



СЕКЦІЯ 2
ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНІ ТА ГЕОЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 551.03(477.72)»1965/2024»

DOI <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2024-21-3>

Давидов О.В.,
кандидат географічних наук, доцент кафедри географії та екології
Херсонський державний університет,
провідний науковий співробітник
Національний природний парк «Білобережжя Святослава»,
науковий співробітник
Центр дослідження природи, Вільнюс, Литва
odavydov@ksu.ks.ua
ORCID: 0000-0003-2144-9627

Сімченко С.В.,
асистент кафедри географії та екології
Херсонський державний університет
ssimchenko@ksu.ks.ua
ORCID: 0000-0003-4973-2301

Котовський І.М.,
кандидат географічних наук, доцент кафедри екології та географії
Херсонський державний університет
ikotovskiy@ksu.ks.ua
ORCID: 0000-0001-9568-2654

**РЕЗУЛЬТАТИ КОМПЛЕКСНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ
ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ КОРІННОГО АБРАЗІЙНОГО БЕРЕГУ
В МЕЖАХ СИСТЕМИ ТЕНДРА – ДЖАРИЛГАЧ
(ЧОРНЕ МОРЕ, УКРАЇНА)**

У статті представлено результати комплексного дослідження динамічних процесів на корінному абразійному березі в межах системи Тендра – Джарилгач у межах північно-західного узбережжя Чорного моря. Дослідження охоплює період із 1965 по 2024 р. і включає аналіз попередніх досліджень, польові роботи (за період із 2018 по грудень 2021 р.) та ретроспективний аналіз супутникових знімків за період 1965–1973, 1973–2006, 2006–2019, 2019–2023 рр.

Основна мета дослідження полягає у визначенні динамічних тенденцій розвитку берегу, оцінці впливу берегозахисних споруд та прогнозуванні майбутніх змін. Виявлено, що будівництво берегозахисних комплексів призвело до локальних змін, але, своєю чергою, спричинило активізацію абразійних процесів на незахищених ділянках. Польові дослідження показали, що абразійні процеси мають значні просторові відмінності, що залежить від морфологічних та гідродинамічних умов, антропогенного чинника.

Ретроспективний аналіз супутникових знімків, що проводився за допомогою ГІС, підтвердив ці результати та виявив просторові відмінності в інтенсивності абразійних процесів. Зокрема, найбільш інтенсивні процеси спостерігалися в районі Залізного Порту та Лазурного. Проведено співставлення даних дистанційних та польових досліджень. Зокрема, результати польових досліджень, проведених ученими у 50–60-х та 80–90-х роках ХХ ст., корелюють із даними, отрима-

ними під час ретроспективного аналізу супутникових знімків. Висновки дослідження підкреслюють необхідність комплексного підходу до управління береговими зонами з метою мінімізації негативних наслідків абразії.

У дослідженні акцентовано увагу на важливості врахування природних умов та динамічних процесів під час планування та реалізації берегозахисних заходів. Відсутність системного підходу та надмірна антропогенна діяльність можуть призвести до непередбачуваних наслідків, таких як активізація абразійних процесів на інших ділянках берегу.

Ключові слова: морфодинаміка, берегова система, Чорне море, Україна, ГІС, дистанційне зондування землі.

Davydov O.V., Simchenko S.V., Kotovsky I.M. Results of a Comprehensive Study of Dynamic Trends in the Development of the Indigenous Abrasion Coast within the Tendra–Dzharylgach System (Black Sea, Ukraine)

The article presents the results of a comprehensive study of dynamic processes on the indigenous abrasion coast within the Tendra–Dzharylgach system on the northwestern coast of the Black Sea. The study covers the period from 1965 to 2024 and includes an analysis of previous research, fieldwork (from 2018 to December 2021), and a retrospective analysis of satellite images for the periods 1965–1973, 1973–2006, 2006–2019, and 2019–2023.

The main objective of the study is to determine the dynamic trends in coastal development, assess the impact of coastal protection structures, and predict future changes. It was found that the construction of coastal protection complexes led to local changes but, in turn, caused the activation of abrasion processes on unprotected areas. Field studies have shown that abrasion processes have significant spatial differences, depending on morphological and hydrodynamic conditions, as well as anthropogenic factors.

The retrospective analysis of satellite images, conducted using GIS, confirmed these results and revealed spatial differences in the intensity of abrasion processes. In particular, the most intensive processes were observed in the areas of Zalizny Port and Lazurne. A comparison of remote sensing and field research data was conducted. Specifically, the results of field studies conducted by scientists in the 1950s–60s and 1980s–90s correlate with the data obtained during the retrospective analysis of satellite images. The study's conclusions emphasize the need for a comprehensive approach to managing coastal zones to minimize the negative effects of abrasion.

The study also highlights the importance of considering natural conditions and dynamic processes when planning and implementing coastal protection measures. The lack of a systematic approach and excessive anthropogenic activity can lead to unpredictable consequences, such as the activation of abrasion processes in other areas of the coast.

