

ESTIMATING POLLEN PRODUCTIVITY OF KEY PLANT TAXA AND RELEVANT SOURCE AREA OF POLLEN IN NORTHEASTERN BULGARIA

Abstract: Pollen Productivity Estimate (PPE) is one of the main parameters that is used for quantitative interpretation of fossil pollen data in palaeoecological reconstructions. A dataset of pollen counts from 8 modern pollen samples together with corresponding vegetation data, measured around each sample point in concentric rings, were collected in 2018 yr. Three submodels of the Extended R-Value (ERV) model are used to relate pollen percentages to vegetation composition. The plant abundance of each pollen type is weighed by distance in GIS environment in order to create a calibrated model. Poaceae (PPE = 1, with standard error = 0) is set as reference taxon. The aim of the present study is to calculate PPE of key plant taxa and to define the Relevant Source Area of Pollen (RSAP) in Northeastern Bulgaria. Most of the tree taxa have PPE higher than 1 (ERV3 submodel). Cichoriceae, Fabaceae and Asteraceae have lower PPE.

Author information:

Stoyan Vergiev

Senior Assistant Professor, PhD
Department of Plant Production
Technical University of Varna
✉ stvergiev@gmail.com
🌐 Bulgaria

Keywords:

Modern pollen data, Pollen-vegetation relationship, Pollen Productivity Estimates, distance-weighted plant abundance, Relevant Source Area of Pollen, Northeastern Bulgaria.

Mariana Filipova-Marinova

Professor, Dr. Sci.
✉ marianafilipova@yahoo.com
🌐 Bulgaria

Въведение

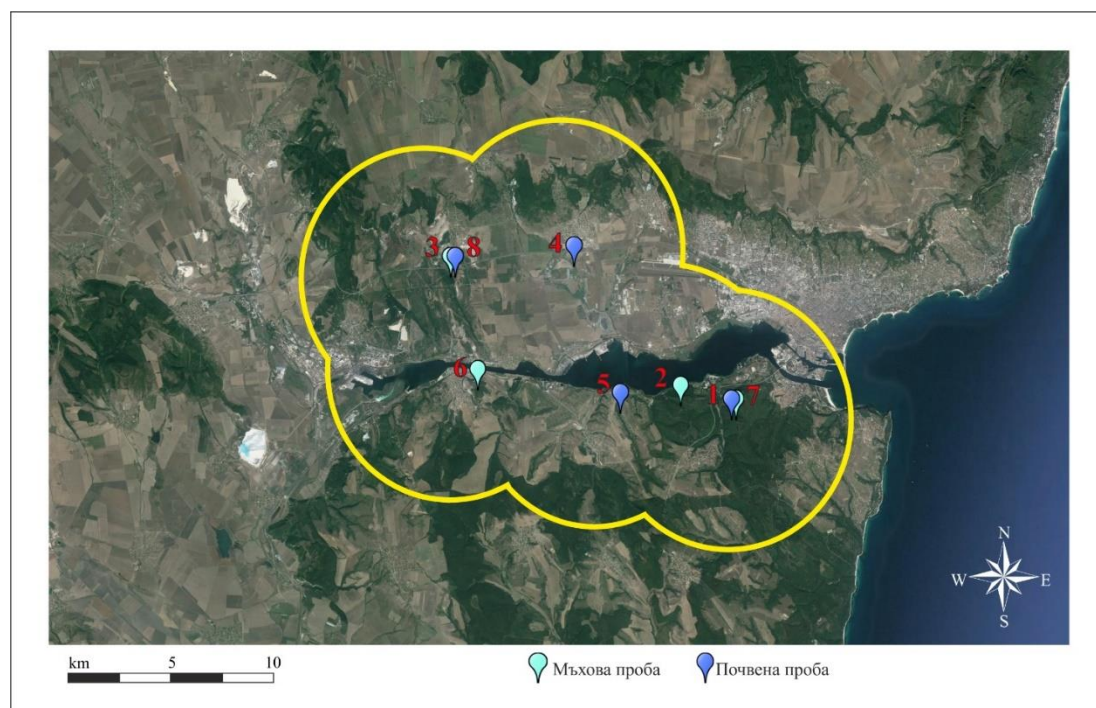
Спорово–поленовият анализ е един от основните методи, който се прилага при палеоекологични реконструкции (Overpeck *et al.*, 2013), като прецизността му зависи до голяма степен от създаването на съвременни калибрирани модели, които отразяват съотношението между съвременното поленово натоварване и произвелата го съвременна растителност (Sugita, 1994; Vergiev, 2014). За разлика от класическите качествени интерпретации на поленовите спектри, математическото моделиране предлага възможности за сравнително точни количествени реконструкции на палеорастителността на база на съвременните зависимости, като са изведени редица модели, основаващи се на съотношението полен-растителност в съвременни условия (Vergiev *et al.*, 2014). Тази връзка се разкрива при анализ на поленовите спектри от съвременни повърхностни проби, разположени в близост до водни басейни, като данните се съпоставят с растителните съобщества, произвели съответното количество полен (Andersen, 1970). От голямо значение за получаването на точни количествени реконструкции на палеорастителността при математическото моделиране в GIS среда, е да се получат точни данни за ключови параметри: прилежащата зона източник на полен (ПЗИП) и оценка на поленовата продуктивност (ОПП). За разлика от другите необходими при реконструкциите и симулациите параметри, тези два варират в зависимост от географската ширина и типовете растителни съобщества произвели полена. Това налага тези показатели да бъдат изчислени за всеки специфичен ландшафт, както и за всяка една територия и впоследствие да бъдат използвани при моделирането (Vergiev, 2014).

