Geology • Geography Dnipro university bulletin

Journal home page: geology-dnu-dp.ua

ISSN 2313-2159 (print)
ISSN 2409-9864(online)

Dniprop. Univer.bulletin.
Geology, geography.,
26(1), 3-16.

doi: 10.15421/111801

Bonchkovskyi O.S.

Dniprop. Univer. bulletin, Geology, geography., 26(1), 3-16.

Палеокріогенні процеси на території Волинської височини

О. С. Бончковський

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна.
e-mail: geobos2013@gmail.com

Received 22.11.2017

Received in revised form 17.01.2018

Accepted 15.02.2018

Анотація. За результатами польового вивчення 13 розрізів лесово-грунтових відкладів Волинської височини встановлено положення кріогенних горизонтів та рівнів кріогенезу цієї території щодо таксонів стратиграфічної схеми НСК України та схеми палеокріогенних етапів А. Богуцького. Простежено коротко-періодичну етапність розвитку процесів кріогенезу. Часові відрізки форму-

вання кріогенних структур – кріоетапи – запропоновано поділяти на чотири ранги залежно від ландшафтно-кліматичних та геокріологічних умов формування кріоструктур і співвідношення кріоетапів із таксонами схеми палеогеографічної етапності України. Показано відміни мерзлотних структур і деформацій для кріоетапів різного рангу, а також їх еволюцію від раннього до пізнього неоплейстоцену. Проаналізовано генетичні типи кріогенних структур та деформацій для кожного кріоетапу, що мав місце на території Волинської височини, на основі чого реконструйовано загальні геокріологічні умови індивідуальних кріоетапів. Простежено закономірність розширення генетичного набору кріоструктур та їх розмірів від початку до кінця плейстоцену, що пов'язано зі зростанням суворості клімату.

Ключові слова: кріогенез, кріогенні структури та деформації, палеокріогенний етап, кріостадія.

Paleocryogenic processes in the Volyn' Upland

O.S. Bonchkovskyi

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine.
e-mail: geobos2013@gmail.com

Abstract. On the basis of the study of 13 Quaternary loess-soil sections in the Volyn' Upland, cryogenic horizons of different ranges have been recorded and positioned within the Quaternary stratigraphical framework of Ukraine. A short-period cyclicality in development of cryogenic processes has been revealed. Time units of formation of cryostructures – 'cryostages' – have been ranged into four categories in correspondence with landscape-climate conditions of their formation and their relations with the units of paleogeographic framework of Ukraine. The differences in cryostructures and cryodeformations for each category of cryostages are shown. A variety of cryostructures and their sizes became larger from the beginning to the end of the Pleistocene that reflects an increase in the climate harshness. Six cryogenic stages were revealed for Early Pleistocene: mr₂, sl, lb_{1b1-b2}, lb₂, lb_{3b1-b2}, tl. At these times, small ice wedges, ground wedges, solifluction and different types of postcryogenic textures were formed. The cryogenic processes during the Middle Pleistocene developed more intensely. Six Middle Pleistocene cryostages were established: zv₂, zv_{3b1-b2}, or, pt₂, pt_{3b-c}, dn. The complex of cryostructures of the majority of these stages include large ice wedges, different types of ground wedges, diverse solifluction forms, and tundra spots-medallions. The largest cryogenic structures and deformations are revealed for the cold time spans during the Late Pleistocene: ice wedges (reach up to 5 m in depth), tundra spots-medallions, sand wedges, solifluction and congelifluction forms, different types of ground wedges and postcryogenic textures. Sixteen Last Pleistocene cryostages are revealed: kd_{1a-b}, kd_{1b1-b2}, kd₂, kd_{3b1-b2}, ts, pl_{1a-b}, pl_{1b1-b2}, pl_{1b-c}, pl₂, pl_{3b1-b2}, ud, vt_{1b1-b2}, vt₂, bg, pc₁, pc₃. The specific features and sizes of cryostructures and cryodeformation of each cold stage, substage and phase have been used as a base for reconstruction of their geocryological conditions.

Keywords: cryogenesis, cryogenic structures and deformations, palaeocryogenic stage, substage and phase.

Вступ. Волинська височина, яка займає північно-західне положення у межах України, впродовж плейстоцену вирізнялася високою зволоже-

ністю території і являє собою своєрідний "клондайк" палеомерзлотних структур. Тут представлена велика кількість рівнів кріогенезу, для кожного з яких типова значна різноманітність форм

кріоструктур. Це свідчить про широкий генетичний набір кріогенних процесів. Вологість палеоклімату зумовила й активне кріогідратаційне вивітрювання, яке простежується за структурними ознаками відкладів та ґрунтів. Головні рівні кріоструктур у межах Волинської височини виділені достатньо давно, однак досі залишається відкритим питання короткоперіодичної етапності розвитку плейстоценового кріогенезу і детальна генетична класифікація палеомерзлотних структур та деформацій.

Мета статті – встановлення короткоперіодичних етапів розвитку палеомерзлотних процесів, що сприятиме вирішенню таких питань: обґрунтування короткоперіодичної етапності розвитку давньої природи, застосовуванню отриманих знань в інженерній геології, геоморфології, ерозієзнавстві, ґрунтознавстві та ін.

Аналіз публікацій. Палеокріогенні процеси на території Волинської височини найбільш детально вивчав А. Б. Богуцький – автор регіональної стратиграфічної схеми та схеми палеокріогенних етапів Волино-Поділля (Bogutski, 1987, 1990, 2014). А. Б. Богуцький виділив дев'ять головних кріогенних горизонтів, визначив генезис властивих їм кріоструктур та кріодеформацій. Палеокріогенез у межах Волинської височини досліджували, головним чином, представники львівської та московської палеогеографічних наукових шкіл. Зокрема, В. Нечаєв реконструював палеокріологічні умови для холодних етапів пізнього плейстоцену (Nechaev, 1983); О. Цацкін досліджував процеси педогенезу в умовах багаторічної мерзлоти (Tsatskin, 1980); П. Волошин оцінював вплив палеокріогенних процесів на інженерно-геологічні властивості порід (Voloshin, 1987); Т. Морозова вивчала процеси кріогенного педометаморфізму у похованих ґрунтах (Morozova, 1981). В останні роки з'явилися публікації, присвячені посткріогенному мікрорельєфу, що виявляється на денній поверхні: (Chupylo, 2006; Novak, Fedorovych, 2015; Bonchkovskiy, 2016, 2017a).

Матеріали та методи. На основі кріостратиграфічного та палеогеографічного підходів досліджено 12 чітко стратифікованих розрізів лесово-ґрунтової серії Волинської височини (Боремель, Новий Тік, Баківці, Смиків, Шибин, Новостав, Колодежі, Ковбань, Брищі, Дерев'янче, Країв, Рясники), у яких простежено стадії та фази розвитку кріогенезу і у лесових, і всередині ґрунтових кліматолітів. Кріостратиграфічний підхід ґрунтується на визначенні положення кріоструктур у геологічному розрізі відносно стратиграфічних одиниць та їх підрозділів. Це дало змогу визначити головні кріогенні горизонти (рівні кріоструктур) відповідно до Стратиграфічної схеми

НСК України та її модифікованого варіанта (Matviishina et al., 2010). Палеогеографічний підхід у геокріологічних дослідженнях ґрунтується на встановленні палеоландшафтно-кліматичних умов формування мерзлотних структур у їх послідовності.

Дослідження палеокріогенних структур проводилося у польовий і камеральний етапи. У польових умовах вивчалися морфометричні й морфологічні особливості мерзлотних структур та деформацій, встановлювалося їх стратиграфічне положення, особливості заповнювача та приконтантної зони, текстури та потужність кріодеформацій, залежність палеокріогенних структур від палеорельєфу, і, таким чином, попередньо – генезис, а також характер взаємозв'язку між різними типами кріогенезу та особливості повторного епігенетичного впливу. Значну увагу було приділено палеокріогенним індикаторам, що відображені у структурно-текстурних ознаках порід. У камеральних умовах за допомогою методу аналогій остаточно встановлювався генетичний тип кріогенних структур та деформацій, проводилася кореляція із розрізами інших районів, розроблялися геокріологічні та палеокліматичні реконструкції.