Key words: morphodynamics, coastal system, Black Sea, Ukraine, GIS, remote sensing.

Вступ. В умовах глобальних кліматичних змін та проявлення планетарної тенденції до підвищення рівня водної поверхні (Fox-Kemper et al., 2021) вздовж берегової зони Світового океану проявляється активізація динамічних процесів (Finkl, Makowski, 2019). Серед усіх динамічних процесів найбільш небезпечними вважаються деструктивні (абразія та розмив), які щорічно призводять до великих економічних збитків та спричиняють негативні екологічні наслідки. У цьому контексті проявляється цікава закономірність: бажання захистити берег від впливу деструктивних процесів, за рахунок будівництва берегозахисних споруд, як правило, призводить до активізації відповідних процесів, але на інших ділянках. Зазначена ситуація може бути пояснена відсутністю комплексного та системного підходів під час проведення передпроектного дослідження.

У межах північно-західного узбережжя Чорного моря розташована специфічна берегова система Тендра – Джарилгач. У її центральній частині знаходиться корінна ділянка берега, вздовж якої в природному стані проявлялися перманентні деструктивні процеси. Для підвищення рекреаційного потенціалу ділянки насамперед необхідно було зупинити процеси абразії, саме тому було вирішено побудувати декілька берегозахисних комплексів. Будівництво розтягнулося на кілька десятиліть, але призвело лише до локальних ефектів, спричинивши при цьому активізацію деструктивних процесів у межах незахищених ділянок корінного берегу, а також уздовж тіла коси Джарилгач.

Для визначення реальної ситуації та оцінки подальших перспектив використання зазначеної корінної ділянки берегу було проведено



комплексне дослідження, що включало в себе детальне вивчення матеріалів попередніх досліджень, польові роботи з формуванням стаціонарної системи спостережень та ретроспективний аналіз, який базується на аналізі різновікових супутникових знімків.

За результатами досліджень була підготовлена представлена публікація. Основна мета публікації полягає в оприлюдненні результатів комплексного дослідження динамічних тенденцій розвитку корінного абразійного берегу в межах системи Тендра – Джарилгач. Для досягнення поставленої мети нам необхідно було вирішити такі завдання: 1) представити опис природних умов досліджуваного корінного берегу; 2) проаналізувати існуючі матеріали попередніх дослідників; 3) представити результати комплексного дослідження динамічних тенденцій відповідного берегу; 4) порівняти результати комплексного дослідження з матеріалами попередніх робіт та визначити достовірність представленого дослідження.

Район дослідження. Берегова система Тендра – Джарилгач загальною довжиною близько 140 км розташована в північно-західній частині Чорного моря, у регіоні Каркінітської затоки (рис. 1) (Шуйский и др., 2005;

Давидов та ін., 2018). Досліджувана система має складну морфологічну будову: дві крупні акумулятивні форми – коси Тендра та Джарилгач, розділені корінною ділянкою берегу (Зенкович, 1960; Правоторов, 1966). Зазначена будова дає змогу віднести відповідну систему до «крилатих мисів» (Gulliver 1898; Зенкович, 1960; Davydov, Zinchenko 2019).

Корінна ділянка берегу являє собою центральну складову частину системи, у межах якої до берегової смуги у вигляді берегових абразійних форм виходять континентальні осадові породи. Загальна довжина відповідної ділянки – близько 25 км, з яких близько 18 км – це абразійні ділянки, а 7 км – акумулятивні. Умовними природними межами досліджуваної ділянки можна вважати прорви: на заході – Потієвську (прикоренева частина коси Тендра) та на сході Лазурненську (прикоренева частина коси Джарилгач) (рис. 1в). Умовність меж пов'язана зі значною динамічністю прорв, а саме їх періодичним закриттям та відкриттям, але вже на новому місці (Pravotorov, 1966; Davydov, Buynevich, 2023).

Досліджувана ділянка берегу має ускладнену морфоструктурну будову. У її межах виділяються чотири позитивні плікативні



Рис. 1. Просторове розташування досліджуваного корінного берегу: А – берегова система Тендра – Джарилгач у межах Чорного моря; Б – місце корінного берегу в системі Тендра – Джарилгач; В – корінна ділянка берегу та її межі (створено за допомогою застосування Google Earth Pro)

дислокації (брахіоантиклінальні складки), які виражені у вигляді невисоких прибережних плато: Східно-Лазурненське, Західно-Лазурненське, Приморське, Залізнопортовське (рис. 2). Відповідні структури оточені чотирма негативними дислокаціями (брахіосинклінальними складками), у межах яких місцями розташовані улоговини озер: Лазурненське, Устричне, Кефальне та ін. (Никифоров, 1977).

