

Безусько Л. Г., Безусько Т. В.,
Єсилевський С. О., Ковалюх М. М.

ДО ПИТАННЯ ПРО КЛІМАТ І РОСЛИННІСТЬ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ В ГОЛОЦЕНІ

В статті наводяться результати математичної обробки палінологічних характеристик відкладів голоцену ґрунтового розрізу Єланець-2, серійно датованих радіовуглецевим методом. На основі комплексних даних проведено палеокліматичні дослідження та внесено деякі корективи в попередні палеоботанічні реконструкції голоцену для правобережної частини степової зони України.

З метою реконструкції картини основних змін клімату та рослинності було проведено комплексні палінологічні та радіовуглецеві дослідження відкладів ґрунтового розрізу Єланець-2, який розташований на території природного заповідника "Єланецький степ" (Єланецький і Новоодеський р-ни, Миколаївська обл.). Заповідник було створено у 1996 році на розширеній базі однойменного державного заказника [8]. Нині заповідна територія займає площу 1675,7 га і за геоботанічним районуванням належить до Бужко-Дніпровського округу Приазовсько-Чорноморської підпровінції Причорноморської степової провінції Європейсько-Азіатської степової області [5]. В заповіднику збереглися найбільш репрезентативні для сучасного Правобережного Степу ділянки справжніх різнотравно-типчакково-ковилових, цілих типчаккових, типчакково-ковилових, чагарникових степів та петрофітно-степових угруповань. До складу сучасної флори заповідника входять 418 видів вищих судинних рослин, а його ценотичну різноманітність представлено лісами, чагарниками, степами та луками [7, 8]. Цілком зрозуміло, що перші комплексні палінологічно-геоботанічні дослідження поверхневих проб ґрунтів правобережної частини степової зони України було проведено на цій заповідній території [3]. На сьогодні близько 100 субфосильних спорово-пилкових спектрів (СПС) степової зони використано нами для оцінки математичними методами зв'язку між їхнім складом та сучасними кліматичними показниками [2]. З метою використання отриманих даних для палеокліматичних реконструкцій кількісного рівня було залучено палінологічні характеристики відкладів ґрунтового розрізу Єланець-2. Потужність відкладів розрізу складає

1,0 м (зразки на спорово-пилковий аналіз відбирались з інтервалом 10 см). Для всіх зразків було отримано палінологічні характеристики, і на їх основі в межах відносної хронології було попередньо реконструйовано зміни рослинного покриву степової зони в голоцені [1]. Останнім часом для відкладів розрізу Єланець-2 отримано результати їх радіовуглецевого датування (табл. 1).

Таблиця 1. Результати радіовуглецевого датування відкладів розрізу Єланець-2

№№ з.п.	Глибина, см	Лабораторний номер	Вік C^{14} , ВР
1	0,5	KI-7531	110±100
2	10	Ki-7532	870±80
3	20	Ki-7533	2410±70
4	30	Ki-7534	3280±80
5	40	Ki-7535	4270±70
6	50	Ki-7536	4630±80
7	60	Ki-7537	5245±90
∞	70	Ki-7538	5960±80
9	80	Ki-7539	6730±70
10	90	Ki-7540	7820±80
11	1006	KI-7541	8140±80

Нааявність комплексних палінологічних та радіовуглецевих даних для розрізу Єланець-2 визначила перспективність їх використання для проведення палеокліматичних та деталізації палеоботанічних реконструкцій для степової зони України в голоцені. Слід зауважити, що дві перші радіовуглецеві дати не були використані в подальших розробках. Для поверхневої проби (гл. 0,5 см) це цілком зрозуміло — вона має практично сучасний вік. Стосовно другої дати, то її