Окремо зупинимось на характеристиці типів палеомерзлотних структур, які зустрічалися під час вивчення лесово-ґрунтової формації Волинської височини. Було виявлено такі типи палеомерзлотних утворень: кріогенні структури, текстури, деформації, термоерозійні та термокарстові форми тощо, генетичну інтерпретацію яких здійснено відповідно до їх сучасних аналогів. До кріогенних структур відносять (Romanovskiy, 1977, Kudryavtsev, 1978, Nechaev, 1983, Kapylyanskaya, Tarnogradskiy, 1973, Vandenberghe, 1992; Vandenberghe, Kasse, 1989) полігональні утворення: псевдоморфози за давнім льодом, первинно-ґрунтові жили, первинно-піщані жили та перехідні форми. Псевдоморфози за давнім льодом виявлені у верхньоплейстоценових відкладах, характеризуються такими морфологічними рисами: крупні вертикальні (до 3–5 м) і горизонтальні розміри (у гирловій частині до 2–3 м), клиноподібна форма двох'ярусної будови (із верхньою чашоподібною широкою частиною, приуроченою до похованого діяльного шару, та нижньою – вузькою клиноподібною приуроченою до багаторічно мерзлого шару), а також наявність полігональних валиків (текстур випирання).

Псевдоморфози – важливі індикатори суцільного поширення багаторічної мерзлоти, які формуються за середньорічних температур, за різними авторами, менше -3 °C (Romanovskiy, 1993, Kudryavtsev, 1978), менше -5 °C (Nechaev,

1981, Velichko et al, 2004), менше -8°C (French, 2007). Первинно-грунтові жили (ПГЖ) утворюються за рахунок виникнення значних градієнтів температур у процесі промерзання верхньої частини ґрунту чи породи у менш холодному, але більш континентальному кліматі. ПГЖ можуть досягати глибини 3 м і формують дрібні полігони (до 5 м шириною). ПГЖ формуються у широкому спектрі ландшафтно-кліматичних умов – від дискретної мерзлоти до глибокого сезонного промерзання. Це визначає актуальність розроблення детальної класифікації ПГЖ з метою палеогеографічних інтерпретацій. Виділяють (Katasonov, 1973, Каруляянська, Тарноградський 1973), такі класи похованих ПГЖ: відгинання, заповнення та схилі (косми). ПГЖ заповнення класифікують на однократні та багатократні, останні, у свою чергу, поділяють (Bonchkovskiy, 2016) на клиноподібні одноярусні, клиноподібні двох'ярусні, бахромчасті, тріщини-канави тощо. Лише клиноподібні двох'ярусні ПГЖ та ПГЖ із значними розширенням у їх тілі є надійними індикаторами багаторічної мерзлоти.

Густа мережа морозобійних тріщин спричинює осідання донизу ослаблених блоків ґрунту чи породи, з утворенням котлів просідання (Kudryavtsev, 1978, Romanovskiy, 1977). У викопному стані виявлено також тріщини усихання і кріогенні тріщини усихання (кріодегідратаційні тріщини) (Popov, Rozenbaum, Tumel, 1985, Danilov, 1990). Останні утворюються в умовах висихання діяльного чи сезонно-мерзлого шару завдяки міграції вільної та плівкової вологи до фронту промерзання. У більшості випадків такі тріщини неглибокі (до 0,5 м), підкреслені інкрустаціями колоїдів мангану чи заліза. Механізм утворення первинно-піщаних жил (ППЖ) подібний до такого ПГЖ, однак тріщини заповнюються еоловими пісками, що свідчить про їх формування в умовах активної акумуляції пісків за сильних вітрів, зазвичай в умовах багаторічної мерзлоти, але часом і в умовах м'якішого клімату (Romanovskiy, 1977, Kudryavtsev, 1977, Bertran et al., 2014, Gozdzik, 1973).

Серед посткріогенних текстур, описаних у роботах (Danilov, 1990, Popov, Rozenbaum, Tumel, 1985, Romanovskiy, 1993), у четвертинних відкладах Волинської височини виявлено такі:

- Шлірова текстура – утворюється за горизонтальними шлірами льоду, які відображають коливання фронту промерзання в умовах багаторічної мерзлоти або глибокого сезонного промерзання. У викопному стані відображена у вигляді вторинної плитчастої окремоті ґрунтів чи відкладів, прошарків озалізнєння, що часто примикають до псевдоморфоз чи ПГЖ.

- Неповносітчаста текстура – тонкі шліри чи лінії льоду із вертикальними дрібними тріщинами усихання, що не досягають нижчерозташованих шлірів. Величина осередків із глибиною зростає, що свідчить про зменшення градієнтів температур у процесі промерзання літологічної товщі. У викопному стані є індикатором похованої денної поверхні.
- Комірчаста текстура – подібна до попередньої, але тріщини усихання глибші і досягають нижчерозташованих шлірів льоду, що свідчить про значні градієнти температур.
- Лінзоподібно-плетінчаста – формується в умовах змикання окремих лінзочок льоду поблизу денної поверхні у супіщаних або піщаних породах.

До аструктурних деформацій відносять соліфлюкцію, інволюції та кріогенну конвекцію (Vandenberghe, 1992; Vandenberghe, Pissart, 1993). Соліфлюкція формується на перезволожених схилах і не завжди є індикатором багаторічної мерзлоти. Виділяють (Voskresenskiy, 1971, Romanovskiy, 1993) три типи соліфлюкції: швидку (до кількох см/день), повільну (до кількох мм/рік) та конжеліфлюкцію (формується в умовах глибокого діяльного шару на пологих схилах). Інволюції (кріотурбації) формуються у глинистих відкладах та у заплачних відкладах, які промерзають, а також усередині полігональних систем. Механізм формування інволюцій досі до кінця не вивчений, однак вважається, що інволюції – це індикатор існування багаторічної мерзлоти (Popov, Rozenbaum, Tumel, 1985, Romanovskiy, 1993), або формуються в умовах зростання глибини діяльного шару (Bertran et al, 2017). Кріогенна конвекція виникає у результаті промерзання діяльного шару зверху та низу, внаслідок чого усередині системи, що промерзає, з'являється шар талих порід, які під кріостатичним тиском витісняються вгору по ослаблених зонах (Kudryavtsev, 1978).

Комплексним є утворення плям-медальйонів, що включають різні типи палеокріогенних процесів: морозобійне розтріскування, інволюції, морозне сортування та пучення, тиксотропні процеси та ін. Плями-медальйони формуються в умовах суцільного поширення багаторічної мерзлоти та перезволоженого діяльного шару за середньорічних температур нижче -3°C (Mackay, 1993, Romanovskiy, 1993, Popov, Rozenbaum, Tumel, 1985, Kudryavtsev, 1978).

В умовах локальної чи глобальної деградації багаторічної мерзлоти формувалися термоерозійні та термокарстові структури. Сліди термоерозії простежують по ерозійних борознах та карманах із чіткими контурами, заповнених ша-

руватими відкладами, по термоерозійних каналах у тілі давнього багаторічномерзлого шару, заповнених сортованим піском (Sycheva, 2012, Guy De Mur, 1983). Деякі із термоерозійних борозн еволюціонували у деллі (Voskresenskiy, 1971, Sycheva, 2012). Термокарст простежують за значними зниженнями в палеорельєфі, що заповнені оглесними суглинками із включеннями гумусованого та торфового матеріалу.