Представлена морфоструктурна будова зумовлює загальні морфологічні риси відповідної ділянки берега. Уздовж більшої частини берега домінують абразійні форми берегового рельєфу (рис. 3): уступи розмиву (висота – від 0,1 м до 1,0 м) та абразійні кліфи (від 1,0 до 3,5 м). До відповідних форм на підводному схилі прилягають абразійні поверхні, або бенчі, перекритті незначним шаром піщаних відкладів. Усі абразійні форми складені бурими глинами та лесовидними суглинками, що дає змогу стверджувати про наявність активного та багатолітнього хвильового врізання до прибережних плікативних складок. У межах позитивних структур сформовано кліфи, а в районах виходу негативних структур розташовано уступи розмиву. Усі абразійні форми можуть мати вигляд фестонного розчленування

(рис. 3б, г) (Правоторов, 1966; Давидов та ін. 2018).

Корінний берег розташований у межах ділянки транзиту вздовжберегового потоку наносів. За таких умов уздовж берегу проявляються акумулятивні процеси, які зумовлюють формування біля підніжжя кліфів пляжів неповного профілю, а на підводному схилі утворюють шар прибережно-морських наносів, який на певній відстані від зрізу ускладнений підводними піщаними валами (Зенкович, 1960; Котовский, 1992).

Розташовані вздовж корінного берегу улоговини прибережних озер (Кефальне, Устричне, Лазурненське) відділені від акваторії Каркінітської затоки пересипами (рис. 4). Відповідні форми складені середньозернистими пісками з домішками ракушки. На поверхні пересипів мають місце незначні за своїми параметрами еолові форми берегового рельєфу, завдяки яким максимальна висота поверхні може сягати 3,0 м (Pravotorov, 1966).

Представлені морфологічні риси дають змогу віднести досліджувану корінну ділянку до берегів вторинного вирівнювання. Хвильове абразійне врізання в тіла прибережних брахантиклінальних складок спричинило появу