Теоретичните постановки и изследванията показват, че колкото по-големи са размерите на даден воден басейн, толкова от по-голяма територия той събира полен (Sugita, 1994). ПЗИП отразява територията около точката на вземане на пробата, от която е възможно да бъде продуциран полен от съответен таксон и той да се приеме за локален, т. е. се продуцира от растителността, разположена в непосредствена близост до езерото. Другата част е резултат от далечен пренос, приема се за поленово фоново натоварване и неговото количество е константно (Sugita, 1994; Vergiev *et al.*, 2014).

Настоящото изследване има за цел да определи ПЗИП за Варненско-Белославския езерен комплекс и ОПШ за 30 таксона за североизточна България за вегетационен период 2018 г., като получените данни ще послужат при проследяването на годишните вариации в тези параметри и ще даде възможност да се изготви калибриран модел, необходим при палеоекологични реконструкции.

Материал и методика

Определянето на връзката полен-растителност за 2018 г. беше осъществено на база 8 съвременни повърхностни проби разположени около Варненско-Белославския езерен комплекс: 4 повърхностни мъхови проби (ПМП) и 4 повърхностни почвени проби (ППП) (Фиг. 1).



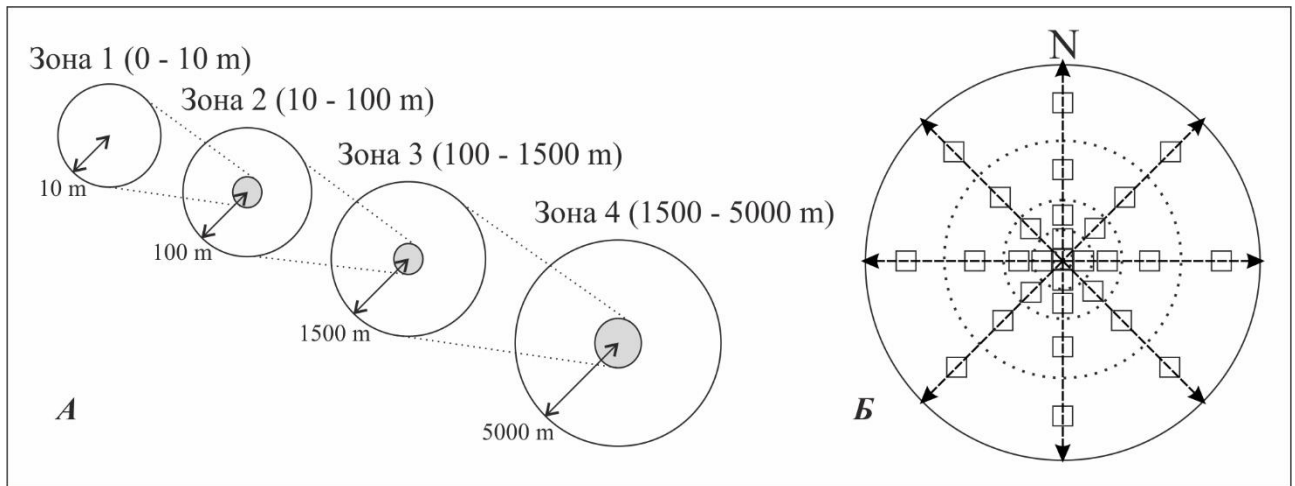
Фиг. 1. Карта на изследваната територия и местоположение на съвременните повърхностни проби около Варненско-Белославския езерен комплекс (по Vergiev, 2014).

За анализ бяха събрани на случаен принцип 5 подпроби от почвения субстрат на дълбочина максимум до 5 cm в рамките на пробна площадка с размери 1 × 1 m, подпробите са смесени в една и от нея е взето количество от 3 cm³. Няколко подпроби от различни видове мъхове са събрани в рамките на ограничена площ с размери 1 × 1 m и смесени заедно в една повърхностна мъхова проба.

Лабораторната обработка на пробите е извършена в Лабораторията по базови биологични дисциплини към катедра „Растениевъдство“, Технически университет – Варна в съответствие със стандартния ацетолузен метод на Faegri & Iversen (1989) и Birks & Birks (1980). За определяне на поленовите спектри са изготвени нетрайни глицеринови микроскопски препарати, в които са

изброявани всички срещащи се в пробите поленови зърна и спори (минимална поленова сума от 250 поленови зърна), като са определени до най-ниско таксономично ниво и отнесени към определен поленов тип.