Основні результати. Під час вивчення етапності розвитку палеомерзлотних процесів використовують термін «палеокріогенний етап», який автори розглядають дещо по-різному (Velichko, 1982, Bogutski, 1990, Sycheva, 2012, Nechaev, 1983). Під **палеокріогенним етапом** ми розуміємо відрізок часу, впродовж якого сформувалася

система мерзлотних структур та деформацій. Різномасштабні палеокріогенні етапи (кріоетапи) відрізняються ландшафтно-кліматичними та геокріологічними умовами, складністю палеокріогенних комплексів, тривалістю і положенням у середині палеогеографічних етапів плейстоцену. Кріоетапи, які відповідають гляціалу, стадіалу та незначному похолоданню усередині міжзледеніння, не є однаковими за вищезначеними показниками. Пропонуємо виділяти чотири ранги кріоетапів залежно від особливостей кріогенезу та їх співвідношення із таксонами палеогеографічної етапності (табл.1.)

Таблиця 1. Ієрархія таксонів палеокріогенної етапності

Одиниця палеокріогенної етапності		Палеокріологічні умови	Таксони палеогеографічної етапності	У межах Волинської височини
Кріоетап I рангу		Суцільна багаторічна мерзлота	Палеогеографічний етап	tl, or, dn, ud, bg, pc
Кріоетап	IIa рангу	Суцільна та дискретна багаторічна мерзлота	Палеогеографічний етап	sl, ts
	IIb рангу		Палеогеографічний підетап (між інтерстадіалами)	pl2, vt2
	IIc рангу		Палеогеографічна підстадія	pt3b-c, vt1b1-b2
Кріоетап III рангу		Острівна багаторічна мерзлота та глибоке сезонне промерзання	Палеогеографічний підетап (всередині міжзледеніння)	mr2, lb2, zv2, pt2, kd2
Кріоетап IV рангу		Глибоке сезонне промерзання	Палеогеографічна підстадія	lb1b1-b2, lb3b1-b2, ZV3b1-b2, pt3b1-b2, kd1a-b, kd1b1-b2, kd3b1-b2, pl1a-b, pl1b1-b2, pl3b1-b2

Кріоетап I рангу відповідає палеогеографічним етапам із формуванням кріогенних структур та деформацій в умовах суцільного поширення кріолітозони. За нашими спостереженнями, впродовж кріоетапів I рангу активний кріогенез закономірно змінюється пасивним (циклічність у його розвитку). У час активного кріогенезу формувалися кріогенні структури та деформації, кріоземи, активізувалися соліфлюкційні процеси, активно відбувалося кріогідратаційне вивітрювання. Пасивний кріогенез переважно відповідає другій половині кріоетапів і характеризується значним послабленням кріогенетичних процесів (кріогенні структури та деформації цього часу практично не простежуються, процеси кріогідратаційного вивітрювання послаблені (Konishchev, 2015), соліфлюкція розвивається локально (Bonchkovskyi, 2016), формуються посткріогенні текстури (Bogutski, Voloshyn, Tomeniuk, 2014, Bogutski, Velichko, Nechaev, 1975, Sycheva, 2012). Кріогенні етапи I рангу простежуються на великих територіях і

представлені складними палеокріогенними комплексами з великою кількістю генетичних типів кріоструктур та кріодеформацій. На Волинській височині виділено такі кріоетапи I рангу: **tl, or, dn, ud, bg, pc**. Деякі кріоетапи I рангу відзначаються кількаразовою активізацією мерзлотних процесів. Пропонуємо називати відповідні їм часові інтервали *кріостадіями*. Кріостадії виділено у дніпровському (**dn1, dn2, dn3**), бузькому (**bg1, bg2**) та причорноморському (**pc1, pc3**) кріоетапах. Кількаразове поживання кріогенних процесів зумовлює формування різних ярусів (генерацій за Сіренку, 1984) кріоструктур.

Кріоетап II рангу характеризується формуванням палеокріогенного комплексу в умовах дискретної багаторічної мерзлоти (із таликами) з утворенням широкого генетичного набору палеокріогенних структур: псевдоморфози за давнім льодом, крупні клиноподібні первинно-грунтові жили (ПГЖ), соліфлюкційні текстури, котли просідання та ін. Кріоетапи II рангу менш тривалі у часі, тому прослідкувати зміну активного кріогенезу пасивним важко. Щодо співвідношення із таксонами палеогеографічної етапності

кріоетапи II рангу можна поділити на три субранги. *Кріоетапи рангу IIa* відповідають палеогеографічним етапам, для яких наразі не виявлено кріогенних форм, що є індикаторами суцільної багаторічної мерзлоти – **sl**, **ts**; *кріоетапи рангу IIb* – підетапам припинення ґрунтоутворення всередині теплих етапів, наприклад, **pl₂**, **vt₂**. *Кріоетапи рангу IIc* відповідають палеогеографічним підстадіям породоутворення між підстадіями формування ґрунтів. У межах Волинської височини виділено два кріоетапи IIc рангу: **pt_{3b-c}**, **vt_{1b1-b2}**.

Кріоетап III рангу відповідає похолоданню під час міжзледенінь, протягом яких сформувалися палеокріогенні структури та деформації в умовах острівної багаторічної мерзлоти (на схилах північної експозиції чи в днищі балок) та глибокого сезонного промерзання. У цей час формувалися дрібні псевдоморфози за давнім льодом, частіше ПГЖ, тріщини усихання, посткріогенні текстури. Соліфлюкційні текстури кріоетапів III рангу не простежено, що свідчить про відносно посушливий клімат цих похолодань. Кріоетапам III рангу відповідають палеогеографічні підетапи усередині міжзледенінь: **mr₂**, **lb₂**, **zv₂**, **pt₂**, **kd₂**.

Кріоетап IV рангу – це відрізок часу, впродовж якого система мерзлотних структур та деформацій формувалася в умовах глибокого сезонного промерзання. Фази кріогенезу відповідають палеогеографічним підстадіям, для яких характерним був континентальний клімат із середньорічними температурами $>0^{\circ}\text{C}$, однак нижчими за сучасні, та кількістю опадів 200–500 мм (Velichko et al., 2004). Формувалися кріоаридні мерзлотні структури та деформації, часто тріщини усихання. Кріоструктури цього часу дрібні (глибиною до 1,5 м), представлені однократними клиноподібними ПГЖ, рідше кріотурбаціями. Фази кріогенезу в межах Волинської височини встановлені в середині всіх міжльодовиків'їв неоплейстоцену: **lb_{1b1-b2}**, **lb_{3b1-b2}**, **zv_{3b1-b2}**, **pt_{3b1-b2}**, **kd_{1a-b}**, **kd_{1b1-b2}**, **kd_{3b1-b2}**, **pl_{1a-b}**, **pl_{1b1-b2}**, **pl_{3b1-b2}**.

Нижче наводимо короткий опис кріоетапів на території Волинської височини, стратиграфічне положення яких визначено за схемою НСК України (Veklich, Sirenko, Matviishina et al., 1993) та схемою палеокріогенних етапів А. Б. Богущького (Bogutski, 1990, 2014).

Ранній неоплейстоцен. У середині мартоносського етапу простежено найдавніший кріоетап (**mr₂**) між двома підетапами ґрунтоутворення. У цей час в умовах глибокого сезонного промерзання сформувалася система дрібних ПГЖ глибиною до 0,6 м і шириною мікрополігонів до 0,5

м. У лесоподібних суглинках закладалися неповносітчасті посткріогенні текстури, обриси яких підкреслені гідроксидами марганцю.

У сульський (**sl**) кріоетап IIa рангу в умовах дискретної кріолітозони сформувалася система клиноподібних (рис. 1А) та бахромчастих ПГЖ, глибиною до 1,5 м та шириною полігонів 1,0–1,2 м. Деякі морозобійні тріщини перехідні до псевдоморфоз за давнім льодом (наявні текстури витиснення та полігональні валики), нижня частина яких подекуди деформувала сарматські пісковики.

