

ЗВ'ЯЗОК СУБФОСИЛЬНИХ СПОРОВО-ПИЛКОВИХ СПЕКТРІВ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ З КЛІМАТИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

В статті наводяться результати математичної обробки палінологічних характеристик поверхневих проб ґрунтів степової зони України з метою їх подальшого використання для палеокліматичних реконструкцій. Наведено результати кореляційного аналізу вихідних даних. Проаналізовано стійкість лінійних регресивних моделей щодо змін просторової деталізації кліматичних даних.

Палеокліматичні реконструкції для плейстоцену та голоцену, як правило, проводяться з урахуванням відповідності складу субфосильних спорово-пилкових спектрів (СПС) сучасному рослинному покриву та сучасним кліматичним умовам [2, 3, 5, 6, 11 та ін.]. Для рівнинної частини України (лісова, лісостепова, степова зони) було встановлено зв'язок між складом субфосильних спорово-пилкових спектрів та сучасними кліматичними показниками (КП) [7]. Але, як ми зазначали [1], для степової зони ці дані мають високий ступінь фрагментарності й потребують суттєвих уточнень, для цілей як палеоботанічних, так і палеокліматичних реконструкцій. В даній роботі ми використали палінологічні характеристики поверхневих шарів ґрунтів степової зони України [1, 4]. Для знаходження зв'язку між субфосильними спорово-пилковими спектрами та сучасними кліматичними показниками були використані методи кореляційного аналізу (коефіцієнти парної та множинної кореляції) та багатовимірного регресивного аналізу [2, 3].

Проводився попередній кореляційний аналіз вихідної сукупності даних. Окремо аналізувалися дані по правобережній (38 компонентів СПС, 31 спектр) та лівобережній (43 компоненти СПС, 68 спектрів) зонам України та узагальнена вибірка з обох зон (36 компонентів СПС, 93 спектра). Розрахунки проводилися для двох масивів сучасних кліматичних даних різної деталізації — даних метеостанцій [9, 10] та кліматичного атласу [8]. Кореляційний аналіз виявив компоненти спектрів, які мають статистично значимі коефіцієнти кореляції з кліматичними показниками. Їх наведено в таблиці 1.

Зірками позначено статистично значимі коефіцієнти кореляції, не наведені в таблицях ком-

поненти не мають значимої кореляції з жодним із кліматичних показників. В таблиці 1 для даних метеостанцій узагальненої виборки опущено всі компоненти, що мають значиму кореляцію лише з одним кліматичним показником (Дерева, Трави, Спори, *Pinus*, *Quercus*, *Cyperaceae*, *Artemisia*, *Polygonaceae*, *Euphorbiaceae*, *Plantaginaceae*, *Bryales*), в таблиці даних кліматичних атласів — з одним та двома (*Pinus*, *Quercus*, *Ephedra*, *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Artemisia*, *Ranunculaceae*, *Brassicaceae*, *Fabaceae*, *Euphorbiaceae*, *Convolvulaceae*, *Plantaginaceae*, *Hepaticae*, *Bryales*).

Крім попереднього аналізу вихідної сукупності даних перед проведенням регресивного аналізу кореляційний аналіз дозволяє виявити вельми цікаві закономірності, основані на тому, що значима кореляція певного компонента СПС з кліматичним показником показує, що цей показник є лімітуючим для розвитку даного таксону. Наприклад, розглянемо пилки родини *Asteraceae*. На правобережжі він не має значимої кореляції з температурними кліматичними показниками. Для лівобережжя чітко видно негативну кореляцію кількості пилку *Asteraceae* з температурою та позитивну з кількістю опадів. Ці дані свідчать про те, що на правобережжі більшість видів *Asteraceae* перебувають в умовах близьких до оптимальних, жодний з кліматичних факторів не є лімітуючим. На лівобережжі, за умов подібного температурного режиму види знаходяться в умовах недостатньої зволоженості (позитивний знак кореляційного зв'язку з опадами). Аналогічна картина спостерігається для родини *Lamiaceae* та різнотрав'я. Для роду *Ephedra* виявляється позитивна кореляція з температурними показниками та від'ємна з кількіс-

Результати кореляційного аналізу даних навчальної вибірки

Таблиця 1.

