

## Палеомагнітна інформативність нового розрізу з потенційною нижньою межею квартеру лівобережного низов'я р. Дунай

*Д.В. Главацький<sup>1</sup>, Ю.М. Веклич<sup>2</sup>, В.Г. Бахмутов<sup>1</sup>, В.В. Шпира<sup>1</sup>,  
Т.В. Скарбовійчук<sup>1</sup>, В.І. Якухно<sup>1</sup>, Є.Б. Поляченко<sup>1</sup>, 2022*

<sup>1</sup>Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup>Відокремлений підрозділ «Український геологорозвідувальний інститут» Державного підприємства «Українська геологічна компанія», Київ, Україна

Надійшла 11 травня 2022 р.

Проведено пробні палеомагнітні дослідження нового розрізу з потенційним інтервалом нижньої межі квартеру — Долинське 3. У сусідньому розрізі Долинське 2 визначено межу Матуяма—Брюнес (віком ~780 тис. років тому). У фокусі цього дослідження розглянуто давніші гідроморфні ґрунти, леси і педоседименти від богданівського до крижанівського горизонтів. З огляду на попередні палеомагнітні дані за іншими розрізами субаеральної формації України, межу Гаус—Матуяма (2,58 млн років тому) можна було очікувати у верхній частині богданівського педогоризонту. Петромагнітні і магніостратиграфічні результати вивчення розрізу Долинське 3 вказують, однак, на вкрай низьку концентрацію феримагнітних мінералів і відсутність характеристичної компоненти намагніченості унаслідок впливу гідроморфізму. Лише два зразки із богданівського та березанського горизонту мають чітко визначену полярність — обернену, решта зразків виявились неінформативними і вилучені з інтерпретації. З огляду на неінформативність гідроморфних відмін палеоґрунтів і давніх лесів для магніостратиграфічних досліджень, визначення межі Гаус—Матуяма потребує додаткових, у тому числі методологічних, досліджень на інших розрізах України.

Стратиграфічна повнота зведеного розрізу Долинське, його геоморфологічне розміщення в межах пліоценових терас Дунаю та зручне географічне положення дають можливість пропонувати його до вивчення як еталонний розріз лесово-ґрунтової формації квартеру Європи. Водночас розріз Долинське 3 може виявитися повним континентальним аналогом калабрію та гелазію з обома палеомагнітними межами. За переконанням авторів, розріз Долинське потребує досліджень у багатьох аспектах квартеру, зокрема кореляції лесово-ґрунтових, алювіальних і морських фацій, впливу гідроморфізму на палеомагнітні властивості порід, «структури» кліматичної ритміки калабрію і гелазію, кореляції палеомагнітних подій, палеокліматичної ритміки та ін., на рівні окремого міжнародного проекту.

**Ключові слова:** магніостратиграфія, межа Гаус—Матуяма, інтервал нижньої межі четвертинного періоду, Дунай, гідроморфні палеоґрунти і педоседименти.

**Вступ.** Під час рекогносцирувальних досліджень будови четвертинного покриву і геоморфології лівобережного низов'я р. Дунай (південний захід Одеської обл.) у 2020 р. було виявлено, а у 2021 р. досліджено новий геологічний розріз «Долинське 3» (кар'єр, GPS: 45°29'02" N, 28°18'30" E; рис. 1). У нижній частині цей розріз стра-

тиграфічно доповнює досліджені раніше опорні розрізи четвертинних відкладів у цьому районі: «Долинське 1» [Бахмутов и др., 2005] та «Долинське 2» [Бахмутов и др., 2021; Hlavatskyi, Bakhmutov, 2021]. В останньому було встановлено межу змін епох полярності Матуяма—Брюнес (~780 тис. років тому) у нижній

частині широкинського педокомплексу.

Геологічна будова та геоморфологічне розташування нового розрізу свідчить про безперервне залягання найдавніших чет-

вертинних відкладів і, відповідно, високу ймовірність залягання тут палеомагнітної межі Гаус—Матуяма, яка на даний момент є репером нижньої межі четвертинного пе-

