різних лісорослинних умовах

Провенієнція		Середнє відхилення рангів		
номер партії насіння	область, лісгосп	Н	D	Z_h
2098	Читинська, Інгодинський	0,25	4	3
2104	Читинська, Інгодинський	1	3,5	2,5
2117	Іркутська, Нижньоудинський	0,75	3	3,5
2276	Якутія, Алданський	2,5	2,25	1,5
2277	Якутія, Алданський	0,5	1,5	2,5
2278	Томська, Колпашевський	3,25	2,25	4
2279	Новосибірська, Болотинський	2,75	3,5	4
2280	Томська, Бочкаревський	2,25	1	4,5
2281	Красноярський, П.-Єнісейський	1,25	1	1
2284	Якутія, Ленський	0,5	0,5	0,5
2285	Тюменська, Тобольський	0,75	0	5,5
2289	Красноярський, Ус.-Ангарський	0,75	1	2
2293	Томська, Максимоярський	2,75	4,5	3
2295	Красноярський, Манський	3,25	3	2
2512	Іркутська, Слюдянський	2	0	3,5

Серед досліджених потомств популяцій сосни кедрової сибірської трапляються варіанти, показники росту яких є особливо чутливими до зміни умов середовища, серед них – походження 2279, 2293, 2295. Найменш інтерактивними з лісорослинними умовами пунктів випробування за усіма параметрами виявилися варіанти 2281, 2284, 2289. Наявність у географічних культурах значної частки екологічно пластичних походжень свідчить про можливість виділення висотних зон під час розроблення лісонасінного районування сосни кедрової сибірської в Українських Карпатах.

Аналізуючи показники росту 38-річних потомств популяцій сосни кедрової корейської, виявлено тенденції прояву взаємодії «генотип-середовище» (табл. 5). Однак така взаємодія, на відміну від сосни кедрової сибірської, є більш помітною для середньої висоти походжень і найменш чіткою для поточного приросту за висотою (див. табл. 3). Варто наголосити, що незначна кількість варіантів цього виду кедрових сосен у географічних культурах не дозволила у цьому дослідженні отримати статистично значущі коефіцієнти. Ось чому можна говорити тут лише про певні тенденції, а не про закономірності.

Таблиця 5

Середнє відхилення рангів походжень сосни кедрової корейської за середньою висотою (Н), середнім діаметром стовбура (D), поточним приростом у висоту (Z_h) під час випробування у різних лісорослинних умовах

Походження		Середнє відхилення рангів		
номер партії насіння	фізико-географічна зона і провінція; край, лісгосп, координати: пн.ш., сх.д.	Н	D	Z_h
2101	Амурсько-Приморська, Середньоамурська; Хабаровський, Вязенський, 47°30'; 134°35'	1,5	0	0
2108	Сіхоте-Алінська гірська; Хабаровський, Н.Тамбовський, 50°50'; 138°40'	0,5	0,5	0
2306	Західно-Сіхоте-Алінська; Приморський, В.Перевальський, 46°30'; 134°40'	0,5	0,5	0,25
2732	Східно-Сіхоте-Алінська; Приморський, Терпенський, 45°05'; 136°30'	0,5	0	0,25

У зарубіжній науковій літературі є низка робіт, в яких аналогічні методи оцінювання взаємодії «генотип-середовище» було використано у випробуванні півсбсів сосни приморської (*Pinus pinaster* Ait.) [15], сосни Елліота (*Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*) [13], сосни променистої (*Pinus radiata* D. Don) [9]. В останній роботі зазначено, що відхилення від середніх рангів серед 73 родин за діаметром стовбура змінюється від 1,33 до 22,67, за показником прямизни стовбура – від 1,0 до 21,33. Значний рівень взаємодії «родина-середовище» за показниками росту і форми стовбура було виявлено і методом аналізу варіанс. І. Джонсон (*I. Jonson*) зазначає, що через таку взаємодію можливе зниження потенціальної генетичної вигоди від індивідуальної селекції за усіма ознаками. Дослідження 39 родин сосни Елліота в трьох пунктах випробування у віці 5, 8, 15 років виявили середні відхилення їх рангів за показниками росту, прямизни стовбура і щільності деревини в діапазоні від 6,1 до 19,1 позицій [9].

Як і в попередніх роботах, результати вивчення випробних культур сосни приморської в Іспанії засвідчили, що загалом взаємодія «родини-середовище» є наслідком впливу найбільш інтерактивних родин. Видалення цих родин із селекційних програм може виявитися ефективною стратегією вирішення проблеми взаємодії [15]. Однак, на нашу думку, вилучення усіх варіантів з високим ступенем взаємодії не є доречним, якщо деякі з них характеризуються видатним ростом у певних лісорослинних умовах.