Три кріоетапи між підетапами та стадіями ґрунтоутворення мали місце впродовж лубенського етапу: **lb_{1b1-b2}**, **lb₂**, **lb_{3b1-b2}**. Впродовж кріоетапів IV рангу **lb_{1b1-b2}** та **lb_{3b1-b2}** в умовах глибокого сезонного промерзання сформувалася система клиноподібних та однократних ПГЖ глибиною до 1,5 м із вузьким гирлом та шириною полігонів 0,3–0,5 м. Кріоструктури підкреслюються озалізненням. Кріоетап III рангу **lb₂** представлений інволюційними текстурами (асиметричними хвилеподібними) у нижніх лубенських ґрунтах та неповносітчастою посткріогенною текстурою.

Тилігульський (**tl**) кріоетап I рангу репрезентований системою крупних ПГЖ (1,5–2,5 м), іноді двох'ярусної будови, що сформувалися в умовах багаторічної мерзлоти. На схилах активізувалися соліфлюкційні процеси, які деформували як верхні лубенські ґрунти, так і тилігульський лес, при цьому утворення ПГЖ передувало соліфлюкційним процесам. Виявлено термокарстову западину чашоподібної форми глибиною 1 м, заповнену оглєсними шаруватими озерними суглинками. Для заплавних відкладів цього часу типові інволюції та кріогенно-конвективне просідання матеріалу. Активно відбувалося утворення неповносітчастих посткріогенних текстур, підкреслених озалізненням, оглєсненням та виділенням карбонатів кальцію. Глибина діяльного шару у тилігульський час складала 1,0–1,5 м. Схожий палеокріогенний комплекс описаний у розрізі Скала-Подільська, що на 200 км південніше (Bogutski et al., 2009).

Середній неоплейстоцен. Два кріоетапи простежуються у завадівському етапі: **zv₂**, **zv_{3b1-b2}**. Протягом кріоетапу III рангу **zv₂** в умовах глибокого сезонного промерзання сформувалася система ПГЖ глибиною до 1,5 м, заповнених матеріалом ґрунтів, вузьких у гирлі, із суцільною інкрустацією залізо-марганцевими колоїдами. У глейових ґрунтах закладалися неповносітчасті та комірчасті посткріогенні текстури, підкреслені виділеннями марганцю та гумусу. Рідше формувалися бахромчасті ПГЖ, заповнювач яких містить велику кількість новоутворень карбонатів

кальцію. Кріоетап **zv_{3b1-b2}** характеризувався формуванням однократних ПГЖ глибиною до 0,4 м, підкреслених колоїдами марганцю та гумусу.

Крупні мерзлотні структури в умовах багаторічної мерзлоти утворилися в орільський час (**or**), коли активізувалися соліфлюкційні процеси (потужність соліфлюкційних текстур досягає 1,5 м). Формувалися ПГЖ глибиною 1,0–2,5 м та шириною полігонів близько 1,5 м (рис. 1Е). У тілах ПГЖ помітні розширення, які фіксують глибину діяльного шару (1,3–1,5 м). У завадівських ґрунтах закладалися неповносітчасті та комірчасті посткріогенні текстури. Кріоструктури орільського часу корелюємо з бояницьким палеокріогенним етапом схеми А. Б. Богуцького.

Два кріоетапи простежуються у потягилівському етапі: **pt₂**, **pt_{3b-c}**. Впродовж кріоетапу III рангу **pt₂** сформувалася система дрібних клиноподібних ПГЖ, глибиною до 0,5 м. У кінці потягилівського етапу, коли вже розпочався перехід до дніпровського зледеніння, в умовах дискретної кріолітозони сформувалися структури кріоетапу **pt_{3b-c}** рангу Іс: крупні клиноподібні та бахромчасті ПГЖ, глибиною 1,0–2,0 м. (рис. 1В). Ширина полігонів незначна, що свідчить про континентальність клімату, та залежить від генерації (коливається у межах 0,5–2,0 м). Частина ПГЖ фіксують глибину діяльного шару на рівні 0,8–2,0 м. Подекуди мали місце структури перехідні до псевдоморфоз за давнім льодом глибиною до 2 м. Густа сітка морозобійних структур місцями викликала утворення котлів просідання. Кріоструктури стадії **pt_{3b-c}** корелюємо із ярмолинським палеокріогенним етапом схеми А. Б. Богуцького.

У стадію **dn₂** сформувалися соліфлюкційні покриви (потужністю до 1,5 м) із неповносітчастими посткріогенними текстурами. На найбільш пологих схилах південної експозиції в супіщаному перигляціальному алювії сформувалися конжельфлюкційні текстури, глибиною до 2 м (рис. 1Г). Подекуди утворювалися невеликі псевдоморфози за давнім льодом глибиною до 1,5 м, заповнені дніпровським лесом (рис. 1Б). А. Богуцький та П. Волошин у розрізі Ванжулів описали псевдоморфози цього часу глибиною до 2,5 м (Bogutski, Voloshyn, 2012). Дрібні клиноподібні ПГЖ формувалися у заключну стадію дніпровського етапу (**dn₃**), коли закладалися неповносітчасті та комірчасті посткріогенні текстури. Кріоструктури стадії **dn₂** корелюємо з лановецьким, а стадію **dn₃** – зі збаразьким палеокріогенним етапом схеми А. Б. Богуцького.

Пізній неоплейстоцен. У кайдацький час відбулась активізація трьох кріоетапів IV рангу **kd_{1a-b}**, **kd_{1b1-b2}**, **kd_{3b1-b2}** та кріоетапу III рангу **kd₂**. Впро-

довж кріоетапу **kd_{1a-b}** в умовах глибокого сезонного промерзання сформувалася система дрібних ПГЖ відгинання химерної форми, глибиною до 0,9 м, підкреслених озалізненням та підвищеним умістом піщаного матеріалу. Такі структури утворюють мікрополігони шириною 0,4–0,5 м. У балках в умовах накопичення алювію сформувалися кількаярусні первинно-піщані жили, глибиною до 0,8 м. Рідше закладалися дрібні клиноподібні ПГЖ, глибиною до 0,5 м. У кріоетап **kd_{1b1-b2}** сформувалися дрібні ПГЖ клиноподібної форми глибиною до 0,7 м. У середині кайдацького етапу (**kd₂**) за кріогенними структурами простежується значне похолодання, яке можна віднести до кріоетапу III рангу (існувала острівна багаторічна мерзлота). Це підтверджується палеокріогенним комплексом, зокрема, формуванням на північних та північно-західних схилах балок та у їх днищах дрібних псевдоморфоз за давнім льодом, глибиною до 1,2 м, із чіткими полігональними валиками та текстурами витиснення у приконтактній зоні. В інших місцях острівна кріолітозона простежується за глибокими вузькими ПГЖ глибиною до 2 м, із потічними прожилками субгоризонтальної форми, підкресленими гумусом, які в минулому були заповнені сегрегаційним льодом. Такі структури утворюють полігони шириною близько 1,5 м. У ґрунтах ранніх стадій закладалися комірчасті та неповносітчасті посткріогенні текстури. У фазу **kd_{3b1-b2}** сформувалися ПГЖ глибиною до 0,7 м. Кріогенні феномени всередині микулинського етапу який автор корелює з кайдацьким етапом, описані на Середньоруській височині (Sycheva, 2012).