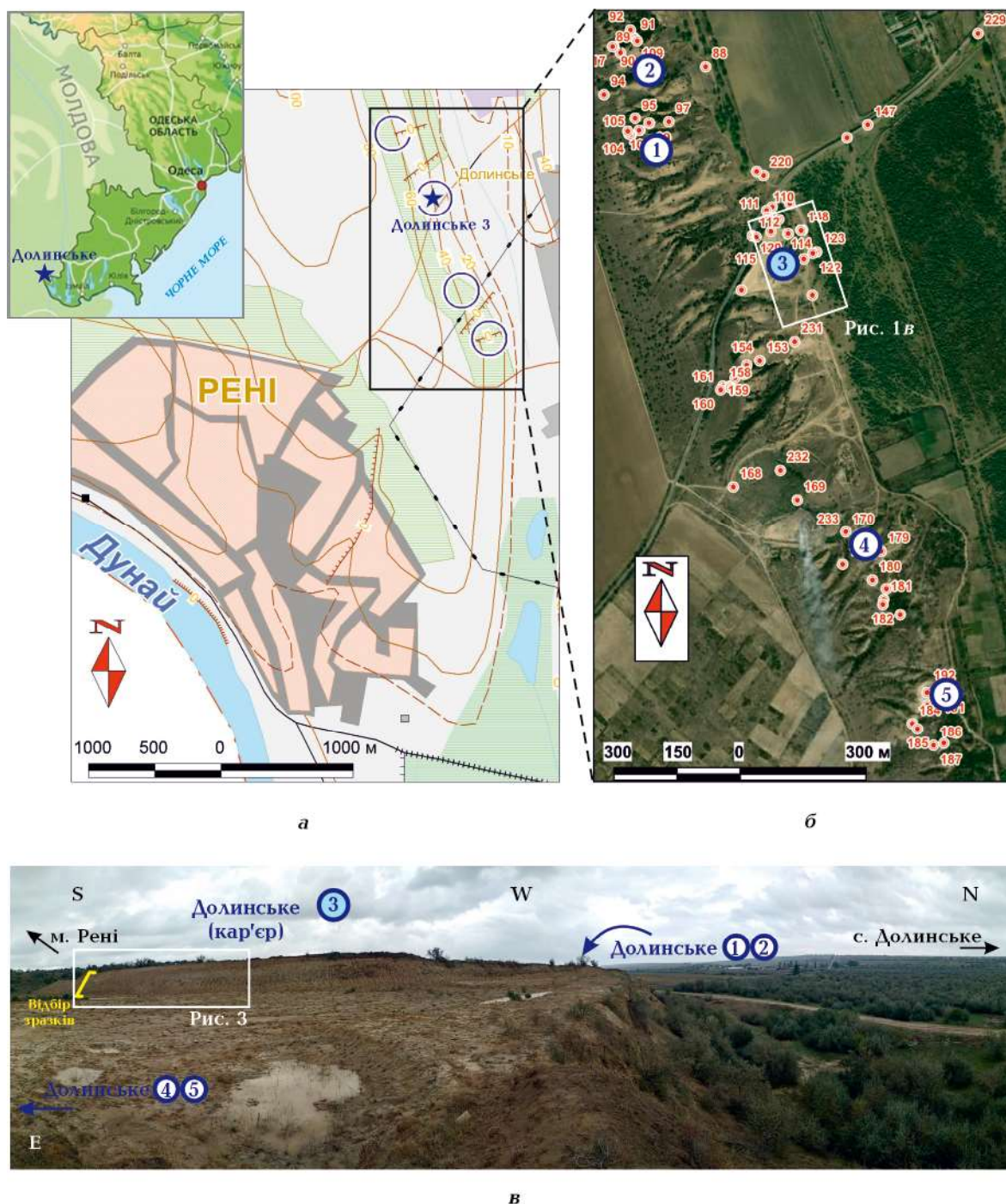


Рис. 1. Карти-схеми (а, б) та фотоплан (в) задокументованих пунктів спостереження, досліджених у 2020—2021 рр., з місцем відбору зразків (пункти 1, 2, 3), алювіальної товщі (4) і гравійників (5).

Fig. 1. Maps (а, б) and photoplan (в) of documented exposures studied in 2020—2021, indicating location of sampled sub-profiles (1, 2, 3), alluvium stratum (4) and gravel pits (5).

ріоду (далі — квартеру) — 2,58 млн років тому. Розрізи, які охоплюють безперервну стратиграфічну колонку від квартеру до пліоцену досить рідкісні і те, що новий розріз стратиграфічно доповнює раніше досліджені (у т. ч. палеомагнітним методом), засвідчує його унікальність.

З літературних джерел нам відомо лише три розрізи на території України, де було встановлено межі Гаус—Матуяма, однак вони значно віддалені від Долинського, і після 2000 р. палеомагнітні дослідження на них не проводилися (див. таблицю). Найближчі відомі відклади аналогів гелазію та калабрію (еоплейстоцену) відслонюються у стратотиповому розрізі крижанівського горизонту та куяльницьких відкладів біля с. Крижанівка (східна околиця м. Одеса), який добре вивчено у т. ч. палеомагнітним [Третяк и др., 1987] та палінологічним методами [Sirenko, 2019]. У Дунайському басейні найповнішим та найкраще вивченим розрізом четвертинних відкладів є свердловина Удварі-У2 в Угорщині глибиною 170 м, у якій визначено границю Матуяма—Брюнес, субхрони Харамільо (0,99—1,07 млн років тому) та Олдувай (1,77—1,95 млн років тому), і досліджено характерну фауну [Sümeği et al., 2018].

Водночас треба відзначити ретельну вивченість дунайських терас на території України, а також успішність палеонтологічних досліджень алювіальних відкладів цих терас [Константинова, 1967; Веклич, 1993; Гожик, 2006; Matoshko et al., 2019 та ін.]. З огляду на це, за умов додаткових досліджень, розрізи лівобережного низов'я р. Дунай можуть стати допоміжними при вивченні межі між квартером та

пліоценом континентальних фацій східноєвропейського регіону. Ці обставини спонукали нас до проведення (поновлення) подальших досліджень розрізів с. Долинське комплексом сучасних методів геологічних, геофізичних, геоморфологічних та палеогеографічних досліджень, результати яких представлені у цій публікації.

**Методика польових робіт і аналітичних досліджень.** Фактичний матеріал оснований на результатах геологічного картування (Держгеолкарта-200), геоморфологічних та палеонтологічних досліджень території, а також власних польових досліджень, які виконані авторами упродовж 2020—2021 рр. Завдяки рекогносцирувальним роботам знайдено найбільш репрезентативні розрізи, на яких виконано розчистки з субвертикальними стінками на глибину 1 м до досягнення свіжої породи. Після детального опису розрізу (з урахуванням фаціальних змін відкладів по латералі) було відібрано зразки порід на палеомагнітні аналізи. Породи відбиралися через кожні 2—2,5 м у вигляді орієнтованих монолітних блоків (штуфів) порід вагою від 1,0 до 3,0 кг для подальшого виготовлення з них зразків для палеомагнітних досліджень.

Стандартні орієнтовані зразки-моноліти кубічної форми (об'ємом 8 см<sup>3</sup>) виготовлялися з орієнтованих штуфів у лабораторних умовах шляхом вирізання діамантовим диском з орієнтованих штуфів. Для інших аналізів зразки відбиралися пошарово у пластикові пакети з інтервалом 2 см. Виміри магнітних параметрів виконувалися в палеомагнітній лабораторії Центру колективного користування магнітометричною апаратурою Інституту геофізики ім.

### Визначення межі Гаус—Матуяма у субаеральній формації України

Розріз	Рік	Положення межі Гаус—Матуяма	Посилання
Берегове (АР Крим)	<b>1987</b>	у кизил'ярському (kz) горизонті	[Третяк и др., 1987]
Велика Ланна (свердловина 11)	<b>1993</b>	дещо нижче кривлі богданівського (bd) педогоризонту	[Сиренко и др., 1993; Сиренко, 2016]
Новоселівка	<b>2000</b>	дещо нижче кривлі богданівського (bd) педогоризонту	[Вигилянская, Третяк, 2000]

*Примітка:* жирним шрифтом виділено рік, коли було вперше визначено границю Гаус—Матуяма.

С.І. Субботіна НАН України (с. Демидів Київської обл.).

Колекція зразків з нижньої частини розрізу включає п'ять орієнтованих штафів: по одному штафу із богданівського, сіверського, берегівського, березанського та крижанівського горизонтів. З огляду на сильну фрагментацію (рихлість) порід, зі штафа із берегівського горизонту вдалося виготовити лише два орієнтовані зразки, із крижанівського — три, з решти — по одному зразку.

Таким чином, усього вісім зразків піддавалися стандартній процедурі 5-ступеневого температурного розмагнічування в діапазоні температур від 210 °С до 295 °С (при вищих температурах зразки розвалюються). Розмагнічування виконувалося в установці ММТD-80 із магнітним полем усередині пермалойового екрана <10 нТл. Після кожного кроку нагрівання вимірювали залишкову намагніченість зразка на спин-магнітометрі JR-6A, встановленому всередині немагнітної кімнати MMLFC, а об'ємну магнітну сприйнятливість ( $\kappa$ ) при кімнатній температурі — на містку змінного струму MFK1-FB з метою моніторингу можливих мінералогічних змін.