Лівобережжя

Дані метеостанцій

Дерева	Трави	Pinus	Salix	Corylus	Ephedra	Asteraceae	Liliaceae	Fabaceae	Euphorbiaceae	Lamiaceae	Rubaceae	Dipsacaceae	
-0.03	0.03	-0.12	0.24	-0.11	0.28*	-0.48*	-0.21	-0.26*	0.33*	-0.32*	-0.23	-0.42*	Т січня
0.09	-0.09	0.02	0.23	-0.06	0.24	-0.62*	-0.13	-0.34*	0.30*	-0.17	-0.15	-0.55*	Т липня
0.06	-0.06	-0.03	0.27*	-0.09	0.25*	-0.51*	-0.18	-0.29*	0.33*	-0.31*	-0.21	-0.46*	Т року
0.30*	-0.30*	0.37*	-0.10	0.20	-0.20	0.41*	0.29*	0.21	-0.21	0.42*	0.29*	0.33*	Опади

Дані кліматичного атласу

Дерева	Трави	Pinus	Ephedra	Chenopodiaceae	Asteraceae	Різнограв'я	Liliaceae	Ranunculaceae	Euphorbiaceae	Convolvulaceae	Lamiaceae	Dipsacaceae	
-0.16	0.16	-0.21	0.32*	0.10	-0.38*	-0.02	-0.23*	0.31*	0.35*	0.27*	-0.31*	-0.33*	Т січня
-0.23	0.23	-0.35*	0.13	0.13	-0.52*	-0.05	-0.10	0.26*	0.17	0.12	-0.19	-0.49*	Т липня
-0.19	0.19	-0.26*	0.28*	0.15	-0.50*	-0.09	-0.26*	0.26*	0.30*	0.24	-0.23	-0.41*	Т року
0.39*	-0.39*	0.45*	-0.04	-0.35*	0.46*	0.31*	0.20	-0.01	-0.04	-0.01	0.35*	0.36*	Опади

Правобережжя

Дані метеостанцій

Salix	Ephedra	Poaceae	Cyperaceae	Chenopodiaceae	Alliaceae	Rosaceae	Primulaceae	Convolvulaceae	Plantaginaceae	
-0.16	-0.14	-0.08	0.04	0.43*	0.21	0.19	0.45*	-0.08	-0.37*	Т січня
0.15*	0.15*	0.10*	0.15*	0.29*	0.15*	0.27	0.00	0.40*	0.07	Т липня

тюд опадів. Для *Chenopodiaceae* навпаки — лівобережжя має умови близькі до оптимальних, загальна виборка показує, що в цілому види відчувають надмірну зволоженість, а в окремих місцях на правобережжі — нестачу вологи. Це парадоксально, бо кліматичні умови правобережжя в цілому вологіші ніж на лівобережжі [8, 9, 10]. Пояснення, напевне, полягає в дії інших лімітуючих факторів, таких як засоленість ґрунтів, тому дія кліматичних факторів проявляється в модифікованому вигляді.

Деякі з отриманих даних якісно збігаються з залежностями, наведеними в роботі [2]. Наприклад підтверджується сильна від'ємна кореляція пилку трав та позитивна кореляція пилку дерев із середньорічною кількістю опадів. Для пилку *Ephedra* на правобережжі підтверджується позитивна кореляція з температурою липня.

Таким чином, шість наборів даних взаємно доповнюють один одного і дозволяють про-

дити адекватні оцінки дії лімітуючих факторів на певні таксони. За наявності більшої кількості вихідних даних ці методи дозволять розшифрувати складні зв'язки кліматичних умов з кількістю пилку деяких таксонів СПС. Це в свою чергу покращить ступінь достовірності палеокліматичних реконструкцій.

Оскільки наявний обсяг даних не дозволяє виявити прямі залежності, то використовуються штучні лінійні "залежності" значень КП від компонентів субфосильних СПС. В даній роботі ми використовували розвинений раніше [1, 2, 3] підхід виявлення цих залежностей методом багатовимірного регресивного аналізу. Нами було проаналізовано надзвичайно важливе для оцінки надійності палеокліматичних реконструкцій питання про стійкість регресивних моделей щодо зміни деталізації вхідних даних навчальної вибірки. Дані розраховані за рівняннями регресії на матеріалі навчальної вибірки та

реальні дані порівнювалися кореляційним аналізом. Регресивні моделі показали дуже високу ($|r| > 0.9$) кореляцію з реальними значеннями кліматичних показників, що свідчить про високу якість прогнозування КП за даними субфосильних СПС. Цікаво порівняти отримані коефіцієнти рівнянь регресії з аналогічними, наведеними в роботі [7]. Збіжність результатів оцінювали кореляційним аналізом, який показав, що кореляція між двома наборами даних значима тільки для середньорічної кількості опадів.