Фитоценологичното обследване на растителността около пробите беше извършено през 2018 г. в съответствие с методиката на Bunting *et al.* (2013), модифицирана за големи сладководни басейни (Vergiev, 2014) (Фиг. 2А). Количественото участие на видовете е описано в 4 концентрични пръстена, по 8 равноотдалечени трансекта, започващи от точката на пробовземане и насочени навън и е оценено визуално в пробни площадки от 1 × 1 m за тревни съобщества и 5 × 5 m за горски и храстови съобщества, като степента на обилие е изчислена по скалата на Braun-Blanquet (1964). Пробните площадки са разположени в съответствие с методиката на Broström *et al.* (2004) (Фиг. 2Б).



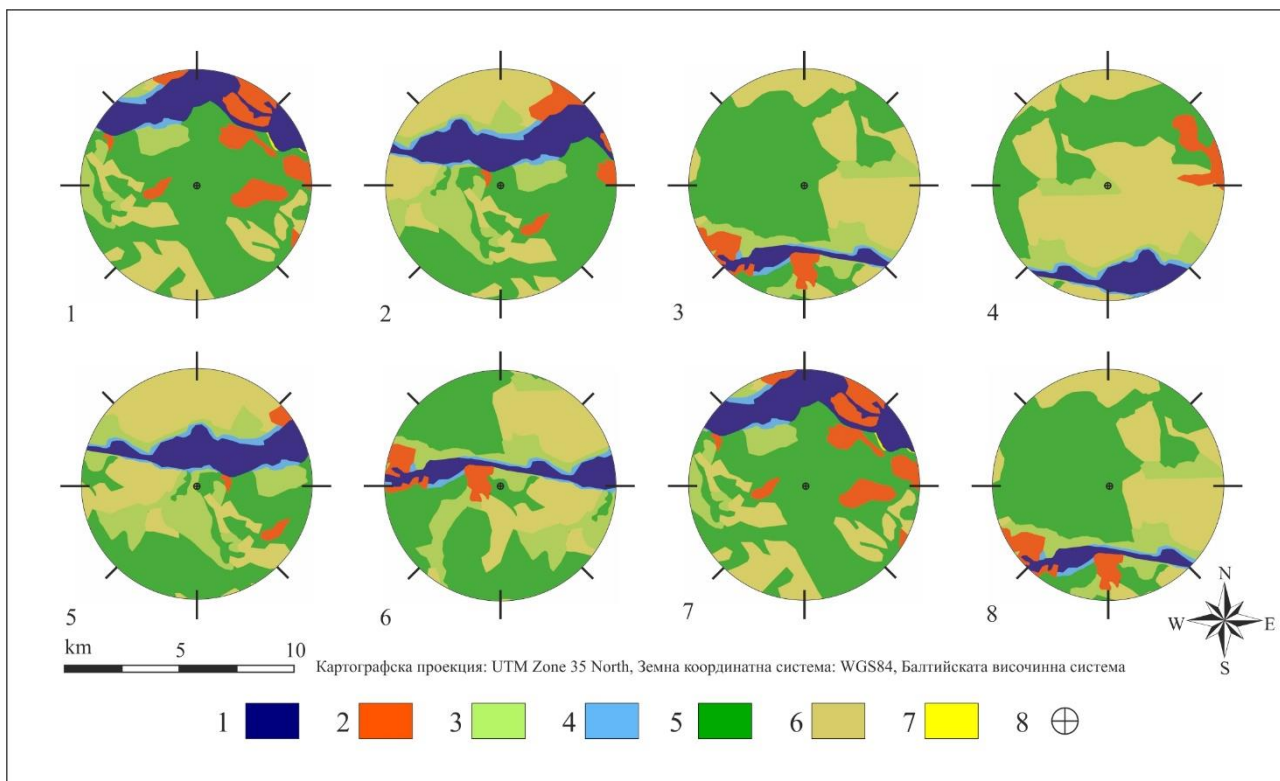
Фиг. 2. А) Методика за описание на растителността около точката на вземане на пробата (по Bunting *et al.* (2013) и Vergiev (2014)); Б) Схема на местоположението на пробните площадки в концентричните кръгове (по Broström *et al.*, 2004).

Получените данни за разпространението и покритието са дигитализирани във векторен формат с помощта на софтуерния продукт QGIS 3.0 Girona. Поленовите данни са обработени с програмата PolERV v.4.0 (HUMPOL v. 3.1) (Bunting & Middleton, 2005), основаваща се на трите подмодела на Модела ERV (Extended R-value model) (Parsons & Prentice, 1981; Prentice & Parsons, 1983; Sugita *et al.*, 1999).