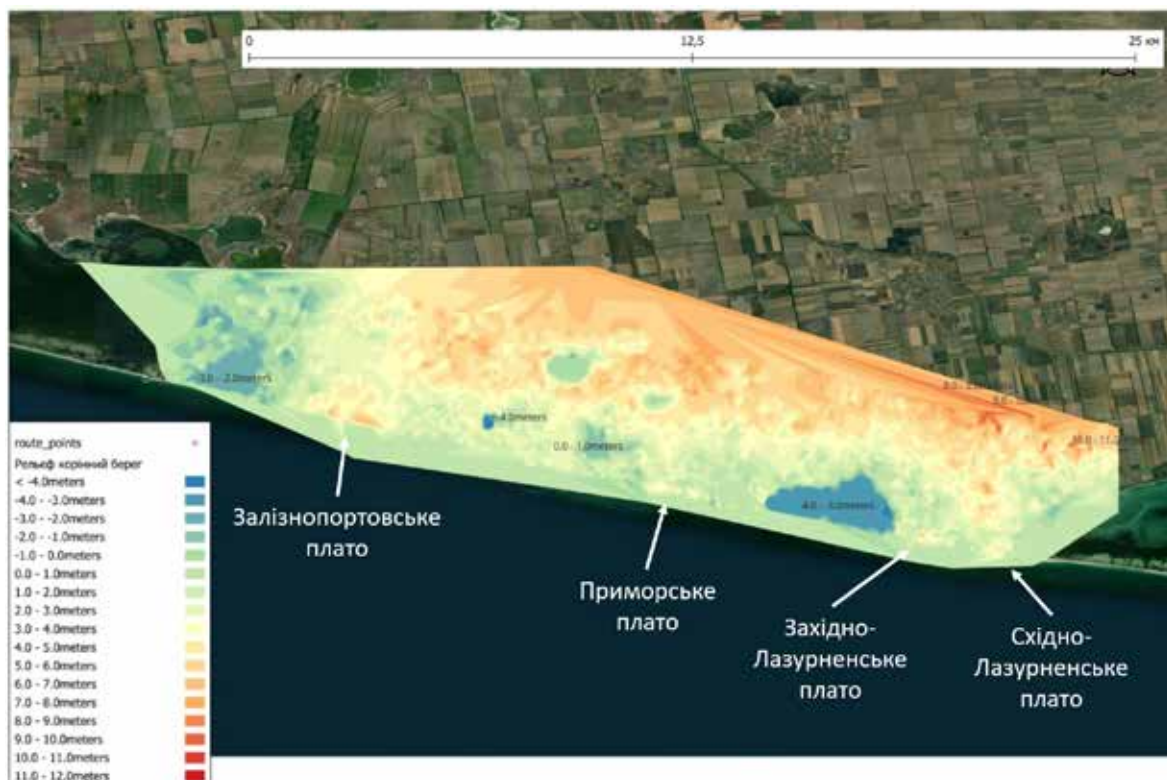


Рис. 2. Особливості рельєфу досліджуваного корінного берега

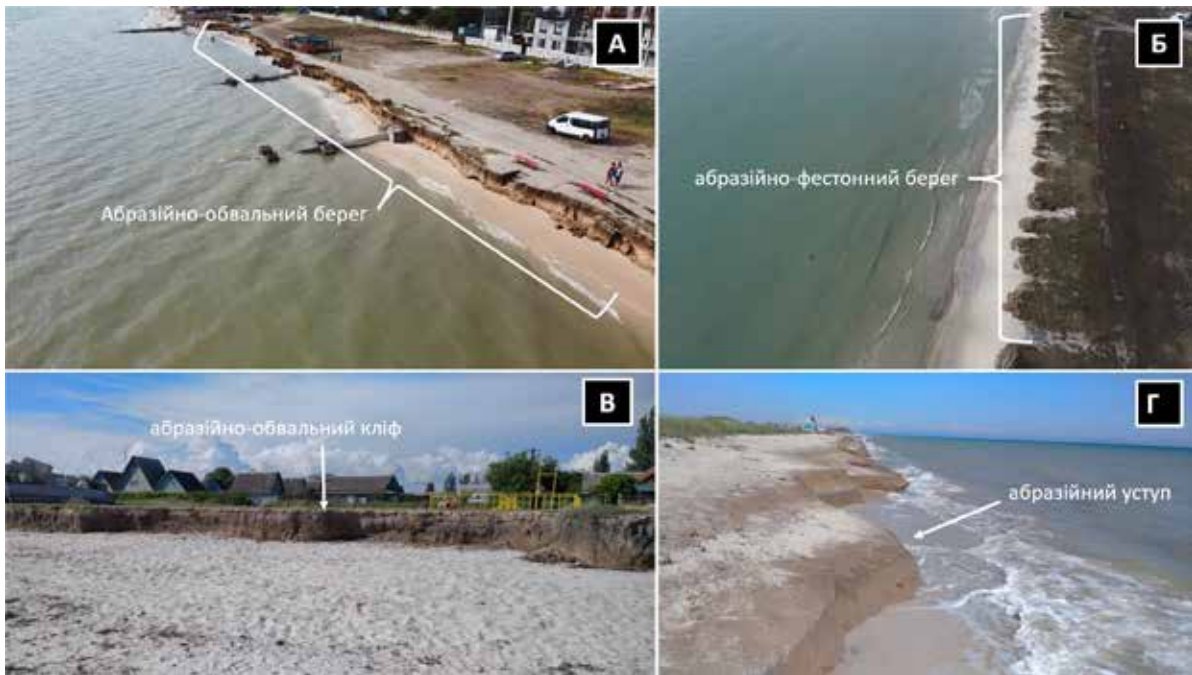


Рис. 3. Берегові абразійні форми в межах корінної ділянки: А – абразійно-обвальний берег; Б – фестонний абразійний берег (фото О.В. Давидова); В – абразійний кліф; Г – абразійний уступ (фото С.В. Сімченко)



Рис. 4. Пересипі в межах корінної ділянки берегу: А – пересип озера Кефальне; Б – еолові форми на поверхні пересипі озера Кефальне; В – пересип озера Устричне; Г – еолові форми на поверхні пересипі озера Устричне (фото О.В. Давидова)

абразійних форм та відкриття котловин прибережних озер. Зазначені процеси призвели до первинного розчленування берега. Акумулятивні процеси в місцях виходу до берегової смуги котловин озер призвели до формування пересипів та, як наслідок, загального вирівнювання контурів берегу (Зенкович, 1962).

Передумови дослідження. У середньому голоцені внаслідок багатолітніх ретроградаційних рухів у північно-східному напрямку береговий бар'єр (бар) Ахіллів Біг доєднався до виступу корінного суходолу (Правоторов, 1965). Відповідну подію слід розглядати як початок формування сучасної берегової системи Тендра – Джарилгач. Після притулення берегового бар'єра відбулося його поступове розділення на дві акумулятивні форми, між якими проявився виступ корінного суходолу. У межах відповідного виступу активно проявлялися процеси абразії як на поверхні підводного схилу, так і в межах берега (Зенкович, 1958; 1960; Правоторов, 1966).

Перші матеріали щодо швидкості абразії корінного берегу були отримані в кінці 40-х років ХХ ст., їхні параметри становили 2–3 м/рік (Зенкович, 1960). Подібні швидкості абразії проявлялися в межах корінного берегу системи і в 60-х роках ХХ ст. (Правоторов, 1966). Перші стаціонарні дослідження щодо визначення особливостей динаміки берегових абразійних форм були започатковані у 70-х роках ХХ ст. (Шуйський і др., 1992). За результатами багатолітніх стаціонарних спостережень (1972–1990 рр.) були визначені пересічні швидкості абразії бенчів та кліфів.

У 70-х роках минулого століття швидкості абразії кліфів у межах корінного берегу мали певні просторові відмінності. Максимальні швидкості були зафіксовані в межах західної частини виступу, у районі селища Залізний Порт, де вони дорівнювали 2,83 м/рік. У напрямку на схід швидкість абразії зменшувалася від 2,55 м/рік у районі селища Приморське (Більшовик) (далі – Приморське), до 0,5–0,7 м/рік – у районі селища Лазурне (Шуйський і др., 1992). Швидкість абразії бенчів залежно від глибини змінювалася від 0,01 м/рік (близько 4 м) до 0,11 м/рік (близько 1,0 м) (на жаль, просторові особливості абразії бенчів та їх локалізація авторами наведені не були) (Шуйський та ін. 2024).