Було розраховано внесок кожного з компонентів СПС у множинну кореляцію між усіма компонентами та певним кліматичним показником. Цей внесок кількісно відображує інформативну "значимість" компонента [1, 2, 3]. Було досліджено стабільність системи найбільш інформативних ознак у залежності від зміни деталізації вихідних кліматичних даних. Порівняльні дані за внесками P (в %) в множинну кореляцію десяти найзначиміших компонентів СПС для узагальноної виборки наведено в таблиці 2.

З таблиці 2 видно, що для кожного кліматичного показника набір найзначиміших компонентів СПС різний. Практично для всіх КП до цього набору входять пилки *Asteraceae*, *Lamiaceae*, *Liliaceae*, дерев і трав. Набори компонентів за даними метеостанцій та кліматичного атласу відрізняються. В цілому, не враховуючи зміни

числових значень внесків компонентів першої десятки, можна сказати, що набір значимих компонентів найбільш стабільний для середньорічної кількості опадів (збігаються 9 з 10 компонентів) та середньорічної температури (8 з 10). Для середньої температури липня збігаються 6 з 10 компонентів. Для температури січня тільки 4 з 10, і до цього набору входять лише узагальнені категорії спектра: пилки дерев, трав, різнотрав'я та спори.

Таким чином, з наведених даних випливає, що зміна точності оцінки кліматичних показників найбільше впливає на результати аналізу для середньої температури січня та липня і найменше для середньорічної температури та кількості опадів. Це інтуїтивно зрозуміло, через те що середньорічні показники змінюються менше, ніж середньомісячні при зміні просторової деталізації вимірювань. Тому для побудови регресивних моделей оцінки палеокліматичних показників можна рекомендувати використання даних про сучасні кліматичні показники з максимальним просторовим розподіленням. Доцільно використовувати моделі, основані на даних різних регіонів та узагальнених за цими регіонами, наприклад, окремо для ліво-, правобережжя та узагальнені дані. Це дає переваги при аналізі можливих зміщень рослинних зон у минулому і підвищує надійність палеокліматичних реконструкцій.

Таблиця 2

Внески компонентів СПС у множинну кореляцію з кліматичними показниками

Дані метеостанцій							
Т° січня		Т° липня		Т° року		Опади	
Компонент	P	Компонент	P	Компонент	P	Компонент	P
Трави	18.337	<i>Asteraceae</i>	23.208	<i>Asteraceae</i>	23.991	Трави	20.247
<i>Primulaceae</i>	15.761	<i>Liliaceae</i>	12.327	Різнотрав'я	13.419	Дерева	13.054
Дерева	13.597	<i>Alliaceae</i>	11.692	<i>Lamiaceae</i>	10.705	<i>Liliaceae</i>	11.729
<i>Ranunculaceae</i>	11.944	<i>Lamiaceae</i>	9.008	<i>Alliaceae</i>	8.747	<i>Lamiaceae</i>	7.74
Різнотрав'я	10.327	<i>Ephedra</i>	5.661	<i>Chenopodiaceae</i>	7.645	<i>Alliaceae</i>	6.427
<i>Rosaceae</i>	9.402	<i>Bryales</i>	5.217	<i>Liliaceae</i>	7.14	<i>Bryales</i>	5.97
<i>Hepaticae</i>	2.813	<i>Salix</i>	4.554	<i>Ephedra</i>	5.861	Різнотрав'я	5.518
Спори	2.717	Дерева	4.293	<i>Fabaceae</i>	3.37	<i>Primulaceae</i>	5.375
<i>Betula</i>	1.846	Різнотрав'я	2.807	Дерева	2.993	<i>Asteraceae</i>	3.474
<i>Fabaceae</i>	1.746	<i>Chenopodiaceae</i>	2.766	<i>Eurphorbiaceae</i>	1.821	<i>Ranunculaceae</i>	2.736
Дані кліматичного атласу							
<i>Asteraceae</i>	15.718	Трави	24.347	<i>Asteraceae</i>	15.584	Різнотрав'я	12.15
Різнотрав'я	12.617	Дерева	17.195	<i>Alliaceae</i>	9.649	<i>Alliaceae</i>	10.627
<i>Lamiaceae</i>	8.316	<i>Liliaceae</i>	7.846	<i>Chenopodiaceae</i>	9.584	<i>Asteraceae</i>	9.168
<i>Liliaceae</i>	7.562	<i>Bryales</i>	7.181	<i>Liliaceae</i>	8.877	<i>Bryales</i>	9.034
<i>Chenopodiaceae</i>	6.438	<i>Primulaceae</i>	6.719	<i>Lamiaceae</i>	7.828	<i>Lamiaceae</i>	8.12
<i>Ephedra</i>	5.805	<i>Alliaceae</i>	6.091	Трави	7.523	<i>Chenopodiaceae</i>	6.074
Дерева	5.417	Спори	3.945	Дерева	7.005	<i>Liliaceae</i>	5.916
Спори	4.962	<i>Lamiaceae</i>	3.342	Спори	6.151	Дерева	5.613
Трави	4.241	<i>Asteraceae</i>	3.227	<i>Ephedra</i>	4.678	Трави	3.481
<i>Syringaceae</i>	4.064	<i>Brassicaceae</i>	3.141	Різнотрав'я	4.349	<i>Primulaceae</i>	3.006