У тясминський кріоетап простежуються дві кріостадії: **ts₁**, **ts₂**. У першу кріостадію лише на похилих схилах (понад 5°) активізувалися соліфлюкційні процеси із глибиною деформованої зони до 0,7 м, що свідчить про посушливіший клімат відносно інших кріоетапів. У кайдацьких ґрунтах утворювалися клиноподіні та бахромчасті ПГЖ глибиною 1,5–2,5 м. Частіше формувалася густа система дрібних морозобійних структур, які майже повністю зруйнували верхній кайдацький ґрунт та спричинювали формування котлів просідання. Подекуди мали місце термозійні борозни V-подібної форми, глибиною до 0,5 м, заповнені педоседиментом. У кайдацьких ґрунтах закладалися неповносітчасті та комірчасті посткріогенні текстури. У другу кріостадію **ts₂** сформувалися ПГЖ глибиною до 2,0 м (рис. 2Д), частіше дрібні клиноподібні структури. В еолово-делювіальних супісках закладалися лінзоподібно-плетінчасті посткріогенні текстури. У тясминський час, очевидно, існувала дискретна багаторічна мерзлота, про що свідчать поодинокі

дрібні псевдоморфози за давнім льодом, із текстурами витиснення у контактній зоні. Однак такі структури виявлені лише на північних схилах, де глибина діяльного шару складала 1,5 м, на схилах іншої експозиції – понад 2,0 м. У заключні фази етапу активізувалися термоерозійні про-

цеси, внаслідок чого утворилися канали стоку талих вод, заповнені піщаним матеріалом. Кріоструктури тясминського часу корелюємо із фазою А торчинського палеокріогенного етапу схеми А. Б. Богуцького

Рис. 1. Палеокріогенні структури раннього та середнього неоплейстоцену:

А – клиноподібна ПГЖ сульського кріоетапу, розріз Дерев'янке; Б – палеокріогенний комплекс дніпровського часу: 1 – невелика псевдоморфоза за давнім льодом кріостадії dn_2 , 2 – плями-медальйони, клиноподібні ПГЖ та котли просідання кріостадії dn_1 , розріз Новий Тік; В – система ПГЖ кріоетапу pt_{3b-c} , розріз Новий Тік; Г – конжельфлюкційні текстури дніпровського часу, розріз Боремель; Д – термоерозійний карман (2) за первинною бахромчастою ПГЖ (1) дніпровського часу, розріз Дерев'янке; Е – кількаярусна ПГЖ орільського кріоетапу (1, 2 – положення підшови похованого діяльного шару), розріз Баківці.

А

Б

В

Г

Д

Е

Є

Ж

З

Рис. 2. Пізньоплейстоценові палеокріогенні структури:

А – плями-медальйони удайського кріоетапу, розріз Шибин; Б – соліфлюкційні текстури удайського часу, розріз Ковбань; В – псевдоморфоза за давнім льодом стадії кріогенезу bg_1 , розріз Брищі; Г – псевдоморфоза за давнім льодом кріостадії pc_1 , розріз Новий Тік; Д – первинно-піщана жила тясминського часу, розріз Колодежі; Е – термоерозійна борозна бузького часу, розріз Ковбань; Є – шлірова посткріогенна текстура кріоетапу pl_2 , розріз Смиків; Ж – дрібні ПГЖ тясминського часу (1), швидка соліфлюкція (3) і неповносвітчаста посткріогенна текстура (2) кріоетапу pl_2 (розріз Боремель); З – дрібна термокарстова западина бузького часу, розріз Новостав.

У прилуцький час простежуються три кріоетапи IV рангу (pl_{1a-b} , pl_{1b1-b2} , pl_{3b1-b2}) та кріоетап II рангу (pl_2). У кріоетапи IV рангу закладалися дрібні клиноподібні та однократні ПГЖ глибиною до 0,7 м. Кріоетап pl_2 характеризувався активізацією соліфлюкції на схилах (рис. 2Ж). У цей час закладалися клиноподібні та бахромчасті ПГЖ глибиною до 2,0 м, часто вигнуті соліфлюкційними процесами. Ширина полігонів зазвичай менша 1,0 м. У нижніх прилуцьких ґрунтах закладалися лінзоподібно-плетінчасті, неповносітчасті та шлірові посткріогенні текстури (рис. 2С, 2Ж). На схилах подекуди формувалися термоерозійні борозни. Палеокріогенний комплекс свідчить про існування у цей час дискретної багаторічної мерзлоти.

Палеокріогенний комплекс удайського часу (ud) сформувався в умовах суцільної багаторічної мерзлоти. Повсюдно активізувалися соліфлюкційні процеси (рис. 1Б), на схилах південної експозиції за більшої глибини діяльного шару (до 2,5 м) – конжельфлюкційні процеси. На перезволожених надзаплавних терасах утворювалися плями-медальйони (рис. 1А) із шириною полігонів до 1 м, на схилах деформовані соліфлюкційними процесами. Деінде простежуються добре збережені полігональні валики, сліди морозного сортування матеріалу, а також специфічні кріоземи, що формувалися у западинах плям-медальйонів. Подекуди формувалися псевдоморфози за давнім льодом глибиною до 2,5 м з асиметричною гирловою частиною. Частіше закладалися двох'ярусні ПГЖ глибиною до 3 м та різні типи посткріогенних текстур: неповносітчасті, комірчасті, лінзоподібно-плетінчасті. Глибина діяльного шару складала 0,8–1,5 м, на південних схилах до 2,5 м. Удайський кріогенез корелюємо з фазою Б торчинського палеокріогенного етапу схеми А. Б. Богуцького.

У витачівський час простежено два кріоетапи рангів IIb і IIc: vt_{1b1-b2} , vt_2 . Впродовж раннього кріоетапу сформувалася система псевдоморфоз за давнім льодом глибиною до 2,5 м, бокові контакти яких підкреслені прошарками озалізнення товщиною до 2 см. Над западиною псевдоморфози простежується декілька гумусових прошарків, що свідчить про стадійність формування ґрунту. Також утворювалися пластичні деформації нижнього глейового витачівського ґрунту. Глибина похованого діяльного шару складала 0,8–1,2 м. У пізній кріоетап vt_2 сформувалася система потужних псевдоморфоз за давнім льодом глибиною до 2,5 м із добре збереженими полігональними валиками (висотою до 1 м) при

ширині полігонів 23–25 м. До псевдоморфоз приймають шлірові посткріогенні текстури, підкреслені озалізненням. Рідше закладалися ПГЖ відгинання глибиною до 1 м. Прослідковуються сліди кріогенної конвекції матеріалу, а на схилах – термоерозійні борозни. Впродовж кріоетапу vt_2 багаторічна мерзлота була суцільною, а глибина діяльного шару складала близько 1,5 м. Палеопедологічні матеріали показують, що нижній витачівський ґрунт (vt_{1b1}) сформувався в умовах дискретної багаторічної мерзлоти. Він містить ознаки тундроглеїв (гомогенно-глейових надмерзлотних ґрунтів). На схилах південної експозиції або на ділянках із хорошим дренажем розвинені дерново-глейові та палево-бурі ґрунти. Формування ґрунтів в умовах багаторічної мерзлоти підтверджується також палінологічними даними: наявністю кріофітів (*Betula nana*, *Alnaster* sp., *Selaginella selaginodes* та ін.) (Gurtovaya, 1981; Bezusko, Mosiakin, Bezusko, 2011; Bolikhovskaya, 1995). Однак наприкінці розвитку педогенезу багаторічна мерзлота відступила, що простежується за нарощенням гумусового горизонту, а також палінологічними даними, отриманими нами з верхів ґрунту vt_{1b1} у розрізі Колодежі (наявність пилку в'яза, деревної берези та ін.). Корелюємо палеомерзлотні утворення витачівського часу із фазою А басівкутського палеокріогенного етапу схеми А. Богуцького.

Осциляторний розвиток кріогенезу був типовим для бузького часу, коли утворилися кріоструктури двох стадій: bg_1 , bg_2 . У ранню з них сформувалася система потужних псевдоморфоз за давнім льодом глибиною до 2,5 м, заповнених як матеріалом витачівського глейового ґрунту, так і бузьким лесом (рис. 1В), для яких типове високе збереження полігональних валиків. Місцями зустрічаються двох'ярусні клиноподібні ПГЖ глибиною до 1,5 м, заповнені лесом. За морозобійними структурами вдається встановити глибину діяльного шару: 1,2–1,5 м. Повсюдно на схилах активізувалися соліфлюкційно-делювіальні процеси, утворювалися деллі, які з часом переростали у яри перигляціального походження глибиною до 10 м, V-подібної форми, заповнені лесами та соліфлюкційно-делювіальним матеріалом. Деякі деллі бузького часу виражені на сучасній поверхні у вигляді лощин. Місцями простежуються сліди кріогенного пучення матеріалу витачівських ґрунтів та дрібні термокарстові западини, заповнені глейовими суглинками (рис. 23).