Отримання даних про значний рівень взаємодії «генотип-середовище», тобто про наявність великої частки вузькоадаптованих походжень (популяцій,

плюсових дерев), може стати підставою для рекомендацій щодо регіоналізації селекційних програм. При цьому потрібно пам'ятати, що генетичні вигоди від регіоналізації таких робіт не завжди можуть компенсувати зростаючі при цьому додаткові економічні витрати [5, 10].

Висновки. Дослідження показників росту 38-річних географічних культур сосни кедрової сибірської та сосни кедрової корейської на різних гіпсометричних рівнях Українських Карпат виявили наявність взаємодії «походження-середовище». Найбільш чітко у сосни кедрової сибірської вона проявилася для поточного приросту за висотою. Щодо середньої висоти і середнього діаметра стовбура така взаємодія існує, але є дещо меншого рівня.

У сосни кедрової корейської взаємодія «походження-середовище» є більш помітною для середньої висоти і найменш чіткою для поточного приросту за висотою. Незначна кількість походжень сосни кедрової корейської, які випробовуються, дає підставу стверджувати лише про певні тенденції прояву GEI.

Дослідження кількісного рівня взаємодії «генотип-середовище» повинні стати обов'язковим етапом реалізації усіх селекційних програм з лісовими породами в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айала Ф. Введение в популяционную и эволюционную генетику: Пер. с англ. / Ф. Айала. – М.: Мир, 1984. – 232 с.
2. Гайда Ю.І. Екологічна стабільність та пластичність показників росту *Quercus robur* L. і *Pinus sibirica* Du Tour у географічних культурах / Ю.І. Гайда, М.М. Сіщук, Р.М. Яцик // Наук. вісник національного лісотехн. ун-ту України. – 2013. – № 23.13. – С. 101-109.
3. Лакин Г.Ф. Биометрия: учеб. пособие [для студ. биол. спец. ВУЗ]; 4-е изд., перераб. и доп. / Г.Ф. Лакин – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
4. Burdon R.D. Genetic Correlation as a Concept for Studying Genotype-Environment Interaction in Forest Tree Breeding / R.D. Burdon // *Silvae Genetica*. – 26. – 5-6. – 1977. – P. 168-175.
5. Carson S.D. Genotype x environment interaction and optimal number of progeny test sites for improving *Pinus radiata* in New Zealand / S.D. Carson // *New Zealand Journal of Forestry Science*. 1991. – 21(1). – P. 32-49.
6. Eberhart S.A. Stability parameter for comparing varieties / S.A. Eberhart, W.A. Russel // *Crop science*. – 1966. – Vol. 6. – № 1. – P. 36-40.
7. Eriksson G. An Introduction to Forest Genetics. Second Edition / G. Eriksson, I. Ekberg, D. Clapham. – SLU, Uppsala, 2006. – 188 p.
8. Hattermer H.H. Einführung in die Genetik // H.H. Hattermer, F. Bergmann, M. Ziehe. — J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 1993. – 492 s.

9. Johnson I.R. Family-site interaction in radiata pine families in New South Wales, Australia / I.R. Johnson // *Silvae Genetica*. – 1992. – 41(1). – P. 55-62.

10. Johnson G.R. Family-site interaction in *Pinus radiata*: implication for progeny testing strategy and regionalised breeding in New Zealand / G.R. Jonson, R.D. Burdon // *Silvae Genetica*. – 1990. – 39(2). – P. 55-62.

11. Matheson A.C. Provenance x environment interaction: its practical importance and use with particular reference to the tropics / A.C. Matheson, C. A. Raymond // *Commonwealth Forestry Review*. – Vol. 65. – N.4. – P. 283-302.

12. Matheson A.C. The impact of genotype x environment interactions on Australian *Pinus radiata* breeding programs / A.C. Matheson, C. A. Raymond // *Aus. For. Res.* – 1984. – 14. – P. 11-25.

13. Pswarayi I.Z. Genotype-Environment Interaction in a Population of *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* / I.Z. Pswarayi, R.D. Barnes, J.S. Birks, P.J. Kanowski // *Silvae Genetica*. – 46. – N.1. – 1997. – P. 35-40.

14. White T.L. Forest Genetics / T. L. White, W.T. Adams, D.B. Neale. – CABI Pub., 2009. – 682 p.

15. Zas R. Genotype x Environment Interaction in Maritime Pine Families in Galicia, Northwest Spain / R. Zas, E. Merlo, J. Fernandez-Lopez // *Silvae Genetica*. – 53. – N.4. – 2004. – P. 175-182.

Ю.І. Гайда, Р.М. Яцик, М.М. Сіщук

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ «ГЕНОТИП-СРЕДА» В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ *PINUS SIBIRICA* DU TOUR И *PINUS KORAIENSIS* SIEB. ET ZUCC.