Для отримання магнітних параметрів уздовж всієї товщі загалом було досліджено 20 зразків з різних стратиграфічних горизонтів. Вимірювання питомої магнітної сприйнятливості виконували у частотах 976 Гц ( $\chi_{lf}$ ) і 15616 Гц ( $\chi_{hf}$ ) на містку змінного струму MFK1-FB. За різницею цих параметрів визначають частотно-залежну магнітну сприйнятливість:  $\chi_{fd} = \chi_{lf} - \chi_{hf}$  та її відсотковий коефіцієнт  $FD \% = (\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} \cdot 100$ . Методику сучасних петромагнітних та палеомагнітних досліджень викладено у [Hlavatskyi et al., 2021].

Дослідження рельєфу та опис розрізів виконувалися Ю.М. Векличем на основі української комплексної методики палеогеографічних досліджень пізнього кайнозою, яка започаткована М.Ф. Векличем та колективом авторів з середини 1960-х років, і названий співавтором як «палеогеографічний підхід» (ПП). Теоретичні засади, положення основних методів ПП та окремі

прийоми їхнього застосування висвітлено у працях [Веклич, 1972; Веклич и др., 1982, 1983] та у монографії «Геоеоловий морфолітогенез та методологічні аспекти його дослідження» [Веклич, 2018]. В останній наведено авторський варіант стратиграфічної схеми із чинними назвами та індексами стратонів-кліматолітів [Веклич и др., 1993], які використані у цій статті.

**Геоморфологічне положення.** Досліджена ділянка повністю розташована в межах пліоценових терас Дунаю. Дунайські тераси тут прихиленого типу, які сформували низинну слабо розчленовану рівнину. Тераси складені гравійно-піщаною алювіальною товщею (потужністю 5—15 м; рис. 2), на якій залягають 3—5 циклів гідроморфних піщано-глинистих палеогрунтів-педоседиментів (~6—8 м) пліоцен(?)—четвертинного віку (рис. 3). На найвищих ділянках вони перекриваються без стратиграфічної перерви лесово-грунтовою товщею (~8—15 м) середньо-плейстоценового віку.

З початку квартеру пліоценова алювіальна рівнина зазнала розчленування малими лівобережними притоками Дунаю. В їх долинах, одним з яких є лівобережний приток Дунаю р. Анадолка, також сформувалися четвертинні тераси, які морфологічно майже не виражені у рельєфі. Глибина розчленування рельєфу цими водотоками сягає 20—30 м.

Вододільні ділянки між малими долинами є водночас поверхнею пліоценових терас Дунаю і новий розріз (Долинське 3) розташований найближче до такого вододілу. Цей опорний «вододільний» розріз розташований у борту долини р. Анадолка і у ньому відсутня (зрізана) верхівка усіх відкладів, молодших за широкинські (рис. 3).

**Опис розрізу Долинське 3.** Розріз відслонюється уздовж стінки кар'єру, розташованого праворуч спуску шосе до с. Долинське (рис. 1, в, позначка 3). Особливістю розрізу є незначний нахил верств у протилежному від долини р. Анадолка напрямку.

Опис представлено зверху вниз у на-

ступній послідовності: № з/п — генетичний та стратиграфічний індекси — потужність (метри, максимальна у розрізі) — фаціально-генетична приналежність — стислий літологічний опис:

1) ed\_sh<sub>1-3</sub> (широкинський) — 1,0 м — палеогрунт субтропічного ряду, подвійний — глина темнувато-червонувато-сіро-бура, оскольчато-грудкувата; донизу сірувато-червонувато-бура (не має помаранчевих тонів); перехід поступовий;

2) vd\_il (іллічівський) — 0,5 м — гідроморфний лес — глина сіро-сиза, щільна, слабоверстувата, оскольчата, карбонатні новоутворення; перехід поступовий;

3) ed\_kr<sub>1-3</sub> (крижанівський) — 1,3 м — палеогрунт субтропічного ряду слабо-солонцюватий, місцями подвійний — глина вохристо темнувато-сірувато-червоно-бура; перехід поступовий, подекуди різкий;

4) vd\_br<sub>1-3</sub> (березанський) — 0,8 м —



а



б

Рис. 2. Гравійники з «карпатською галькою» у нижній частині розрізу напроти с. Долинське (фото а) та алювіальна товща дунайської тераси (піски та лесоподібні супіски; фото б).

Fig. 2. Gravel pits with «Carpathian pebbles» in the lower part of the section opposite the village of Dolynske (photo a) and the alluvial stratum of the Danube terrace (sands and loess-like sands; photo b).



Рис. 3. Стратиграфічне розчленування стінки кар'єру уздовж спуску дороги до с. Долинське (розріз Долинське 3; у лівій верхній частині іллічівський (il) та широкинський (sh) стратони).

Fig. 3. Stratigraphic subdivision of the quarry section along the road to the village of Dolynske (section Dolynske 3; the Illichivsk (il) and Shyrokyne (sh) units are exposed in the upper left part of the section).

гідроморфний делювіальний лес із слідами ембріонального палеогрунту — глина піскувата верстувата, сіра, сизувато-сіра з світлуватими плямами, оскольчаста; перехід різкий;

5) ed\_bv<sub>1-3</sub> (берегівський) — 1,3 м — палеогрунт гідроморфний оглеєно-лучний буроголірного ряду, подвійний, розділений малопотужним лесом — глина піскувата, сіра, сизувато-сіра з світлуватими плямами, оскольчасто-аморфна, карбонатні новоутворення; перехід поступовий;

6) vd\_sv (сіверський) — 0,6 м — лес гідроморфний — глина піскувата оскольчасто-аморфна, аморфно-оскольчаста; подекуди верстувата; перехід чіткий;

ed, aed\_bd (богданівський) — 2 м — дворитмова товща педоседиментів на алювіальних відкладах, виділяється:

7) ed\_bd<sub>3-5</sub> — 0,8 м — палеогрунт гідроморфний оглеєний червоноколірного ряду — глина піскувата, світлувато-вохристо-бура, з сизувато-світло-сірими плямами, загалом світлувато-вохристо-бура слабоверстувата, карбонатні новоутворення (до 2 см), дробовини гідроксиду мангану (до 0,6 см); перехід поступовий через верстуватість;

8) aed\_bd<sub>1</sub> — 0,6 м — палеогрунт гідро-

морфний делювіальний лучнувато-оглеєний — глина піскувата, сіра, сизувато-сіра із світлуватими плямами, слабоверстувата, карбонатні новоутворення (до 2 см), дробовини гідроксиду мангану (до 0,6 см); перехід поступовий через верстуватість.