У 1979 р. в межах західної частини досліджуваної корінної ділянки берега (район Залізного Порту) почалося будівництво берегозахисного комплексу, яке тривало близько десяти років та призвело до появи семи гравітаційних бун. Зазначена подія суттєво вплинула на природний хід еволюції всієї системи та корінної ділянки безпосередньо (Котовський, 1992).

Після створення берегозахисного комплексу змінилася літодинамічна ситуація вздовж усієї системи та ділянки корінного берега безпосередньо. Насамперед, навіть незважаючи на штучні відсипки піску, у межах комплексу почав розвантажуватися вздовжбереговий потік наносів. Як результат, у межах центральної та східної частин корінного берегу потік став ненасиченим, що призвело до посилення абразії. У районі східної частини Залізного Порту швидкості абразії наприкінці 80-х, на початку 90-х років ХХ ст. дорівнювали 2,8–2,9 м/рік, у межах Приморського – 2,5–2,6 м/рік, а в районі Лазурного – до 1,9 м/рік (Котовський, 1992).

Представлена ситуація ускладнилася після будівництва на початку 90-х років нових берегозахисних комплексів у східній частині Залізного Порту та у західній частині Лазурного. Суттєве погіршення ситуації проявилось в період із 1992 по 1996 р. після проходження серії екстремальних штормів (Шуйський і др., 1998) та проведення низки гідротехнічних заходів, спрямованих на намив пляжів, у Лазурному, з підводного схилу. У цей час у районі Приморського швидкості абразії знаходилися в межах від 2,65 до 2,81 м/рік, а в районі східної частини Лазурного перевищували 3 м/рік (Шуйський і др., 2005).

Наприкінці ХХ ст. найбільш катастрофічна ситуація мала місце в східній частині Лазурного (рис. 5). На жаль, на цей час стаціонарні дослідження вже не велися, тому визначення швидкостей абразії є достатньо умовними. У східній частині Лазурного за кілька років були зруйновані прибережні території кількох оздоровчих закладів. Ситуація набувала з кожним роком усе більш катастрофічного характеру. За таких умов для відновлення вздовжберегового руху наносів та знищення штучних осередків розвантаження потоку було прийнято рішення про демонтаж однієї з п'яти гравітаційних бун у Лазурному. Слід зазначити, що ситуація



кардинально не змінилася. Так, під час лише одного шторму у жовтні 2003 р. у східній частині Лазурного було зруйновано від 3 до 8 м берега. При цьому в західній частині селища ситуація була стабільною, бо в межах берегозахисного комплексу були сформовані потужні піщані пляжі.

Відправною точкою у зміні ситуації у східній частині Лазурного став дуже специфічний та рідкісний шторм у межах Джарилгацької затоки (Давидов та ін. 2007). Відповідна подія була викликана вітром східного – південно-східного напрямку зі швидкістю близько 35 м/с. З одного боку, шторм призвів до затоплення східної частини Лазурного, а з іншого – спричинив винесення певної кількості прибережно-морських наносів із Джарилгацької затоки через прорву в напрямку корінного берега, а також активізував рух наносів зі сторони коси Джарилгач.

Починаючи з 2009 р. у структурі вітрового режиму над Півднем України збільшилася кількість вітрів східного напрямку. Поступово це призвело до збільшення обсягів прибережно-морських наносів, які пересувалися у західному напрямку, що, своєю чергою, спричинило проявлення акумулятивних процесів

у береговій зоні Каркінітської затоки в районі Лазурного.

Уздовж корінного берега системи проявляються дві протилежних за напрямком сезонні міграції прибережно-морських наносів (Котовський, 1992; Давидов та ін., 2018). У теплу пору року в умовах домінування вітрів південного та південно-західного складників здійснюється міграція наносів із заходу на схід, а в холодний період міграція проявляється в протилежному напрямку (Котовський, 1992). В умовах наявності двох берегозахисних комплексів, розташованих у протилежних частинах корінного берега, найменша кількість прибережно-морських наносів надходить до його центральних районів, безпосередньо там, де розташоване Приморське. Саме тому в межах центральної частини корінного берегу на сучасному етапі активно проявляються процеси абразії (рис. 6).

Проведені нами в період із 2018 по 2021 р. польові дослідження в межах корінної ділянки берегової системи Тендра – Джарилгач дали змогу визначити загальне збільшення кількості наносів у районі Залізного Порту та Лазурного. У морфологічному відношенні ця ситуація підтверджується наявністю трьох великих підводних валів, розділених досить глибокими



Рис. 5. Проявлення катастрофічних абразійних процесів у береговій зоні Каркінітської затоки, у межах селища Лазурне, за період із 1993 по 2009 р.: А – місце розташування ділянок; Б – район ДОТ «Зірочка»; В – район б/в «Корабел»; Г – район між б/в «Нафтовик» та «Корабел»; Д – район ДОТ «Прибережний» (фото О.В. Давидова)



Рис. 6. Найбільш активні ділянки берега в межах корінного берега: А – місце розташування ділянок; Б – східна околиця Залізного Порту; В – центральна частина Приморського; Г – східна околиця Приморського (фото С.В. Сімченко)

міжваловими пониженнями. У районі Приморського проявляється тільки один вал, при цьому він не завжди чітко виражений, що свідчить про дефіцит прибережно-морських наносів і розмивання підводного схилу, що й зумовлює катастрофічну абразію берега.