Резултати и обсъждане

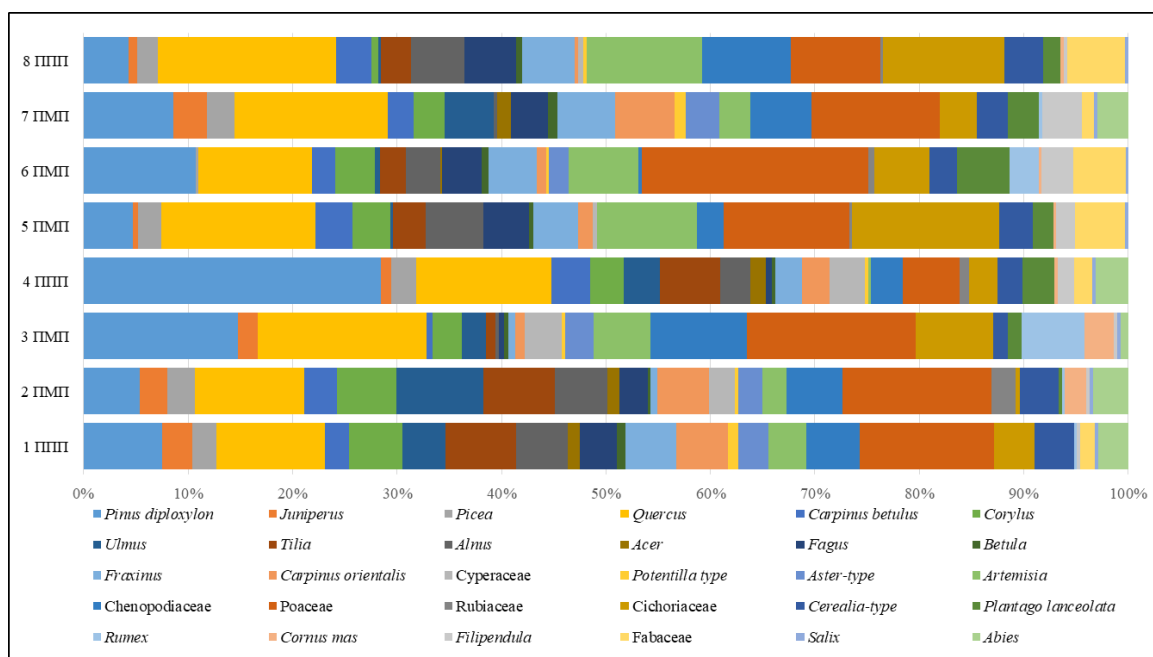
С цел да се установят годишните вариации в изследваните параметри, за места на пробовземане са използвани възможно най-близки пробни площадки до тези определени при предходни изследвания (Vergiev, 2014; Vergiev *et al.*, 2014). Беше извършен геопространствен анализ на изследваната площ (269,84 km²) с Digital Terrain Model.

Получените данни за разпространението на съвременната растителност са осреднени за всеки изследван периметър и са дигитализирани във векторен формат в GIS среда. Изчислено е процентното покритие на всеки растителен таксон и са изготвени карти за всяка една от пробите (Фиг. 3). За нуждите на симулацията на ландшафтите и тестването на математическото моделиране, изследваните територии са разделени на две основни групи: територии, непродуциращи полен (водни повърхности и градски, урбанизирани и оголени територии) и територии, продуциращи полен (смесени дъбови и габъррови гори, пасища и ливади, обработваеми площи, псамофитни съобщества и заблатени територии).



Фиг. 3. Карти на растителността около съвременните повърхностни проби
 1. Водна повърхност, 2. Урбанизирани територии, 3. Пасища/тревни съобщества,
 4. Заблатени територии, 5. Смесени дъбови и габъррови гори, 6. Обработваеми площи,
 7. Псамофитни съобщества, 8. Точка на вземане на пробата.