Таблиця 2. Палеокріогенні етапи на території Волинської височини.

Палеогеографічний етап	Кріоетап I рангу	Кріоетап II рангу	Кріоетап III рангу	Кріоетап IV рангу	Кріостадія	Палеокріогенний комплекс
Причорно-морський	pc				pc ₃	Псевдоморфози, ПГЖ, ППЖ, термокарст, котли просідання, посткріогенні текстури
					pc ₁	Псевдоморфози, ПГЖ, посткріогенні текстури
Дофінівський		df ₂ (?)				ПГЖ
Бузький	bg				bg ₂	Соліфлюкція, термоерозія, деллі, посткріогенні текстури
					bg ₁	Псевдоморфози, ПГЖ, соліфлюкція, інволюції, посткріогенні текстури
Витачівський		vt ₂				Псевдоморфози, ПГЖ, інволюції, кріогенна конвекція, посткріогенні текстури, термоерозія
		vt _{1b1-b2}				Псевдоморфози, інволюції
Удайський	ud					Соліфлюкція, конжеліфлюкція, псевдоморфози, ПГЖ, плями-медальйони
Прилуцький				pl _{3b1-b2}		ПГЖ (косми)
				pl ₂		Соліфлюкція, ПГЖ, термоерозія, котли просідання
				pl _{1b-c}		ПГЖ і тріщини усихання.
				pl _{1b1-b2}		
Тясминський		ts			ts ₂	ППЖ, термоерозія, посткріогенні текстури
					ts ₁	Соліфлюкція, ПГЖ, котли просідання, термоерозія, посткріогенні текстури
Кайдацький				kd _{3b1-b2}		ПГЖ
				kd ₂ (?)		Дрібні псевдоморфози, ПГЖ, посткріогенні текстури
				kd _{1b1-b2}		ПГЖ, ППЖ, тріщини усихання
				kd _{1a-b}		
Дніпровський	dn				dn ₃	ПГЖ
					dn ₂	Соліфлюкція, конжеліфлюкція, псевдоморфози, ПГЖ
					dn ₁	Соліфлюкція, ПГЖ, льодяно-грунтові жили, сингенетичні ПГЖ, плями-медальйони
Потягайлівський		pt _{3b-c} (?)				Псевдоморфози, ПГЖ, котли просідання
					pt _{3b1-b2}	ПГЖ, тріщини усихання
Орільський	or		pt ₂			
Завадівський				zv _{3b1-b2}		ПГЖ, посткріогенні текстури
				zv ₂		
Тилігульський	tl					Соліфлюкція, ПГЖ, псевдоморфози, кріогенна конвекція, інволюції
Лубенський				lb _{3b1-b2}		ПГЖ, інволюції, посткріогенні текстури
				lb ₂		
Сульський		sl				Псевдоморфози, ПГЖ, інволюції, посткріогенні текстури
Мартоносський			mr ₂			ПГЖ, посткріогенні текстури.

У кріостадію **bg₂** сформувалося п'ять ініціальних ґрунтів із неповносітчастою посткріогенною текстурою, деформованих соліфлюкційними та соліфлюкційно-делювіальними процесами. На схилах під час короткочасних потеплінь утворювалися термоерозійні борозни (глибиною до 0,6 м) (рис. 1Е), місцями термокарстові западини, заповнені глейовими шаруватими суглинками, глибиною до 1 м. Корелюємо кріогенні утворення бузького часу із фазою Б басівкутського палеокріогенного етапу схеми А. Богуцького.

У дофінівський час ґрунти із типовими аструктурними деформаціями сформувалися в умовах дискретної багаторічної мерзлоти. А. Богуцький розцінює рівненський (дофінівський) ґрунт як похований діяльний шар (Bogutski, 1980). Наші палінологічні дані показують, що у річкових долинах були сприятливі умови для поодинокого зростання широколистяних порід (*Quercus robur*), що може свідчити про локалізацію тут таликів. Подекуди за невеликими ПГЖ, підкресленими озалізненням, простежується похолодання **df₂**.

У причорноморський час мали місце дві кріостадії: **pc₁**, **pc₃**. У ранню кріостадію подекуди формувалися псевдоморфози за давнім льодом глибиною до 2 м та шириною у верхній частині до 1,5 м, а також дрібні однократні ПГЖ. У розрізі Ізяслав описані псевдоморфози цього часу глибиною до 3–4 м (Nechaev, 1983). У дофінівському ґрунті закладалися неповносітчасті посткріогенні текстури. На крутіших схилах (>5°) північної експозиції активізувалися соліфлюкційно-делювіальні процеси. Лише нещодавно виділено самостійний рівненський соліфлюкційний горизонт (Bogutski, Voloshyn, Tomeniuk, 2014). У пізню кріостадію **pc₃** сформувалася система псевдоморфоз за давнім льодом глибиною до 2,5 м, місцями – до 5 м (Nechaev, 1983), поблизу бокових контактів яких породи вигнуті вгору, а зовнішні контакти підкреслені тонкими прошарками озалізнення. У межах крупних полігонів є кріоструктури нижчих генерацій: ПГЖ та перехідні від ПГЖ до ППЖ структури, глибиною до 2,5 м та шириною полігонів 0,7–1,5 м. Заповнювач їх оглеєний, озалізнений, із підвищеним вмістом піщаної фракції. Останнє зумовлено активним вітровим переносом піщаних фракцій та дюноутворенням у річкових долинах (зокрема, у долині р. Стир). Голоценовий педокомплекс у западинах за псевдоморфозами розкладається на декілька самостійних ґрунтів. Ілювіальний горизонт нижнього ґрунту наслідує шлірову посткріогенну текстуру, набуваючи смугастості. Подекуди простежуються мікротермокарстові структури, камери, заповнені в минулому сегрегаційним льодом, неповносітчасті посткріогенні текстури. Глибина діяльного шару

впродовж цього часу складала 0,8–1,0 м. Палеокріогенний комплекс кріоетапу **pc₁** корелюємо із рівненським палеокріогенним етапом, а **pc₃** – із красилівським схеми А. Богуцького.

Детальнішу кріостратиграфію стадіалів дріасу (причорноморського часу) виявили під дюнами в розрізах південної частини Волинського Полісся (Маневичі, Березне) польські дослідники (Zielinski et al, 2015). Виділено дві фази формування кріоструктур у ранньому дріасі: фаза формування ППЖ (бл. 15–16 тис. р. т); фаза формування інволюції та ППЖ (бл. 13 тис. р. т). Виходячи з радіовуглецевого віку та власних спостережень, можна припустити, що перша фаза формування ППЖ належить до кріоетапу **df₂**. Ще одну фазу формування інволюції та дрібних ППЖ автори датують початком інтерстадіалу белінг.