Методологія дослідження. Представлене дослідження базується на комплексному підході, а тому включає у себе аналіз результатів попередніх досліджень, матеріали власних польових робіт та дані ретроспективного аналізу, основані на вивченні супутникових знімків.

Ураховуючи, що започатковану у 70-х роках ХХ ст. систему стаціонарних реперів було втрачено в кінці 90-х років, у межах контуру корінного абразійного берега (між Залізним Портом та Лазурним) була розроблена нова система. До нової системи увійшов 21 стаціонарний репер, розташований через кожні 500 м уздовж берега, їх місцезнаходження зафіксовано за допомогою GPS-приймача Garmin eTrex 10.

Нова система стаціонарних реперів використовувалася нами в період із 2018 по 2021 р. У межах кожної стаціонарної ділянки

вимірювання здійснювалися двічі на рік (у квітні – після холодного періоду та в жовтні – після теплого періоду). Зазначені вимірювання являли собою нівелювання (за допомогою оптичного нівеліру GEO-FENNELFAL 32) поверхні абразійного берегу та прилеглої частини підводного схилу до глибини 1,5 м (на окремих ділянках понад 2,0 м). За результатами нівелювання будувалися топографічні профілі поверхні, які відображали сезонні та багаторічні тенденції. Під час порівняння побудованих профілів розраховувалися кількісні параметри абразії кліфів.

Після лютого 2022 р. проведення польових досліджень стало неможливим, а тому був зроблений акцент на дистанційному аналізі та кореляції його результатів із даними GPS-фіксації реперів та матеріалами польової зйомки.

Ураховуючи, що стаціонарні дослідження в межах корінного берега здійснювалися лише в період із 1972 по 1997 р., було вирішено провести його ретроспективний аналіз на підставі вивчення супутникових знімків. Для проведення даного аналізу та визначення багаторічної тенденції розвитку досліджуваного



корінного берегу були використані супутникові знімки за період із 1965 по 2024 р.

Методика ретроспективного аналізу полягає у фіксації положення кромки кліфу на різних за віком супутникових знімках за допомогою прив'язки до системи координат. У подальшому зафіксовані положення кромки кліфу порівнювалися в просторово-часовому аспекті. Уздовж досліджуваного корінного берега було розроблено систему полігонів (за рахунок проведення трансект через кожні 50 м), яка узгоджувалась із координатами розташування стаціонарних реперів (через кожні 500 м). Опрацювання динамічних показників абразії кліфів проводилося шляхом співставлення лінійних шарів, побудованих на різних за віком супутникових знімках. Розрахунок геометрії та отримання аналітики даних проводилися за допомогою QGIS.

Для визначення хронології розвитку корінного берега, а також його просторових та морфодинамічних параметрів були використані супутникові знімки програми Keyhole (датасет «Declass-1»: KH-1.. KH-6, датасет «Declass-2»: KH-7, датасет «Declass-3»), Sentinel-2 (L2A), Landsat 9, Landsat 8 OLI + TIRS, Landsat 7 ETM+, Landsat 4-5 MSS, Landsat 4-5 TM. Знімки з роздільною здатністю від 2 до 8 м (<https://museum.kpi.ua/map/special/keyhole/>) отримані з таких ресурсів, як USGS, ESA, Sentinel Hub, Copernicus Open Access Hub, NASA. Обробка та аналіз проводилися за допомогою QGIS, ArcGIS, ENVI або Global Mapper, базові карти Esri (ansharpened Landsat, Landsat 8 and 9 pansharpened 15m). На основі файлів навігації та трекінгу (tsc grx) здійснено синхронізацію стаціонарних реперів (через кожні 500 м) із робочим набором супутникових знімків, що дало змогу визначити контрольні точки та провести їх узгодження між собою. Прив'язка супутникових знімків із наборів Declass – 1,2,3 проводилася шляхом використання GeoTiff із поправкою на кут зйомки, корекція здійснювалася за методом п'яти точок (співставлення розташування та параметрів лінійних та площинних об'єктів на місцевості, які не змінюють свою локалізацію за період спостережень (із 1960-х років дотепер), інфраструктура, промислові об'єкти, цивільна забудова тощо).

Результати дослідження. У даній публікації представлені результати як польових, так і дистанційних досліджень. Польові дослідження здійснювалися лише в межах окремої частини корінного берега, де на даний момент відсутні стаціонарні берегозахисні комплекси. Дистанційні дослідження базувалися на аналізі супутникових знімків та носили ретроспективний характер. Відповідні дослідження включають увесь контур корінного берега, а період аналізу охоплював час із 1965 по 2024 р.