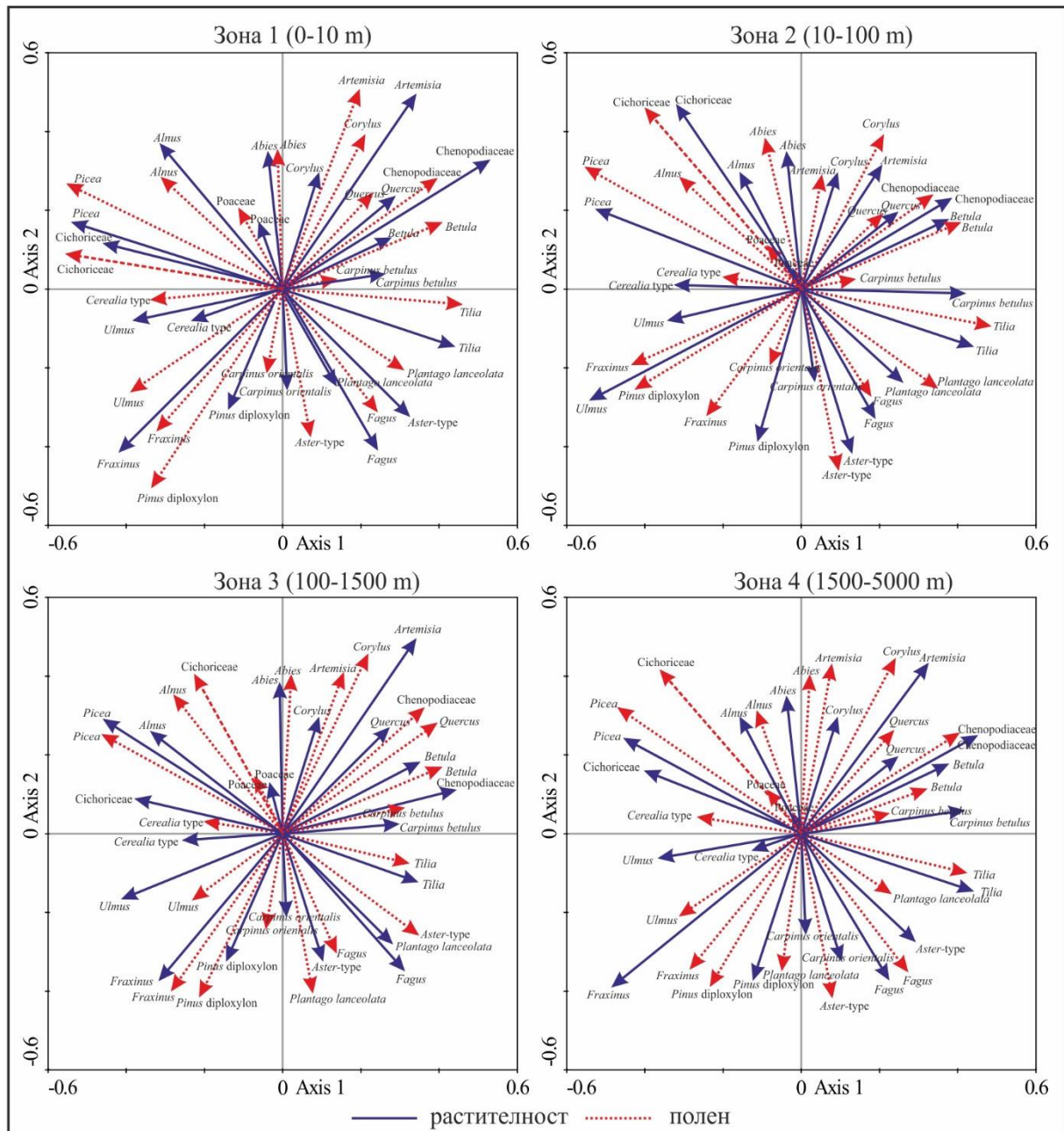
При извършения спорово-поленов анализ на съвременните повърхностни проби е отчитан броя на поленовите зърна на 30 ключови таксона, като процентното им участие във всеки поленов спектър е преизчислено до 100% (Фиг. 4). Ограничението за 30 таксона се налага от параметъра скорост на утаяване на поленовите зърна. Той се определя експериментално и наличните литературни данни са за 30 таксона (Broström *et al.*, 2004; Sugita *et al.*, 1999; Fredh *et al.*, 2012).



Фиг. 4. Поленови спектри на съвременните повърхностни проби

Извършеният многовариантен анализ на данните за растителността (в рамките на различните зони от точката за вземане на пробата) и процентното участие на всеки поленов тип в поленовите спектри определи съответствието между двата набора от данни. Анализът на остатъците (RDA) показва висока корелация и силна връзка между стойностите на полена и растителността (Фиг. 5). Математически това сходство се изчислява чрез ъгъла на общата насоченост между двата вектора и значението на двете оси.

Пермутациите на стохастичният статистичен метод „Монте Карло“ демонстрират малък ъгъл и съответно ниска стойност на p (0,01). Най-голяма степен на съответствие показват Poaceae, *Carpinus betulus*, *Fraxinus*, *Quercus* и *Betula*. Големи отклонения се отбелязват за *Artemisia*, *Plantago lanceolata*, *Aster-type* и Cichoriceae. При построяването на диаграмата собствените стойности за абсцисата са 0,07, а за ординатата – 0,11.