вік може бути омолодженим за рахунок забруднення надлишком радіовуглецю, який імовірно потрапив на цю глибину ґрунту під час глобальних випробувань ядерної зброї в 1962—1964 рр. Що ж до глибших шарів ґрунтів, то встановлено, що ці забруднення не впливають на визначення їхнього віку радіовуглецевим методом. Отримані дані дозволили внести деякі корективи в проведену нами раніше реконструкцію картини змін у рослинному покриві Правобережного Степу в голоцені [1]. Так, встановлено, що палеоботанічна реконструкція охоплює в часі останні 8140 — 80 років (кінець ВО, АТ, СВ, SA). Таким чином, її початок відноситься лише до заключних етапів бореалу, а не до бореального часу в цілому, як вважалось раніше [1]. Результати комплексних палінологічних та радіовуглецевих досліджень підтвердили висновок про те, що вперше антропогенний вплив на природні фітоценози фіксується з суббореального часу (4270 ± 70 BP). На наявному, датованому матеріалі в рамках методу багатовимірного регресійного аналізу було відпрацьовано методику відбору інформативної системи компонентів СПС для підвищення точності оцінок палеокліматичних показників. Стабільність регресійної моделі катастрофічно знижується при появі "паразитичних" залежностей — наборів компонентів СПС, замкнених на себе, і не впливає на оцінку кліматичного показника [4]. Найпростіший приклад паразитичної залежності — регресійне рівняння типу $KП = 200x^1 - 400x^2 + 2x^3$. Якщо середній за навчальною вибіркою вміст компоненту x^1 дорівнює 2 %, а компонента x^2 — 1 %, то в сумі вони не дадуть ніякого внеску в КП, і при тестуванні регресійна модель покаже майже ідеальний опис навчальної вибірки; але якщо у вибірковому СПС вміст компоненту x^2 лише на десяті долі відсотка вищий, то некомпенсоване відхилення може за порядком величини перевищити реальне значення кліматичного показника. Паразитичні залежності утворюються навіть в ідеально сформованих вибірках і мають бути відфільтровані перед формуванням регресійної моделі, що означає мінімізацію числа компонентів СПС, які включаються в модель [4]. Одним з найкращих методів мінімізації визнано метод цільової ітераційної класифікації. Принцип та доцільність застосування цього методу детально обговорюються в літературі [4]. Треба зазначити, що вказаний метод враховує доповнювальну дію компонентів СПС при оцінці КП, але не враховує взаємопов'язаність КП — до уваги береться лише один цільовий КП. Це дозволяє сформувати інформативну і стійку регресійну модель для кожного КП окремо, що дуже корисно при оцінці різнорідних параметрів, наприклад, кіль-

кості опадів і річних температур, які напевно мають різні набори значимих компонентів СПС. Якщо дотримуватись методичних вказівок літературних джерел [4], то доцільно відбирати сталу кількість компонентів СПС (наприклад 10 з 30—40 вихідних) для кожного КП. На нашу думку, такий підхід не є оптимальним, бо кількість компонентів, які дають стійкий внесок у рівняння регресії, різна для різних КП, а для комплексної реконструкції палеоклімату важливо знати, що похибки вимірювання всіх кліматичних показників зівставні. Можлива ситуація, коли для досягнення однакової точності оцінки для КП А треба включити в рівняння 15 компонентів, а для КП В лише 2, тоді відбір для обох з них 10 компонентів суттєво знизить стійкість оцінки показника? через ризик включення разом із "зайвими" компонентами паразитичних залежностей, в той час як 5 "зайвих", але інформативних для А компонент, буде виключено. Крім того, сама кількість компонент оптимального набору і його якісний склад відображають екологічні відмінності різних таксонів рослин, зокрема, ті кліматичні фактори, що є для них лімітуючими [2]. В даній роботі ми використовували інший критерій відбору стійкої системи компонентів СПС. Для всіх кліматичних показників до навчальної вибірки застосовували цільову ітераційну класифікацію з однаковим параметром відкидання неінформативних показників та однаковою кількістю ітерацій. Це дозволяло виявити той кліматичний показник (КП) чи показники, які найгірше описуються даною навчальною вибіркою — для них число невідкинутих компонентів було найменшим, але ті, що залишилися, формували стійку регресійну залежність. За такого підходу фактично гарантується, що стійкість моделей для всіх показників буде не гірша за стійкість моделі для показника, що найгірше описується наявними даними. При отриманні інформативних наборів підбір параметрів цільової ітераційної класифікації проводився таким чином, щоб забезпечити кожний кліматичний показник не менш ніж 3—4 компонентами, бо менша їх кількість робить ботаніко-екологічну інтерпретацію результатів проблематичною. Регресійні рівняння будувалися за результатами відбору інформативної системи компонентів СПС методом описаним вище на основі навчальної вибірки з правобережної зони України, яка була детально проаналізована в роботі (табл. 2). Навчальна вибірка містила 35 компонентів СПС та 31 СПС. Як і в нашій попередній роботі, ми використовували два набори сучасних кліматичних даних різної просторової деталізації — дані метеостанцій [9, 10] та кліматичного атласу [6]. Відповідно було отримано дві інформативні си-