Результати польових досліджень. Польові дослідження здійснювалися в межах корінного абразійного берега між східною околицею Залізного Порту та західною частиною пересипі озера Устричне (загальна довжина ділянки – близько 11 км). У межах відповідного берега вимірювання швидкості абразії здійснювалися відносно 21-го стаціонарного реперу.

Морфологічні риси та загальні динамічні тенденції дали змогу виділити в межах берега три ділянки: *східну*, від пересипі озера Устричного (46°7'28.20»N; 32°15'39.79»E) до східної межі Приморського (46°5'22.06»N; 32°25'6.58»E); *центральну*, від східної межі Приморського (46°5'22.06»N; 32°25'6.58»E) до його західної межі (46°5'34.04»N; 32°24'5.60»E); *західну*, від Приморського (46°5'34.04»N; 32°24'5.60»E) до Залізного Порту (46° 6'43.94»N; 32°18'58.04»E).

Східна ділянка має довжину близько 2,3 км, у її межах до берега виходять абразійні форми з висотами від 0,5 до 1,1 м, динамічність яких зростає зі сходу на захід. Біля притуленої частини пересипі озера Устричного розташовані невисокі абразійні форми до 0,5 м, до яких примикають пляжі шириною до 20 м. За період досліджень (2018–2021 рр.) розташовані у цій частині ділянки абразійні утворення ознак динамічної активності не проявили.

У напрямку до Приморського поверхня абразійних форм підвищується до 1,3–1,5 м, а ширина пляжів зменшується до 5–8 м, а на деяких ділянках пляжі відсутні. Розташовані тут кліфи та абразійні уступи достатньо активні та відступають із середньою швидкістю 0,6 м/рік, на окремих ділянках – 0,8–0,9 м/рік (рис. 7а).

Центральна ділянка має довжину близько 1,3 км, у її межах поширені абразійні кліфи

з висотою від 1,1 до 2,5 м. У межах усієї ділянки абразійні процеси дуже активні за винятком локальних зон розташування пасивних берегозахисних споруд. Середні швидкості абразії тут близько 0,5 м/рік, але локально можуть досягати від 1,3 до 1,8 м/рік (рис. 7б). Біля підніжжя кліфів переважно розташовані малопотужні пляжі неповного профіля шириною до 5 м. Залежно від сезону та особливостей гідродинамічної обстановки пляжі можуть бути відсутні.

Загальна довжина західної ділянки – близько 7,1 км, вона характеризується різноманітними абразійними формами та суттєвим фестончатим розчленуванням усього контуру. Уздовж усієї довжини берегу проявляється активна абразія, її швидкості знаходяться в межах від 0,9 до 2,1 м/рік (рис. 7в). Уздовж усього підніжжя абразійних форм поширені притулені пляжі шириною до 8 м.

Результати ретроспективного аналізу супутникових даних. Ретроспективний аналіз здійснювався нами вздовж усього досліджуваного корінного берега, але з акцентом на ділянки, у межах яких на природному етапі (Давидов та ін., 2018) розвитку проявлялися абразійні процеси. Відповідна ситуація

зумовлена тим, що методологія дистанційного дослідження абразійних та акумулятивних ділянок відрізняється.

Загальна довжина абразійних берегів (на природному стані) в межах системи становила близько 18 км, з яких 15 км – це ділянка між озерами Кефальне та Устричне, а 3 км – це ділянки в межах Лазурного. Морфологічні риси берегу та особливості його еволюції дали змогу виділити три дослідні ділянки: Залізнопортовську, Круглоозерсько-Приморську та Лазурненську.

Залізнопортовська дослідна ділянка розташована між східною межею озера Кефальне ($46^{\circ}7'28.20''N$; $32^{\circ}15'39.79''E$) та східною межею Залізного Порту ($46^{\circ}6'43.90''N$; $32^{\circ}18'58.23''E$). Загальна довжина ділянки – 4,4 км. У межах ділянки побудовано берегозахисний комплекс, сформовано штучні кишенькові пляжі, а тому абразійні процеси припинені. Відповідно, доречність проведення аналізу обмежена періодом із 1965 по 1991 р. для західної частини ділянки та 1965–1999 рр. – для східної.

Результати проведеного аналізу дають змогу стверджувати, що в період із 1965 по 1973 р. швидкості абразії вздовж усього контуру берега