1. Безусько Л. Г., Безусько А. Г., Єсилевський С. О. Актуопалинологічні аспекти палинології голоцену (на прикладі степової зони України).— *Наук. записки НаУКМА. Природничі науки. Біологія*, 1998, т. 5.— С. 51—57.
2. Букреева Г. Ф. Математические методы в палинологии. Вып. 1 Статистический анализ состава спорово-пыльцевых спектров поверхностных проб и элементов современного климата.— Новосибирск: ИГиГ, 1989.— 99 с.
3. Букреева Г. Ф., Вотах М. Р., Бишаев А. А. Определение палеоклиматов по палинологическим данным методом целевой итерационной классификации и регрессивного анализа.— Новосибирск: ИГиГ, 1986.— 190 с.
4. Зубець Р. Я. Спорово-пилкові дослідження поверхневих шарів ґрунтів степової частини України.— *Укр. ботан. журн.*, 1971, т. 28, № 2.— С. 192—198.
5. Климанов В. А. К методике восстановления количественных характеристик климата прошлого.— *Вест. Москов. ун-та. Сер. геогр.*, 1976, № 2.— С. 92—98.
6. Климанов В. А. Связь субфосильных спорово-пыльцевых спектров с современными климатическими условиями.— *Изв. АН СССР. Сер. геогр.*, 1981, № 5.— С. 101—114.
7. Климанов В. А., Арап Р. Я. Дослідження сучасних спорово-пилкових спектрів рівнинної частини України статистичним методом.— *Укр. ботан. журн.*, 1985, т. 42, № 3.— С. 22—26.
8. Климатический атлас СССР.— М., 1960, т. 1.— 181 с.
9. Справочник по климату СССР. Вып. 10. Ч. 2.— Л.: Гидрометеоздат, 1967.— 609 с.
10. Справочник по климату СССР. Вып. 10. Ч. 4.— Л.: Гидрометеоздат, 1969.— 695 с.
11. Чернавская М. М., Фогель Г. А. Реконструкция климата Полесья и Предкарпатья по палинологическим данным.— *Изв. АН СССР, сер. геогр.*, 1991, № 2.— С. 98—105.

Bezus'ko A. G., Bezus'ko L. G., Yesylevsky S. O.

DEPENDENCES BETWEEN SUBFOSSIL SPORE-POLEN SPECTRES AND CLIMATIC CHARACTERISTICS OF THE STEPPE ZONE OF UKRAINE

In this article results of the mathematical analysis of the subfossil spore-pollen spectres from the steppe zone of Ukraine are given. Obtained results will be used in paleoclimatical reconstructions. The results of the correlation analysis of the initial data are given. Stability of the linear regression models based on the climatic data with different spatial detalization is investigated.