Приведены результаты исследования явления взаимодействия «генотип-среда» (Genotype-Environment Interaction, GEI) в 38-41-летних географических культурах сосны кедровой сибирской и сосны кедровой корейской, созданных на двух гипсометрических уровнях северного мегасклона Украинских Карпат: в государственном дендрологическом парке «Высокогирный» на высотах 1150-1280 м н.у.м. и в государственном дендрологическом парке «Диброва» на высоте 300 м н.у.м.

Один из вариантов GEI, а именно взаимодействие «происхождение-среда» оценен с помощью методов среднего отклонения рангов и коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

Установлено определенное изменение рангов происхождения сосны кедровой сибирской по средней высоте – среднее отклонений их рангов от среднего ранга в разных условиях испытания составляет 1,6. Среди всех 15 происхождений пять сменили свое место в ранжированном ряду по этому показателю на 5 позиций и более. Семь происхождений сменили ранги за средней высотой незначительно – показатель среднего отклонения рангов у них

составляет 0,5-1,0. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена по средней высоте у сосны кедровой сибирской есть достоверным с вероятностью 0,95 и составляет 0,60. Порядок рангов происхождения сосны кедровой сибирской по среднему диаметру ствола варьировал больше. Так коэффициент корреляции Спирмена для этого показателя составляет 0,44, однако он есть недостоверным даже для 5% уровня значимости. В наибольшей мере взаимодействия «генотип-среда» проявилось у сосны кедровой сибирской по величине текущего прироста по высоте (12 вариантов из 15 сменили ранг на 3 позиции и больше, среднее отклонение рангов – 2,9, а коэффициент ранговой корреляции близок к 0). Среди исследованных потомств популяций сосны кедровой сибирской выделены особенно чувствительные к изменению условий среды – провениенции 2279, 2293, 2295 и наименее интерактивные с лесорастительными условиями пунктов испытания – 2281, 2284, 2289.

Ввиду небольшого количества происхождений сосны кедровой корейской, которые испытываются в исследованных географических культурах, можно говорить лишь об определенных тенденциях в проявлении явления их интерактивности с лесорастительными условиями. В отличие от предыдущего вида, GEI более заметное для средней высоты происхождения и менее четкое для текущего прироста по высоте.

Ключевые слова: взаимодействие «генотип-среда» (GEI), методы отклонения от среднего ранга и коэффициента ранговой корреляции Спирмена, сосна кедровая сибирская, сосна кедровая корейская, географические культуры

Y. Hayda, R. Yatsyk, M. Sishchuk

INTERACTION “GENOTYPE-ENVIRONMENT” IN PROVENANCE TESTS OF *PINUS SIBIRICA* DU TOUR AND *PINUS KORAIENSIS* SIEB. ET ZUCC.

The article presents the results of the study of the interaction “genotype-environment» (GEI) in the 38-41-year-old provenance tests of Siberian pine and Korean pine on the two hypsometric levels on the northern slope of Ukrainian Carpathians. The

provenance tests were established on 2 sites in the state arboretum “Visokogirny” (altitude 1150-1280 m) and in the state arboretum “Dibrova” (altitude 300 m).

One of the GEI options, namely the interaction of “provenances-environment”, was evaluated by the average deviation methods rank according A.C. Matheson, C.A. Raymond and Spearman’s rank correlation coefficient.

Certain rank deviations of provenances Siberian stone pine for average height were identified (the average rank deviation from the average across-site rankings equals 1,6). Among all proved 15 provenances five provenance changed their place in the ranking for this trait by 5 positions and more. As deduced 7 provenances changed their ranks for height slightly (the average deviations of the ranks were 0,5-1,0). Spearman’s rank correlation coefficient between the ranks of provenance of Siberian stone pine for the height equals 0,60 and is significant at the 5% level. The ranks of provenances Siberian stone pine for diameter at breast height (DBH) vary much more. Spearman’s rank correlation coefficient for this trait equals 0.44, but it is insignificant even at the 5% significance level. To a great extent interaction “genotype-environment” for Siberian stone pine was established for the current annual height increment (12 from 15 provenance changed rank on 3 position and more, the average rank deviation from the average across-site rankings equals 2.9, Spearman’s rank correlation coefficient is close by 0). Thus the results indicated that the interaction for Siberian stone pine is apparent for the current increment in height, some less for the average total height and the average diameter of the trunk at breast height.

Among Siberian stone pine provenances were identified particularly sensitive to changes in environmental conditions progeny of populations (№ 2279, 2293, 2295) and less interactive with conditions of test sites provenance (№ 2281, 2284, 2289).

Owing to the small number of Korean pine proveniences that are tested we can only suppose about certain trends in the magnitude of their interaction with the site conditions. In contrast to the previous species GEI for Korean pine is more noticeable for the height means of provenances and less clear for the current annual height increment.

Key words: genotype-environment interaction (GEI), methods of mean rank deviation and Spearman’s rank correlation coefficient, Siberian pine, Korean pine, provenance tests