Висновки

- Залежно від палеогеокріологічних умов та співвідношенням із таксонами схеми палеогеографічної етапності виділено чотири ранги кріоетапів. Кріоетап I рангу відзначається формуванням кріоструктур в умовах суцільної кріолітозони і відповідає палеогеографічному етапу. Впродовж кріоетапу II рангу мерзлотні структури формувалися в умовах суцільної та дискретної кріолітозони і поділяються на два субранги: Па – відповідає палеогеографічному підетапу; Пб – палеогеографічній підстадії. Кріоетап III рангу відзначається формуванням кріоструктур в умовах острівної багаторічної мерзлоти та глибокого сезонного промерзання і корелює з холодними палеогеографічними підетапами всередині теплих етапів. Кріоетап IV рангу позначений утворенням мерзлотних структур в умовах глибокого сезонного промерзання під час похолодання між підстадіями ґрунтоутворення.
- У межах Волинської височини виділено шість кріоетапів I рангу (**tl**, **or**, **dn**, **ud**, **bg**, **pc**), на ранніх стадіях яких формувалася система псевдоморфоз за давнім льодом, крупних клиноподібних ПГЖ, соліфлюкційних текстур, плям-медальйонів, сингенетичних льодяно-ґрунтових жил та ін. Частина кріоетапів поділяється на кріостадії (від двох у **bg**, **pc**, до трьох у **dn**, кріоетапи).
- Кріоетапи II рангу типові передусім для пізнього плейстоцену: **ts**, **pl₂**, **vt_{1b1-b2}**, **vt₂** (окрім **sl**, **pt_{3b-c}**) і відзначаються складними палеокріогенними комплексами із псевдоморфозами за давнім льодом, системою різногенетичних ПГЖ, рідше соліфлюкцією, інволюціями та кріогенною конвекцією.
- Кріоетапи III рангу властиві передусім для середнього та раннього неоплейстоцену: (**mr₂**, **lb₂**, **zv₂**, **pt₂**, **kd₂**) і характеризуються нечітко

вираженим палеокріогенними комплексом із поодиноких дрібних псевдоморфоз за давнім льодом, ПГЖ, посткріогенними текстурами, рідше інволюціями.

- Кріоетапи IV рангу простежуються рідко, представлені дрібними ПГЖ та тріщинами усихання, що сформувалися в умовах незначних похолодань клімату. У межах Волинської височини це: **Ib_{1b1-b2}**, **Ib_{3b1-b2}**, **Zv_{3b1-b2}**, **Pt_{3b1-b2}**, **Kd_{1a-b}**, **Kd_{1b1-b2}**, **Kd_{3b1-b2}**, **Pl_{1a-b}**, **Pl_{1b1-b2}**, **Pl_{3b1-b2}**. Ймовірно, такі кріоетапи наявні і в ранньому голоцені. Так, простежено дрібні клиноподібні структури у нижніх верствах голоценового педокомплексу на археологічній пам'ятці Хрінники (бореальний період).
- До кінця плейстоцену зростає генетичне різноманіття кріогенних структур та деформацій, їх розміри, глибина деформованої зони, що свідчить про тренд зростання суворості клімату.
- Переважання зволоженого клімату на Волинській височині протягом плейстоцену зумовило активізацію мерзлотних процесів за криогумідним типом: крупні псевдоморфози за давнім льодом, активізація соліфлюкційних процесів на початку кожного стадіалу тощо.

Бібліографічні посилання

- Bertran P., Andrueux E., Antoine P. et al. 2014. Distribution and chronology of Pleistocene permafrost features in France: Database and first result. *Boreas*. vol. 43. 699–711.
- Bertran P., Andrueux E., Antoine P. et al. 2017. Pleistocene Involutions and Patterned Ground in France: Examples and Analysis Using a GIS Database. *Permafrost and Periglac. Process*. DOI: 10.1002/ppp.1957.
- Bezusko L.H., Mosiakin S.L., Bezusko A.H. 2011. Zakonomirnosti ta tendentsii rozvytku roslynnoho pokryvu Ukrainy u piznomu pleistotseni ta holotseni [Regularities and trends of Ukrainian vegetation cover in the late Pleistocene and the Holocene]. Kyiv: Alterpres, 450 p. (In Ukrainian).
- Bogutski A.B., Velichko A.A., Nechaev V.P., 1975. Paleokriogennyye protsessy na zapade Ukrainy v verhnem i srednem pleystotsene [Paleocryogenic processes in western Ukraine in the Upper and Middle Pleistocene]. *Problems of paleogeographic loess and periglacial areas*. 80–89. (In Russian).
- Bogutski A.B., 1980. Opornyye razrezy i kraevyye obrazovanie materikovyykh obledeneniyy zapadnoy chasti Ukrainy: K VI vsesoyuznomu soveshaniyu po izucheniyu kraevyykh obrazovaniy materikovyykh oledeneniyy [Reference sections and marginal formation of continental icing in the western part of Ukraine: To the VI All-Union Conference on the study of the marginal formations of continental glaciations]. Kiev, 51 p. (in Russian).
- Bogutski A.B., 1987. Osnovnyye lessovyie i paleopochvennyye gorizonty periglyatsialnoy lessovo-serii pleystotsena na yugo-zapade Vostochno-Evropeyskoy platformy [The main loess and paleo-soil horizons of the periglacial loess-series Pleistocene in the south-west of the East European Platform]. *Stratigraphy and correlation of marine and continental deposits of Ukraine*. Kiev. 47–52. (in Russian).
- Bogutski A.B., 1990. Osnovnyye paleokriogennyye etapy pleystotsena yugo-zapada Vostochno-Evropeyskoy platformy [The main paleocryogenic stages of the Pleistocene of the south-west of the East European platform]. *Quaternary period: methods of study, stratigraphy and ecology*. Thesis of the VI All-Union Conference. – Tallinn, Vol. 1. 65–66. (in Russian).
- Bogutski A.B et al., 2009. Skala-Podil'ska – rozriz pleystotsenovykh vidkladiv (Prydnisterske Podillya) [Skala-Podil'sky – section of Pleistocene deposits (Pridnisterskyi Podill)]. *The oldest loess of Podill and Pokuttia: problems of genesis, stratigraphy, paleogeographs*. Lvov: LNU. 79–96. (In Ukrainian).
- Bogucki A., Voloshyn P., 2012. Inzhenerno-geologichna kharakterystyka lesovo-cruntovoy seriyi opornogo rozrizu Vanzhuliv (Podil'ska Vysochyna) [Engineering-geological characteristics of the loess-soil series at the key profile Vanzhuliv (Podillia Upland)]. *Visnyk Lviv university. Ser. Geogr.* 2012. N. 40. 114–122. (In Ukrainian).
- Bogucki A., Voloshyn P., Tomeniuk O., 2014. Zapadovosc pleistocenskich pozionow lessowoglebowych i kriogenicznych Wolyniai Podolia [Pleistocene levels of loess-soil and cryogenic levels Volyn-Podolia]. *Geological Survey*. Vol. 62. No. 10/2. 553–559 (In Polish).
- Bolikhovskaya N.S., 1995. Evolyutsiya lessovopochvennoy formatsii Severnoy Evrazii [Evolution of the loess-soil formation of Northern Eurasia]. Moscow: MGU. 270 p. (In Russian).
- Bonchkovskiy O.S., 2016. Piznopleistotsenovy kriohenez v mezhakh Volynskoi vysochyny [The Late Pleistocene cryogenic processes in the Volyn' Upland]. *Chernivtsi University. vol. 775–776: Geography*. 19–30. (In Ukrainian).
- Bonchkovskiy O.S., 2017a. Osoblyvosti reliktovoi postkriohennoi morfoskulptury skhidnoi chastyny Volynskoi vysochyny [Relic postcryogenic morphosculpture in the eastern part of the Volyn' Upland]. *Physical geography and geomorphology*. vol. 2. (84). (In Ukrainian).
- Bonchkovskiy A.S., 2017b. Formirovanie kriogennykh struktur v pleystotsene na territorii Volynskoy vozvyshennosti (Ukraina) [Formation of cryogenic structures in the Pleistocene in the Volyn Upland (Ukraine)]. *Collection of materials of the XII International Scientific Conference of Students and Young Scientists "Science and Education" Astana*. 1311–1316. (In Russian).