Нижче по схилу від цього кар'єру є ще кар'єр з видобутку піску (покинтий), у якому нижче описаних шарів спостерігається:

9) a\_kz(-bd<sub>1</sub>) — до 7 м — алювій переважно холодного етапу — товща світло-сірих, палево-сірих середньо-дрібнозернистих пісків, супісків, верстуватих, подекуди з проверстками до 0,6 м лесовидних суглинків.

10) a\_(jr?)kz — до 1 м — алювій базальний — гравеліт із дрібними (до 2 см) окатаними уламками кварцу, коричневих яшмоїдів, пісковиків та карбонатних порід (нижче — дно нижнього кар'єру).

**Магнітна сприйнятливість.** Величини низькочастотної магнітної сприйнятливості  $\chi_{lf}$  у розрізі низькі і змінюються від  $7,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  (у крижанівському горизонті) до  $15,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  (у богданівському горизонті), тобто зростають із глибиною (рис. 4, а). Значення частотно-залежної

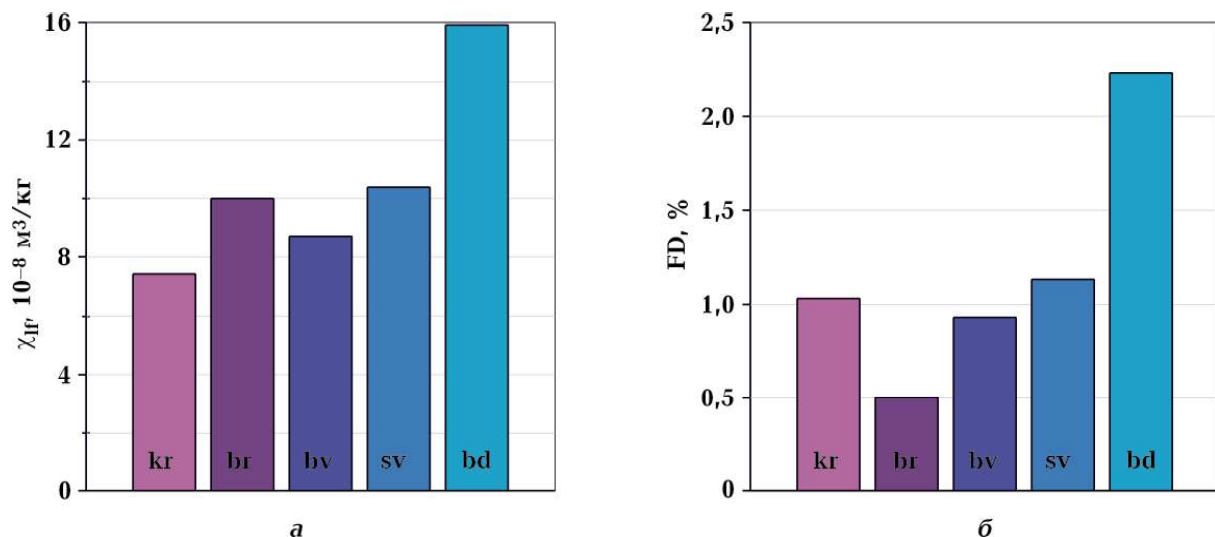


Рис. 4. Середні значення магнітної сприйнятливості (а) і частотно-залежного фактору  $FD$  % (б) для крижанівського (kr), березанського (br), берегівського (bv), сіверського (sv) і богданівського горизонтів (bd).

Fig. 4. Mean values of magnetic susceptibility (a) and frequency-dependent factor  $FD$  % (b) of the Kryzhanivka (kr), Berezan (br), Beregove (bv), Siversk (sv) and Bogdanivka (bd) units.

магнітної сприйнятливості  $\chi_{fd}$  вкрай низькі (від  $0,05 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг до  $0,35 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг), тому результати зручно представити у відсотковому відношенні у вигляді гістограми фактору  $FD$  % (рис. 4, б). Так, фактор  $FD$  % коливається від лише 0,5 % (у березанському горизонті) до 2,2 % (у богданівському горизонті), що свідчить про мінімальну концентрацію феримагнітного матеріалу та відсутність суперпарамагнітних зерен магнетиту у досліджених зразках.

**Палеомагнітні результати.** Результати температурного розмагнічування 8 зразків наведено на рис. 5. Попередні дослідження [Бахмутов и др., 2021] вказували, що температурне розмагнічування є більш інформативним, ніж розмагнічування змінним магнітним полем, що типово для інших розрізів четвертинних відкладів півдня України [Бахмутов, Главацкий, 2016].

Мультикомпонентний аналіз результатів розмагнічування показав, що природна залишкова намагніченість (normal remanent magnetisation, NRM) складається з двох компонент. Компонента низької стабільності (в'язка намагніченість, направлена за сучасним магнітним полем) виділялася при температурах до 210—240 °С. При цьому величини більш стабільної характеристичної (characteristic remanent magnetisation, ChRM) компоненти намагніченості у зразках становлять <15—30 % від початкової NRM (рис. 5, в).

Компоненти ChRM виділяються у двох зразках з богданівського та березанського горизонтів при температурах від 240 °С до 270 °С. У них стабільна високотемпературна компонента руйнується із підвищенням температури і прямує до початку координат діаграм за іншою траєкторією відносно компоненти, яка виділяється при менших температурах, що характерно для зразків з оберненою полярністю (рис. 5, а, б). У решти зразків ChRM-компонента чітко не виділяється (рис. 5, г), полярність неможливо достовірно визначити. Це може бути зумовлено нестачею феримагнітних мінералів у зразках внаслідок процесів гідроморфізму. Пряма залежність пониження концентрації магнітних мінералів, які є но-

сіями залишкової намагніченості, під дією гідроморфізму описана в літературі (див. посилання в [Hlavatskyi, Bakhmutov, 2020]). Однак природа цього явища потребує подальших поглиблених досліджень.