стеми компонентів СПС та два набори регресійних рівнянь. Порівнюючи розраховані за ними дані, можна оцінити надійність реконструкцій КП для кожного розрізу.

Результати відбору інформативної системи компонентів для розрізу Єланець-2 наведені в таблиці 2.

Як видно, для температурних показників інформативні системи майже збігаються (всі компоненти з набору з меншим N входять до набору з більшим N), тоді як для опадів інформативні системи значно відрізняються. Це вказує на значну втрату інформації при зміні деталізації даних про кількість опадів.

Отримані для кожного кліматичного показника регресійні рівняння містили відібрані інформативні компоненти. За цими рівняннями було розраховано палеокліматичні показники для розрізу Єланець-2. Результати відтворення ПК наведені в таблиці 3.

Кореляційний аналіз показав, що лише дані щодо кількості опадів не можуть вважатися скорельованими для двох наборів даних, у повній відповідності з наведеним вище. Для температурних показників результати відтворення палеоклімату можна вважати надійними.

Насамкінець зазначимо, що проведені на прикладі розрізу Єланець-2 палеокліматичні реконструкції для голоцену є першим результатом застосування матеріалів проведеної нами математичної обробки субфосильних спорово-пилкових спектрів степової зони України [2]. Дослідження в цьому напрямку тривають на кафедрі біології природничого факультету НаУКМА в межах виконання спільної з Інститутом ботаніки НАН України теми "Палеоекологічні аспекти реконструкції рослинного покриву та клімату України в голоцені". Автори статті висловлюють щиру подяку керівникові теми — академіку К. М. Ситнику за зауваження та пропозиції, що були використані при підготовці статті до друку.

Таблиця 2. Результати відбору інформативної системи компонентів СПС методом цільової ітераційної класифікації для розрізу Єланець-2. N — кількість компонентів, що формують інформативну систему, зірочками позначені компоненти, спільні для обох наборів кліматичних даних

Скорочення: Alnus — Al, Quercus — Q, Corylus — Cor, Ephedra — Eph, Cyperaceae — Cyp, Caryophyllaceae — Car, Euphorbiaceae — Eu, Scrophulariaceae — Ser, Rubiaceae — Rub, Polypodiaceae — Poly, Hepaticae — Hep, Rosaceae — Po, Дерева — Д, Spori — С, Salix — Sal, Chenopodiaceae — Chen, Asteraceae + Cichoriaceae — Ast, Різотрав'я — Різ, Rosaceae — Ros, Convolvulaceae — Conv, Lamiaceae — Lam, Plantaginaceae — Plant, Bryales — Bry, Трави — Тр, Alliaceae — All, Liliaceae — Lil, Apiaceae — Ap¹ Artemisia — Art, Polygonaceae — Poli.

Показник	Дані метеостанцій		Дані кліматичного атласу	
	N	Відібрані компоненти СПС	N	Відібрані компоненти СПС
T ⁰ Січня	11	АГ, Q*, Cor*, Eph*, Cyp*, Car*, Eu*, Scr*, Rub*, Poly*, Hep*	13	Al*, Q*, Cor*, Eph*, Cyp*, Pol, Car*, Eu*, Ap, Scr*, Rub*, Poly*, Hep*
T ⁰ Липня	8	Ai*, Cor*, Eph*, Po*, Cyp*, Scr*, Rub*, Hep*	12	Al*, Q, Cor*, Eph*, Po*, Cyp*, Art, Poli, Ap, Scr*, Rub*, Hep*
T ⁰ Року	11	Al*, Q*, Cor*, Eph*, Cyp*, Car, Eu*, Scr*, Rub*, Poly*, Hep*	12	Al*, Q*, Cor*, Eph*, Cyp*, Pol, Eu*, Ap, Scr*, Rub*, Poly*, Hep*
Опади	14	Д, С, Sal, Chen, Ast, Різ, All, Lili*, Ran*, Ros, Conv*, Lam, Plan*, Bry	5	Т, Lili*, Ran*, Conv*, Plant*