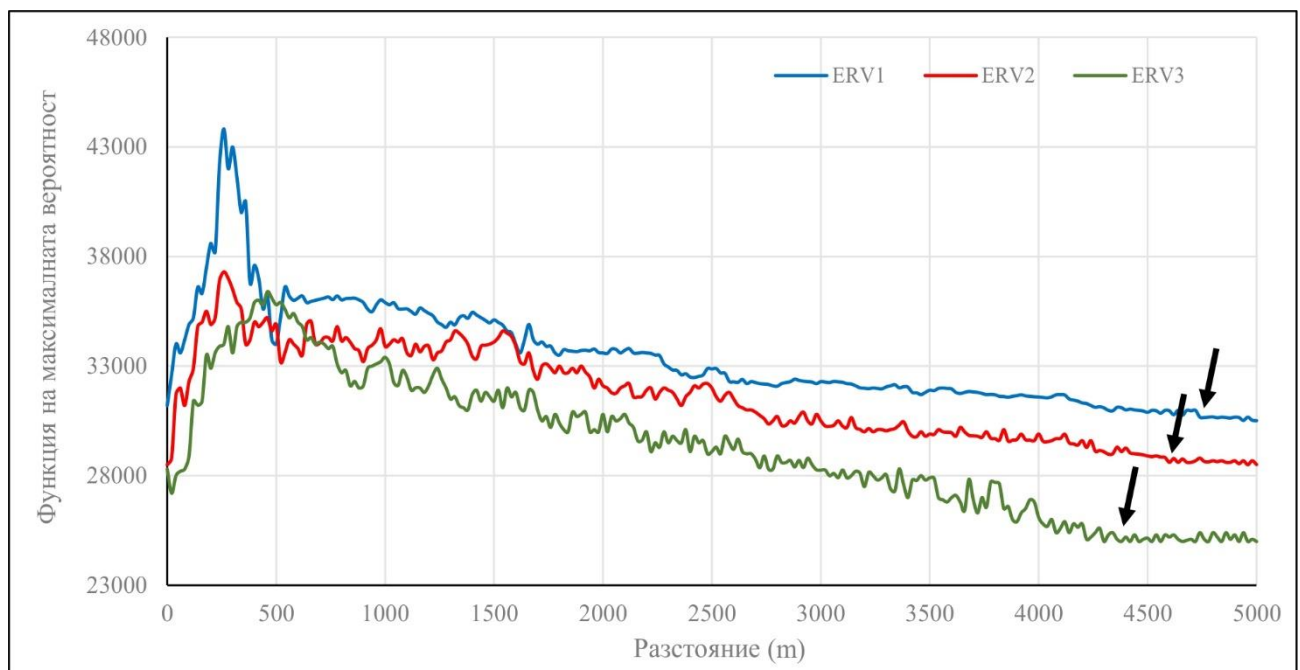


Фиг. 5. Ординационна диаграма на анализ на остатъците (RDA). Биplot на съотношението растителност-поленови данни.

ПЗИП е разстоянието при което, съотношението между представянето в растителността и поленовите спектри на всички таксони има линейна намаляваща зависимост, която е определена и от теоретичните постановки в модела ERV (Sugita, 1994). След това разстояние тази зависимост остава линейна, но кривата изпада в асимптота и осцилира около една стойност, т. е. не се подчинява на фактора тежест (Jackson & Lyford, 1999).

Използвайки алгоритъма заложен в програмата PolERV v.4.0 (HUMPOL v. 3.1) бяха изчислени стойностите на функцията на максималната вероятност между поленовите спектри и произвелата ги растителност. След нанасяне на XY диаграма спрямо разстоянието от точката на вземане на пробата беше изчертана крива и определен радиусът на зоната, оценен на разстоянието на което функцията приближава асимптота. Тествани са и трите подмодела на ERV. Те дават близки стойности, но за радиус беше приета най-ниската стойност при балансираната по отношение на стойностите логаритмична крива.

Оценката на ПЗИП варира между 4300 m и 4860 m, в зависимост от използвания подмодел. ERV1 показва най-висока стойност, както на функцията на максималната вероятност (43820), така и на радиуса – 4860 m. При ERV2 най-ниската и най-високата стойности на функцията са между 28510 и 37330. Моделът показва малка разлика, но дава сравнително голям радиус (4600 m). Подмодел 3 показва сравнително закономерно логаритмично намаляване на кривата до достигане на асимптота. Този модел демонстрира по-добър баланс на кривата и показва най-малкия радиус – 4300 m (Фиг. 6). Основавайки се на теоретичните постановки, за радиус на ПЗИП трябва да се избере 4300 m. Това е идентична стойност с предходни изследвания за същия район (Vergiev, 2014).



Фиг. 6. Криви на Функцията на максималната вероятност, съотнесена към отстоянието от точката на вземане на пробата.