**Обговорення і висновки.** У розрізі Долинське 2 межею Матуяма—Брюнес було визначено дещо вище підошви ширококислого ґрунтового горизонту [Бахмутов и др., 2021; Hlavatskyi, Bakhmutov, 2021], що узгоджується з аналогічними даними за іншими дослідженими розрізами Західного Причорномор'я, Середнього Придніпров'я і Подільської височини [Главацкий и др., 2016, 2021; Hlavatskyi, 2019; Hlavatskyi, Bakhmutov, 2020; Hlavatskyi et al., 2021]. Проте за попередніми палеомагнітними дослідженнями розрізу Долинське 3 межу Гаус—Матуяма достовірно не визначено. Серед пілотних 8 зразків з пліоцен(?)—четвертинних відкладів розрізу, шість демонструють сумнівні результати, два зразки — чітку обернену полярність у богданівському ґрунтовому горизонті і березанському лесовому горизонті, що, ймовірно, вказує на їх формування під час епохи оберненої полярності Матуяма. Питання, пов'язані із хронологічним віднесенням зон оберненої полярності у богданівському та березанському горизонтах у розрізі Долинське 3, можуть бути вирішені за умови більш детального дослідження цього розрізу, у т. ч. із залученням більш високоточної апаратури.

З огляду на вкрай низьку концентрацію феримагнітного матеріалу у гідроморфних ґрунтах і глинах нижньої частини розрізу Долинське, вторинні зміни і фрагментацію відкладів, і, як наслідок, неможливість виділення первинної ChRM-компоненти намагніченості, палеомагнітну інформативність відкладів сіверського, берегівського і крижанівського горизонтів ставимо під сумнів. Доцільним є повторний відбір стратотипового розрізу берегівського горизонту в АР Крим (біля с. Берегове або Піщане), де за попередніми результатами палеомагнітних досліджень [Третьяк и др., 1987] межу Гаус—Матуяма було встановлено у кизил'ярському горизонті.

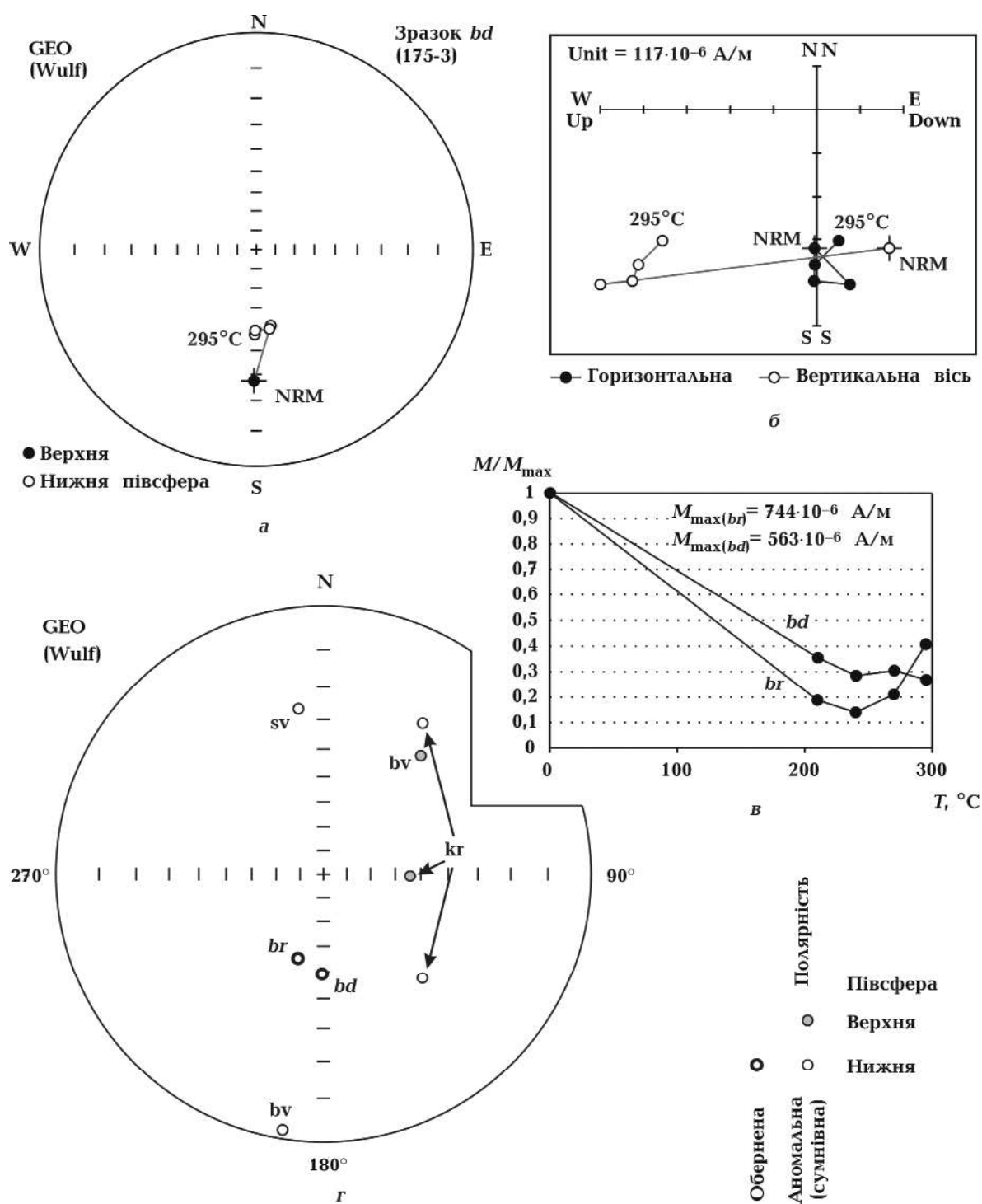


Рис. 5. Стереографічні проєкції напрямків намагніченості, розрахованих у процесі розмагнічування температурою (а), та діаграми Зйдервельда (б) зразка із богданівського горизонту розрізу Долинське 3; криві розмагнічування NRM ( $M/M_{max}$ ) зразків із богданівського (bd) і березанського (br) горизонтів (в); стереографічні проєкції напрямків векторів NRM усіх зразків з розрізу Долинське 3 (г).

Fig. 5. Stereographic projections of demagnetisation directions of a specimen from the Bogdanivka unit at the Dolynske 3 section calculated using thermal demagnetisation (a), and Zijderveld diagrams (b); NRM ( $M/M_{max}$ ) demagnetisation diagrams of specimens from the Bogdanivka (bd) and Berezan (br) units (v); stereographic projections of NRM directions of all samples from the Dolynske 3 section (r).



Також необхідно зазначити декілька теоретичних проблем української стратиграфії й періодизації, які виникли внаслідок затвердження нової нижньої межі квартеру на рівні 2,58 млн років тому:

1. Наразі затверджені лише україномовні та англійськомовні назви кліматолітів та нова нижня межа, проте Шкала квартеру України з новими межами та назвами підрозділів крупніших рангів знаходиться на стадії узгодження і затвердження.