Таблиця 3. Кліматичні показники для деяких періодів голоцену (розріз Єланець-2; степова зона України). Вік проб подано в роках, температури в °С, середньорічну кількість опадів в мм

№	Вік проби	За даними кліматичного атласу				За даними метеостанцій			
		T° січня	T° липня	T° року	Опади	T° січня	T° Липня	T° року	Опади
1	2410±70	-4.903	21.437	7.8904	509.6327	-5.0413	21.5183	8.2015	476.5827
2	3280±80	-4.1601	21.5634	8.5126	481.2211	-4.0982	21.8165	8.7187	461.0185
3	4270±70	-4.955	21.4468	7.8985	437.0225	-5.0886	21.6191	8.1213	461.5291
4	4630±80	-4.5686	21.5534	8.295	464.0564	-4.5566	21.9174	8.5454	462.18
5	5245±90	-3.0053	21.9388	9.7243	453.0769	-2.3995	22.8596	10.1808	467.0542
6	5960±80	-4.395	21.6191	8.4495	470.4607	-4.182	22.1546	9.1083	472.1422
7	6730±70	-3.939	21.5997	8.8022	465.1771	-3.6352	21.9816	8.7723	461.1244
8	7820±80	-4.3802	21.5392	8.3954	457.2721	-4.3637	21.6954	8.5235	473.2978
9	8140±80	-4.7728	21.4675	7.9986	451.0659	-4.9401	21.3475	8.2345	466.2479

1. Арап Р. Я., Безусько Л. Г., Сябряй С. В., Тимченко Т. В., Яковенко С. О. Доповнення до історії рослинності півдня України в неогені-антропогені (за палинологічними даними) // Укр. ботан. журн., 1992, т. 49, № 6.— С 46—49.

2. Безусько А. Г., Безусько Л. Г., Єсилевський С. Л. Зв'язок субфосильних спорово-пилкових спектрів степової зони України з кліматичними характеристиками.— В зб.: Наукові записки НаУКМА, 1999, т. 9, ч. 2.— С 329 — 332.

3. Безусько Л. Г., Костильов О. В. Палинологічні характеристики поверхневих шарів Ґрунту степів Північно-Західного Причорномор'я // Укр. ботан. журн., 1988, т. 45, № 4,— С 88—92.

4. Букреева Г. Ф., Ворух М. Р., Бишаев А. А. Определение палеоклиматов по палинологическим данным мето-

дом целевой итерационной классификации и регрессивного анализа.— Новосибирск: ИГиГ, 1986.— 190 с.

5. Геоботаничне районування Української РСР.— К.: Наук. думка, 1977.— 304 с.

6. Климатический атлас СССР.— М., 1960, т. 1.— 181с.

7. Костильов О. В. Рослинність запроектованого заповідника "Єланецький" // Укр. ботан. журн., 1987, т. 44, № 2.— С 77—81.

8. Природно-заповідний фонд України загальнодержавного значення. Довідник.— К., 1999.— 240 с.

9. Справочник по климату СССР. Вып. 10, ч. 2.— Л.: Гидрометеиздат, 1967.— 609 с.

10. Справочник по климату СССР. Вып. 10, ч. 4.— Л.: Гидрометеиздат, 1969.— 695 с.

Bezusko L. G., Bezusko T. V., Jesilevsky S. A., Kovaluch N. N.

TO THE QUESTION OF CLIMATE AND VEGETATION IN UKRAINIAN STEPPE ZONE DURING HOLOCENE

In this article palynological characteristics of Holocene deposits from subsoil section Elanets 2, which were serially dated by radiocarbon method, were mathematically processed. Paleoclimatic reconstructions and some adjustments for previous paleobotanical results of Holocene for the right-bank steppe zone of Ukraine were made basing on complex data.