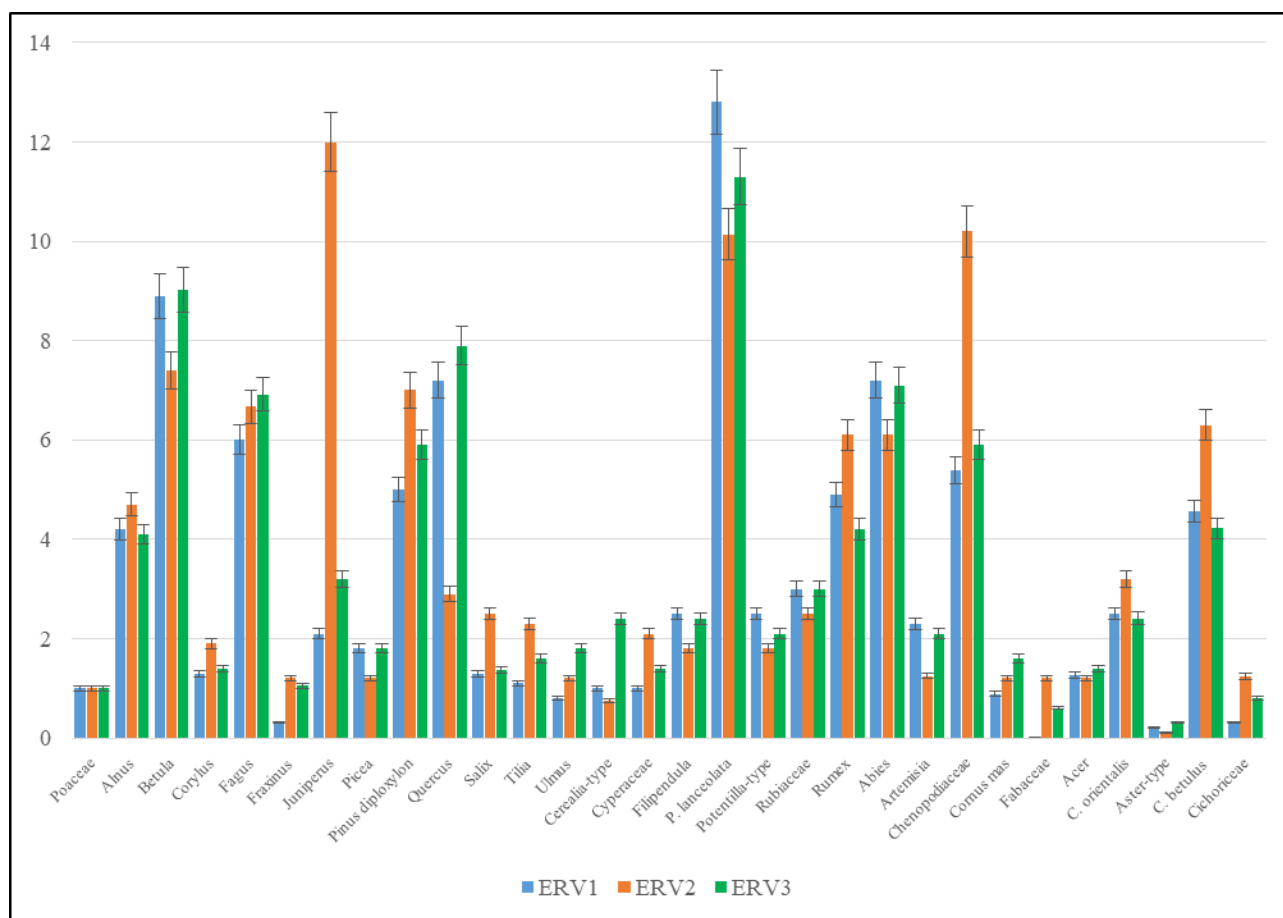
Беше извършена оценка на поленовата продуктивност на 30 основни таксона (Фиг. 7), като бяха използвани и трите подмодела на ERV. Най-добрата оценка на производителността се получава до разстоянието на ПЗИП, на въпреки това беше изчислена и осреднената производителност и стандартното отклонение за всеки таксон до 5000 m. По този начин се пренебрегва всяко изменение, което може да настъпи под въздействието на външни фактори извън зоната.

За референтен таксон е избран Poaceae и всички стойности на ОПП са изчислени спрямо него, поради междинната относителна поленова производителност, близка до 1 (Sugita, 1994). При изчисленията и на трите подмодела Poaceae има ОПП 1,0 и стандартна грешка 0.

При използването на ERV1 шест от изследваните таксони имат ОПП под тази на референтния таксон Poaceae (*Fraxinus*, *Ulmus*, *Cornus mas*, Fabaceae, Asteraceae и Cichoriceae). Всички останали показват по-високи стойности, като максимуми имат *Betula* (8,59) и *Plantago lanceolata* (12,03). *Quercus*, *Plantago lanceolata*, *Rumex* и Chenopodiaceae показват голяма стандартна грешка, което индикира за големи вариации в ОПП на тези таксони от разстоянието на ПЗИП (4300 m) до максималното разстояние на проучването (5000 m) и отвъд него.

Данните при ERV2 показват големи вариации и високи стандартни грешки. Само два от изследваните таксона имат ОПП под тази на Poaceae (Asteraceae и *Cerealia*-type). Всички останали показват по-високи стойности. Максимуми се отчитат при *Juniperus* (12,17), Chenopodiaceae (10,09) и *Plantago lanceolata* (10). При тях се отбелязва и най-голяма грешка, съответно 2,54, 2,37 и 2,79. Големите вариации и стандартни грешки определят този подмодел като най-малко приложим, което се доказва и от изчисляването на ПЗИП.

При ERV3, всички дървесни таксони показват стойности по-високи от 1,0. Единствено пониска продуктивност имат тревистите Cichoriceae (0,81), Fabaceae (0,64) и Asteraceae (0,37). Максимуми се отбелязват при *Plantago lanceolata* (11,19), *Betula* (9,1) и *Fagus* (6,87). В сравнение с другите подмодела, ERV3 показва най-ниски стойности на стандартната грешка. Това в комбинация с закономерната крива на логаритмичната вероятност показва този модел като най-подходящ за извършване на реконструкциите за района на Североизточна България.



Фиг. 7. Оценка на полевата продуктивност и допустимата грешка за 30 таксона.