2. Залишається дискусійним питання положення межі Гаус—Матуяма (та рубежу 2,58 млн років тому) відносно стратонів саме лесово-грунтової (не морської!) формації, а також палеокліматичної етапності. Переважна більшість таких досліджень в Україні виконана ще у 1980—1990-х роках і вони більшою мірою були орієнтовані на дослідження молодшої палеомагнітної інверсії (Матуяма—Брюнес).

Усе це спонукає до проведення нових досліджень із вказаної проблематики як на вже вивчених, так і особливо на нових розрізах. Наведені у статті результати попередніх досліджень розрізів Долинське 2 та Долинське 3 дають змогу пропонувати їх як перспективний об'єкт для всебічних досліджень міжнародного рівня з точки зору визначення обох палеомагнітних інверсій, Матуяма—Брюнес та Гаус—Матуяма, відповідно, як один з найповніших європейських континентальних аналогів (лесово-грунтової формації) калабрію та гелазію.

**Нотатка.** Під час підготовки цієї статті до друку, з 24 лютого по 01 квітня 2022 р.

палеомагнітна лабораторія Центру колективного користування магнітометричною апаратурою Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, що знаходиться у с. Демидів Київської обл., перебувала у зоні ведення бойових дій, на території станції розміщувалися російські військові. При розливі р. Ірпінь внаслідок пошкодження дамби магнітна станція не підтоплювалася; у цей час у селі було відсутнє світло- та газопостачання. Співробітники лабораторії (зокрема, співавтори цієї статті — В.В. Шпира, В.І. Якухно, Т.В. Скарбовийчук) не постраждали і встигли провести заходи із збереження дороговартісного обладнання. Станом на 14 квітня 2022 р. українські військові провели обстеження території з метою розмінування, співробітники магнітної станції оцінюють збитки, відновлюють інфраструктуру. Станом на 28 квітня 2022 р. відновлено постачання електроенергії, проводиться налагодження непошкодженої апаратури для подальшої наукової роботи.

**Подяка.** Дослідження виконувалися за підтримки гранту Національного фонду досліджень України 2020.02/0406 «Магнітні індикатори палеокліматичних змін у відкладах лесово-грунтової формації України». Виражаємо вдячність техніку магнітної станції «Демидів» Людмилі Дячук за допомогу у вимірах. Дякуємо рецензенту Ксенії Бондар та анонівному рецензенту за конструктивні коментарі. Коригування тексту англійською мовою люб'язно виконав Уільям Уімблдон.

### Список літератури

Бахмутов В.Г., Главацкий Д.В. Проблемы магнитостратиграфии плейстоценовых лесово-почвенных отложений юга Украины. *Геофиз. журн.* 2016. Т. 38. № 4. С. 73—84. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i4.2016.107801>.

Бахмутов В.Г., Главацкий Д.В., Веклич Ю.М., Шпира В.В., Якухно В.И. Граница Матуяма—Брюнес в лесово-почвенном разрезе

Долинское, южная Украина. *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43. № 5. С. 95—110. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i5.244065>.

Бахмутов В.Г., Мокряк И.Н., Скарбовийчук Т.В., Якухно В.Н. Результаты палеомагнитных исследований разреза дунайских террас и проблемы магнитостратиграфии плейстоцена Западного Причерноморья. *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 6. С. 980—991.

- Веклич М.Ф. Проблеми методики палеогеографічних досліджень. В кн.: Теоретичні і прикладні питання географії. Київ: Вид-во Київ. ун-ту, 1972. С. 45—58.
- Веклич М.Ф., Веклич Ю.М. Этапо- и страторайон лиманно-морского плейстоцена Азово-Черноморского бассейна. Киев: Изд. Ин-та географии НАН Украины, 1993. 186 с.
- Веклич М.Ф., Сиренко Н.А., Дубняк В.А., Матвишина Ж.Н., Мельничук И.В., Паришка-Турло С.И., Передерий В.И., Возгрин Б.Д., Герасименко Н.П. Методика реконструкций природы Среднего Приднепровья в позднем кайнозое. Киев: Наук. думка, 1982. 60 с.
- Веклич М.Ф., Сиренко Н.А., Матвишина Ж.Н., Мельничук И.В., Герасименко Н.П., Передерий В.И., Турло С.И. Стратиграфическая схема четвертичных отложений Украины. Стратиграфические схемы фанерозоя и докембрия Украины. Киев: Наук. думка, 1993. 76 с.
- Веклич М.Ф., Сиренко Н.А., Нагирный В.Н., Герасименко Н.П. Методические рекомендации по палеогеографическим исследованиям территории Украинской ССР в целях рационального природопользования. Научный совет по проблеме «Комплексные географические исследования УССР». Киев, 1983. 24 с.
- Веклич Ю.М. Геоэоловий морфо-літогенез та методологічні аспекти його дослідження. Київ: Изд. УкрДГРІ, 2018. 254 с.
- Вигилянская Л.И., Третьяк А.Н. Палеомагнетизм опорных разрезов плиоцен-плейстоценовых отложений северо-западного Донбасса. *Геофиз. журн.* 2000. Т. 22. № 3. С. 96—104.
- Главацкий Д.В., Кузина Д.М., Герасименко Н.П., Бахмутов В.Г. Петромагнетизм и палеомагнетизм четвертичных лессово-почвенных отложений разреза Вязовок (Приднепровская низменность). *Геофиз. журн.* 2016. Т. 38. № 6. С. 186—193. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i6.2016.91903>.
- Главацкий Д.В., Степанчук В.Н., Кузина Д.М., Поляченко Е.Б., Шпыра В.В., Скарбовийчук Т.В., Якушно В.И., Бахмутов В.Г. Петромагнитные и палеомагнитные исследования лессово-почвенных разрезов — стоек нижнего палеолита в долине Южного Буга (Меджибож, Головчинцы). *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43. № 1. С. 3—37. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v43i1.2021.225539>.
- Гожик П.Ф. Пресноводные моллюски позднего кайнозоя юга Восточной Европы. Киев, 2006. 247 с.
- Константинова Н.А. Антропоген южной Молдавии и юго-западной Украины. Москва: Наука, 1967. Т. 173. 137 с.
- Сиренко Е.А. Континентальные верхнемиоценовые-плиоценовые отложения Северной Украины. *Геология та рудоносність України.* 2016. Т. 21. № 1. С. 107—126.
- Сиренко Н.А., Возгрин Б.Д., Третьяк А.Н и др. Палеопедологическое, детальное литолого-стратиграфическое расчленение разрезов верхнекайнозойских отложений и корреляция их по площади крупномасштабной геологической съемки на междуречье Ворсклы и Северского Донца (листы: М-86-95, 108-Б, М-37-96-В, 97-А); отчет ин-та географии АН Украины. Киев, 1993. 200 с.
- Третьяк А.Н., Шевченко А.И., Дудкин В.П., Вигилянская Л.И. Палеомагнитная стратиграфия опорных разрезов позднего кайнозоя юга Украины. Киев: Изд. АН УССР, Ин-та геол. наук, 1987. 50 с.
- Hlavatskyi, D.V. (2019). Refined magnetostratigraphic position of the Shyrokyne unit in loess sequences from Central Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28(2), 301—312. <https://doi.org/10.15421/111930>.
- Hlavatskyi, D., & Bakhmutov, V. (2021). Early-Middle Pleistocene Magnetostratigraphic and Rock Magnetic Records of the Dolynske Section (Lower Danube, Ukraine) and Their Application to the Correlation of Loess-Palaeosol Sequences in Eastern and South-Eastern Europe. *Quaternary*, 4(4), 43. <https://doi.org/10.3390/quat4040043>.
- Hlavatskyi, D.V., & Bakhmutov, V.G. (2020). Magnetostratigraphy and magnetic susceptibility of the best developed Pleistocene loess-palaeosol sequences of Ukraine: implications for correlation and proposed chronostratigraphic models. *Geological Quarterly*,