- Chupylo (Bairak) H., 2006. Paleokriohenna mikroulohovynna merezha Volynskoi vysochyny (za danymy aerozniman) [Paleocriogenic microwell system of the Volyn Upland (according to aerosol data)]. Lviv University. Geography. vol. 33. 444–448. (In Ukrainian).
- Danilov I.D., 1990. Podzemnyie ldy [Underground ice]. Moscow: Nedra. 137 p. (In Russian).
- French, H. M. 2007. The Periglacial Environment. Wiley, Chichester. 478.
- Gerasimov I.P., Velichko V.A. et al., 1982. Paleogeografia Evropy za poslednie sto tycyach let (atlas-monografia) [Paleogeography of Europe for the last hundred thousand years (atlas-monograph)]. Moscow: Nauka. 175 p. (In Russian).
- Gurtovaya E.E., 1981. Rekonstruktsiya prirodnih usloviy bryanskogo intervala posledney lednikovoy epohi dlya yugo-zapada Russkoy ravniny [Reconstruction of the natural conditions of the Bryansk interval of the last glacial period for the southwest of the Russian plain]. Report Academy of Sciences of the USSR. Ser. Geogr. №5. 1225–1228. (In Russian).
- Gozdzik J.S., 1973. Geneza and pozisja stratygraficzna struktur peryglacialnych w szrodkowej Polsce [Genesis and stratigraphic position of periglacial structures in central Poland]. Acta Geographica. Lodz. No. 31. (In Polish).
- Guy De Moor, 1983. Cryogenic Structures in the Weichselian Deposits of Northern Belgium and their Significance. Polarforschung, Vol. 53 (2). 79–86.
- Jary Z., Ciszek D., 2013. Late Pleistocene loess-palaeosol sequences in Poland and Western Ukraine. Quaternary International. Vol. 296. 39–50.
- Kapyalyanskaya F.A., Tarnogradskiy V.D., 1973. Gruntovyye zhily svyazannyye s morozoboynym rastreskivaniem [Ground veins associated with frost cracking]. Paleocryology in Quaternary Stratigraphy and Paleogeography. Moscow: Nedra. 79–90. (In Russian).
- Katasonov E.M., 1973. Paleomerzlotnyie issledovaniya, ih zadachi, metody i nekotorye rezultaty [Paleocryology studies, their tasks, methods and some results]. Paleocryology in Quaternary Stratigraphy and Paleogeography. Moscow: Nedra. 10–21.
- Konishchev V.N., 2015. The role of cryogenic processes in the formation of loess deposits. Geography environment sustainability. No. 03 (vol. 08). 14–35.
- Kudryavtsev V.A., 1978. Obschee merzlotovedenie [General permafrost studies]. Moscow: MGU. 464 p. (In Russian).
- Mackay, J. R. 1993: Air temperature, snow cover, creep of frozen ground, and the time of ice-wedge cracking, western Arctic coast. Canadian Journal of Earth Sciences, Vol. 30, 1720–1729.
- Matviishina V.I. Zh., N., Gerasimenko N.P., Perederiy et al., 2010. Prostorovo-chasova korelyatsia paleogeografichnykh umov chetvertynnoho periody na teritorii Ukrainy [Spatial-temporal correlation of paleogeographical events of Quaternary in the area of Ukraine]. Kyiv: Naukova dumka, 2010. 192 p. (in Ukrainian).
- Morozova T.D., 1981. Razvitie pochvennogo pokrova Evropy v pozdnem pleystotsene. [The development of the soil cover of Europe in the late Pleistocene]. Moscow: Nauka. 248 (in Russian).
- Nechaev V.P., 1981. O nekotoryh sootnosheniyam mezhdru merzlotnymi klimaticheskimi parametrami i ih paleogeograficheskoe znachenie [On some relations between permafrost climatic parameters and their palaeogeographical significance]. Paleogeography of the Pleistocene glacial and periglacial area. Moscow: Nauka. 211–220. (In Russian).
- Nechaev V.P., 1983. Paleokriogennyye protsessy na teritorii Volyno-Podolskoy vozvyshennosti v verhnem pleystotsene [Paleocryogenic processes in the Volyn-Podolsk Upland in the Upper Pleistocene]. Abstract. Moscow, 19. (In Russian).
- Novak T., Fedorovych M. 2015. Morfolohiia i henezys postkriohennoho polihonalnoho mikroreliefu Volynskoi vysochyny. [Morphology and the genesis of the postcryogenic polygonal microrelief of the Volyn Upland]. Ternopil University. Series: geography. 1. 64–70 (In Ukrainian).
- Popov A.I., Rozenbaum G.E., Tumel N.V., 1985. Kriolitologiya [Kryolitology]. Moscow University. 240. (in Russian).
- Romanovskiy N. N., 1977. Formirovanie poligonalno-zhilnykh struktur [Formation of polygonal-vein structures]. Novosibirsk: Nauka. 216 (In Russian)
- Romanovskiy N.N., 1993. Osnovy kriogeneza litosfery [Basics of lithosphere cryogenesis]. Moscow University. 336 (In Russian).
- Sirenko N.A., 1984. Paleokriogennyye deformatsii v lessovoy tolshche Ukrainy. [The pelecryogenic deformations in the loess section in Ukraine]. General and regional paleogeography. Kiev: Naukova Dumka. 17–31. (In Russian).
- Sycheva S.A., 2012. Paleomerzlotnye sobyitia v periglyatsialnoy oblasti Srednerusskoy vozvyshennosti v kontse srednego i pozdnem pleystotsene [Paleocryogenic events in the periglacial region of the Central Russian Upland at the end of the Middle and Late Pleistocene]. Cryosphere of the Earth. Vol. 16, 4. 45–56. (In Russian).
- Tsatskin A.I., 1980. Paleopedologicheskyye rekonstruktsii dlya pozdnego pleystotsena yugo-zapada russkoy ravniny [Paleopedological reconstructions for the Late Pleistocene of the southwest of the Russian Plain]. Abstract. Moscow. 20, (In Russian).
- Vandenberghe J., 1992. Periglacial phenomena and Pleistocene environmental conditions in The Netherlands – an overview. Permafrost and Periglacial Processes. Vol. 3. 363–374.
- Vandenberghe J., Kasse C., 1989. Periglacial environments during the Early Pleistocene in the southern Netherlands and northern Belgium. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology. Vol. 72. 133–139.

- Vandenberghe J., Pissart A., 1993. Permafrost changes in Europe during the last glacial. *Permafrost and Periglacial Processes*. Vol. 4. 121-135.
- Veklich M.F, Sirenko N.A, Matviishina Zh.N. et al., 1993. Stratigraficheskaya shema pleystotsenovykh otlozheniy Ukrainyi [Stratigraphic framework of the Pleistocene deposits of Ukraine]. Stratigraphic schemes of Phanerozoic and Precambrian of Goskompgeology. Kiev. State Committee of Geology of Ukraine. 40, (In Russian).
- Velichko A.A., Zelikson E. M, Borisova O.K. et al., 2004., Kolichestvennyye rekonstruktsii klimata Vostochno-Evropeyskoy ravniny za poslednie 450 tys. let. [Quantitative climate reconstructions of East-European Plain for the last 450 thousand years]. RAN. Ser. geogr. 7–25. (In Russian).
- Voloshin P.K., 1987. Inzhenerno-geologicheskoe raschlenenie lessovykh tolsch s primeneniem metodov paleokriologii i paleopedologii (na primere opyta inzhenerno-stroitelnykh izyiskaniy Volyino-Podolii). [Engineering-geological stratification of loess strata using the methods of paleocryology and paleopedology (based on the experience of engineering and construction surveys of Volyn-Podolia)]. Abstract. Moskow. 19, (In Russian).
- Voskresenskiy S.S., 1971. Dinamicheskaya geomorfologiya: formirovanie skolonov [Dynamic geomorphology: the formation of slopes]. Moskow: MGU. 229, (In Russian).
- Zielinski et al., 2015. The depositional conditions of the fluvio-aeolian succession during the last climate minimum based on the examples from Poland and NW Ukraine. *Quaternary international*. Vol. 386. 30–41