При повечето дървесни таксони стойностите са по-високи от 1,0, което е в съответствие с изследвания на ОПП в различни части на Европа (Broström *et al.*, 2004). Тревистите видове, които се опрашват от насекоми по правило имат ниска поленова продуктивност (Real, 1983; Mazier *et al.*, 2008). Такъв таксон, показващ ниски стойности е Fabaceae.

Изводи

Радиусът на Прилежащата зона източник на полен за Варненско-Белославския езерен комплекс е оценен на 4300 m, което показва ниска степен на тежест на фактора отстояние от вземане на пробата. Подмодел ERV3 демонстрира по-добър баланс на кривата и показва най-малък радиус.

На базата на извършения спорово-поленов анализ на съвременни повърхностни проби и обобщени данни за растителността, е установена линейна зависимост за връзката полен-растителност за 30 растителни таксона за Североизточна България. Получените данни показват, че в сравнение с другите подмодел, ERV3 показва най-ниски стойности на стандартната грешка при ООП и демонстрира по-добър баланс на кривата и най-малък радиус. Следователно този модел е най-подходящ за извършване на палеоекологични реконструкции в района на Североизточна България.

При сравнение с изследванията от предходни вегетационни периоди, ПЗИП и ОПП показват близки стойности, като разликите попадат в рамките на стандартно допустимата грешка.

References:

1. **Overpeck, J., Webb III, T., Prentice, I. 1985.** Quantitative interpretation of fossil pollen spectra: dissimilarity coefficients and the method of modern analogs. *Quat. Res.*, 23(1): 87–108.
2. **Sugita, S. 1994.** Pollen representation of vegetation in quaternary sediments: theory and method in patchy vegetation, *J. Ecol.*, 82:881–897.
3. **Vergiev, S., 2014.** Paleoekologiya i geoarheologiya na gornopleystotshenski i holotshenski sedimenti po danni ot dulbokovodnata chast na Chernomore i Varnenskoto ezero. Ph. D. Thesis. IO-BAN, Varna, AI "prof. M. Drinov", BAN, Sofia, (in Bulgarian).
4. **Vergiev, S., Filipova-Marinova, M., Giosan, L., Pavlov, D., Slavchev, V. 2014.** Pollen-based quantitative reconstruction of holocene vegetation in Varna Lake area (Northeastern Bulgaria) using modelling and simulation approach. *Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences*, 67(6):831–834.
5. **Andersen, S. 1970.** The relative pollen productivity and pollen representation of North European trees and correction factors for tree pollen spectra, *Danm. Unders.*, 96(2):1-99.
6. **Birks, H., Birks, H. 1980.** Quaternary Palaeoecology, Edward Arnold, London.
7. **Faegri, K., Iversen, J. 1989.** Textbook of pollen analysis, John Wiley, Sons, Chichester.
8. **Bunting, M., Farrell, M., Broström, A., Hjelle, K., Mazier, F., Middleton, R., Nielsen, A., Rushton, E., Shaw, H., Twiddle, C. 2013.** Palynological perspectives on vegetation survey: a critical step for model-based reconstruction of Quaternary land cover, *Quaternary Science Reviews*, 82:41-55.
9. **Braun-Blanquet, J. 1964.** Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde. 3te aufl. Springer-Verlag, Wein.
10. **Broström, A., Sugita, S., Gaillard, M. 2004.** Pollen productivity estimates for reconstruction of past vegetation cover in the cultural landscape of Southern Sweden, Holocene, 14:371–384.
11. **Bunting, M., Middleton, R. 2005.** Modelling pollen dispersal and deposition using HUMPOL software, including simulating windroses and irregular lakes, *Rev Palaeobot Palynol*, 134:185–196.

12. **Parsons, R., Prentice, I. 1981.** Statistical approaches to R-values and the pollen-vegetation relationship, *Rev Palaeobot Palynol*, 32:127–152.
13. **Prentice, I., Parsons, R. 1983.** Maximum likelihood linear calibration of pollen spectra in terms of forest composition, *Biometrics*, 39:1051–1057.
14. **Sugita, S., Gaillard, M., Broström, A. 1999.** Landscape openness and pollen records: a simulation approach, *Holocene*, 9:409–421.
15. **Fredh, D., Broström, A., Zillén, L., Mazier, F., Rundgren, M., Lagerås, P. 2012.** Floristic diversity in the transition from traditional to modern land-use in southern Sweden A.D. 1800–2008, *Vegetation History and Archaeobotany*, 21(6):439–452.
16. **Jackson, S., Lyford, M. 1999.** Pollen dispersal models in quaternary plant ecology: assumptions, parameters, and prescriptions, *Bot. Rev.*, 65:39–75.
17. **Real, L. 1983.** *Pollination biology*, Orlando, FL: Academic Press Inc.
18. **Mazier, F., Broström, A., Gaillard, M., Sugita, S., Vittoz, P., Buttler, A. 2008.** Pollen productivity estimates and relevant source area of pollen for selected plant taxa in a pasture woodland landscape of the Jura Mountains (Switzerland). *Vegetation History and Archaeobotany*, 17(5); 479–495.