- 64(3), 723—753. <https://doi.org/10.7306/gq.1544>.
- Hlavatskyi, D.V., Gerasimenko, N.P., Bakhmutov, V.G., Bonchkovskyi, O.S., Poliachenko, I.B., Shpyra, V.V., Mychak, S.V., Kravchuk, I.V., & Cherkes, S.I. (2021). Significance of the Ukrainian loess-palaeosol sequences for Pleistocene climate reconstructions: rock magnetic, palaeosol and pollen proxies. *Geofizicheskii Zhurnal*, 43(3), 3—26. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236378>.
- Matoshko, A., Matoshko, A., & de Leeuw, A. (2019). The Plio-Pleistocene Demise of the East Carpathian Foreland Fluvial System and Arrival of the Paleo-Danube to the Black Sea. *Geologica Carpathica*, 70(2), 91—112. <https://doi.org/10.2478/geoca-2019-0006>.
- Sirenko, O. (2019). Palynological data on the description of the Gelasian and Calabrian analogues in the stratotype section of the Kuyalnik deposits near Kryzhanivka village (Odessa region). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28(4), 727—737. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/111968>.
- Sümeği, P., Gulyás, S., Molnár, D., Sümeği, B.P., Almond, P.C., Vandenberghe, J., Zhou, L., Pál-Molnár, E., Törőcsik, T., Hao, Q., Smalley, I., Molnár, M., & Marsi, I. (2018). New chronology of the best developed loess/palaeosol sequence of Hungary capturing the past 1.1 ma: Implications for correlation and proposed pan-Eurasian stratigraphic schemes. *Quaternary Science Reviews*, 191, 144—166. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.04.012>.

## Palaeomagnetic suitability of a new section with a potential lower boundary for the Quaternary on the left bank of the lower River Danube

**D.V. Hlavatskyi<sup>1</sup>, Y.M. Veklych<sup>2</sup>, V.G. Bakhmutov<sup>1</sup>, V.V. Shpyra<sup>1</sup>,  
T.V. Skarboviychuk<sup>1</sup>, V.I. Yakukhno<sup>1</sup>, I.B. Poliachenko<sup>1</sup>, 2022**

<sup>1</sup>S.I. Subbotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Separate subdivision «Ukrainian Geological Prospecting Institute» of the State Enterprise «Ukrainian Geological Company», Kyiv, Ukraine

A first palaeomagnetic study has been carried out on a new section with a potential lower boundary interval for the Quaternary, Dolynske 3. Recently, the Matuyama-Brunhes boundary (at 780 ka) was detected in the adjacent section of Dolynske 2. The current study focuses on the hydromorphic palaeosols, loesses and pedosediments of the Bogdanivka to Kryzhanivka units. Taking into account previous palaeomagnetic data from other sections of the loess/soil formation of Ukraine, the Gauss-Matuyama boundary (2.58 Ma) could be expected to be at the top of the Bogdanivka soil unit. However, rock magnetic and magnetostratigraphic results from the Dolynske 3 section indicate an extremely low concentration of the ferrimagnetic minerals and the absence of a characteristic component of magnetisation due to the influence of hydromorphism. Only two samples from the Bogdanivka and Berezan units show a clearly defined reversed polarity; the rest of the samples were uninformative and were rejected from the interpretation. Given the unsuitability of hydromorphic palaeosols and loesses for magnetostratigraphic studies, the determination of the Gauss-Matuyama boundary requires additional, including methodological, research on other sections of Ukraine.

The stratigraphic completeness of the composite Dolynske section, its geomorphological location within the Pliocene Danube terraces and convenient geographical setting allow offering it for study as a reference section for the loess/soil formation in Europe. In addition, the Dolynske 3 section potentially may be regarded as a complete continental analogue of the Calabrian and Gelasian with both palaeomagnetic boundaries. Thus, the Dolynske section deserves research on many aspects of the Quaternary, including

correlations of loess-palaeosol, alluvial and marine facies, the influence of hydromorphism on palaeomagnetic properties of rocks, «structures» of climatic rhythms in the Calabrian and Gelasian, as part of a separate international project.

**Key words:** magnetostratigraphy, Gauss-Matuyama boundary, Gelasian, Calabrian, Danube, hydromorphic palaeosols and pedosediments.

### References

- Bakhmutov, V.G., & Glavatskiy, D.V. (2016). Problems of magnetostratigraphy of Pleistocene loess-soil deposits in the South of Ukraine. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 38(4), 59—75. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i4.2016.107801> (in Russian).
- Bakhmutov, V.G., Hlavatskiy, D.V., Veklych, Y.M., Shpyra, V.V., & Yakukhno, V.I. (2021). The Matuyama—Brunhes boundary in the loess-palaeosol sequence of Dolynske, southern Ukraine. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 43(5), 95—110. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i5.244065> (in Russian).
- Bakhmutov, V.G., Mokriak, I.N., Skarboviychuk, T.V., & Yakukhno, V.I. (2005). Results of palaeomagnetic studies of Danube terraces sections and problems of Pleistocene magnetostratigraphy of the west Black Sea region. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 25(6), 980—991 (in Russian).
- Veklich, M.F. (1972). Problems of paleogeographical research methods. In Theoretical and applied issues of geography (pp. 45—58). Kyiv: Kyiv University Publishing House (in Ukrainian).
- Veklich, M.F., & Veklich, Y.M. (1993). *Stage and stratoregion of the estuary-marine Pleistocene of the Azov-Black Sea Basin*. Kyiv: Publ. of the Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, 186 p. (in Russian).
- Veklich, M.F., Sirenko, N.A., Dubnyak, V.A., Matviishina, Zh.N., Melnichuk, I.V., Parishkura-Turlo, S.I., Perederiy, V.I., Vozgrin, B.D., & Gerasimenko, N.P. (1982). Methodology for reconstructing the landscapes of the Middle Dnieper region in the late Cenozoic. Kiev: Naukova Dumka, 60 p. (in Russian).
- Veklich, M.F., Sirenko, N.A., Matviishyna, Zh.N., Gerasimenko, N.P., Perederiy, V.I., & Turlo, S.I. (1993). The Pleistocene stratigraphical framework of the Ukraine. Stratigraphic schemes of Phanerozoic and Precambrian. Kiev: Naukova Dumka, 76 p. (in Russian).
- Veklich, M.F., Sirenko, N.A., Nagirnyi, V.N., & Gerasimenko, N.P. (1983). Methodological recommendations for paleogeographic research of the territory of the Ukrainian SSR for the purpose of rational nature management. Scientific Council on the issue of «Complex Geographical Research of the Ukrainian SSR». Kyiv. 24 p. (in Russian).
- Veklych, Yu.M. (2018). *Geoeolian morpho-lithogenesis and methodological aspects of its research*. Kyiv: Publ. of the UkrDGRI, 254 p. (in Ukrainian).
- Vigilyanskaya, L.I., & Tretyak, A.N. (2000). Palaeomagnetism of key Pliocene-Pleistocene sections in North-Western Donbass. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 22(3), 96—104 (in Russian).
- Hlavatskiy, D.V., Kuzina, D.M., Gerasimenko, N.P., & Bakhmutov, V.G. (2016). Petromagnetism and paleomagnetism of Quaternary loess-soil sediments of Vyazivok section (Dnieper Lowland). *Geofizicheskiy Zhurnal*, 38(6), 186—193. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i6.2016.91903> (in Russian).
- Hlavatskiy, D.V., Stepanchuk, V.N., Kuzina, D.M., Poliachenko, I.B., Shpyra, V.V., Skarboviychuk, T.V., Yakukhno, V.I., & Bakhmutov, V.G. (2021). Rock magnetic and palaeomagnetic studies of loess-palaeosol sections — Lower Palaeolithic sites within the Southern Bug Valley (Medzhybizh, Holovchyntsi). *Geofizicheskiy Zhurnal*, 43(1), 3—37. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v43i1.2021.225539> (in Russian).
- Gozhik, P.F. (2006). *Freshwater mollusks of the late Cenozoic of the south of Eastern Europe*. Kyiv, 247 p. (in Russian).
- Konstantinova, N.A. (1967). Antropogene of the Southern Moldavia and South-Western Ukraine. Moscow: Nauka, Vol. 173, 138 p. (in Russian).
- Sirenko, E.A. (2016). Continental upper Miocene-Pliocene deposits of the Northern Ukraine.

- Geology and Ore Content of Ukraine, 21(1), 107—126 (in Russian).
- Sirenko, N.A., Vozgrin, B.D., Tretyak, A.N. et al. (1993). Palaeopedological, detailed lithological and stratigraphic subdivision of sections of Upper Cenozoic deposits and their correlation across the area of a large-scale geological survey in the interfluvium of the Vorskla and Seversky Donets (sheets: M-86- 95, 108-B, M-37-96-B, 97-A): report of the Institute of Geography of the Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, 200 p. (in Russian).
- Tretyak, A.N., Shevchenko, A.I., Dudkin, V.P., & Vigilyanskaya, L.I. (1987). Paleomagnetic stratigraphy of key Late Cenozoic sections of the south of Ukraine. Kyiv: Publication of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Institute of Geological Sciences, 50 p. (in Russian).
- Hlavatskyi, D.V. (2019). Refined magnetostratigraphic position of the Shyrokyne unit in loess sequences from Central Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28(2), 301—312. <https://doi.org/10.15421/111930>.
- Hlavatskyi, D., & Bakhmutov, V. (2021). Early-Middle Pleistocene Magnetostratigraphic and Rock Magnetic Records of the Dolynske Section (Lower Danube, Ukraine) and Their Application to the Correlation of Loess-Palaeosol Sequences in Eastern and South-Eastern Europe. *Quaternary*, 4(4), 43. <https://doi.org/10.3390/quat4040043>.
- Hlavatskyi, D.V., & Bakhmutov, V.G. (2020). Magnetostratigraphy and magnetic susceptibility of the best developed Pleistocene loess-palaeosol sequences of Ukraine: implications for correlation and proposed chronostratigraphic models. *Geological Quarterly*, 64(3), 723—753. <https://doi.org/10.7306/gq.1544>.
- Hlavatskyi, D.V., Gerasimenko, N.P., Bakhmutov, V.G., Bonchkovskyi, O.S., Poliachenko, I.B., Shpyra, V.V., Mychak, S.V., Kravchuk, I.V., & Cherkes, S.I. (2021). Significance of the Ukrainian loess-palaeosol sequences for Pleistocene climate reconstructions: rock magnetic, palaeosol and pollen proxies. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 43(3), 3—26. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236378>.
- Matoshko, A., Matoshko, A., & de Leeuw, A. (2019). The Plio-Pleistocene Demise of the East Carpathian Foreland Fluvial System and Arrival of the Paleo-Danube to the Black Sea. *Geologica Carpathica*, 70(2), 91—112. <https://doi.org/10.2478/geoca-2019-0006>.
- Sirenko, O. (2019). Palynological data on the description of the Gelasian and Calabrian analogues in the stratotype section of the Kuyalnik deposits near Kryzhanivka village (Odessa region). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28(4), 727—737. <https://doi.org/10.15421/111968>.
- Sümeği, P., Gulyás, S., Molnár, D., Sümeği, B.P., Almond, P.C., Vandenberghe, J., Zhou, L., Pál-Molnár, E., Törőcsik, T., Hao, Q., Smalley, I., Molnár, M., & Marsi, I. (2018). New chronology of the best developed loess/paleosol sequence of Hungary capturing the past 1.1 ma: Implications for correlation and proposed pan-Eurasian stratigraphic schemes. *Quaternary Science Reviews*, 191, 144—166. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.04.012>.