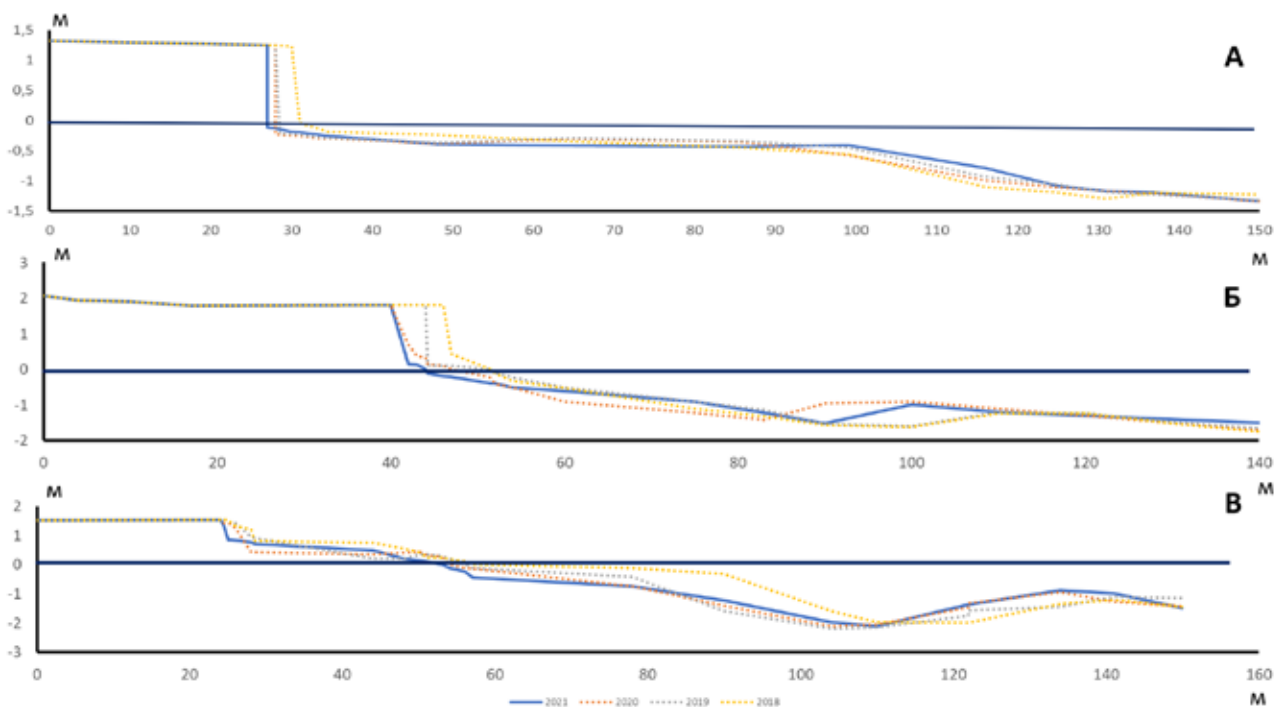


Рис. 7. Узагальнюючі динамічні профілі абразійних берегів: А – у межах східної ділянки; Б – у межах центральної ділянки; В – у межах західної ділянки



відповідної ділянки знаходилися в межах від 1,3–1,5 м/рік до 3,5–4,0 м/рік. За матеріалами попередніх дослідників (Зенкович, 1960; Правоторов, 1966), швидкості абразії на відповідній ділянці становили 2–3 м/рік. Підвищення швидкостей абразії можливо пояснити проявленням серії сильних штормів над регіоном Чорного моря в кінці 60-х – на початку 70-х років ХХ ст. (Davydov et al. 2024).

У період із 1973 по 1991 р. швидкості абразії вздовж берега Залізного Порту проявлялися в межах від 0,8–1,2 м/рік (у західній частині) до 2,8–4,4 м/рік (у східній частині). Слід зазначити, відповідні швидкості узгоджуються з матеріалами стаціонарних досліджень, а саме 2,83 м/рік у межах Залізного Порту (Шуйський та ін. 1992). У період із 1991 по 1999 р. абразія проявлялася лише у східній частині Залізного Порту, де її швидкості становили від 1,5 до 2,1 м/рік.

Круглоозерсько-Приморська дослідна ділянка розташована між східною межею Залізного Порту (46°6'43.90»N; 32°18'58.23»E) та західним берегом озера Устричне (46°7'28.20»N; 32°15'39.79»E). Загальна довжина ділянки – 10,7 км. Практично вздовж усієї довжини ділянки проявляються абразійні процеси, тому тут ретроспективний аналіз охоплює період із 1965 по 2024 р.

У період із 1965 по 1973 р. швидкості абразії вздовж дослідної ділянки проявлялися в межах від 2,1–2,3 м/рік до 3,1–3,8 м/рік, що узгоджується з матеріалами інших дослідників (Зенкович, 1960; Правоторов, 1966).

Із 1973 по 1991 р. швидкості абразії становили від 2,3–2,4 м/рік до 3,1–3,3 м/рік. За стаціонарними дослідженнями, у межах цієї ділянки швидкості абразії дорівнювали 2,55 м/рік (Шуйський и др., 1992). Отримані результати ретроспективного аналізу корелюються з матеріалами польових досліджень.

У період із 1991 по 1999 р. швидкості абразії підвищилися та знаходилися в межах від 2,6–2,9 м/рік до 3,3–3,5 м/рік, що пояснюється активізацією штормової активності (Шуйський и др., 1998). Зі стаціонарними вимірюваннями швидкість абразії дорівнювала від 2,65 до 2,81 м/рік (Шуйський и др., 2005).

Швидкості абразії за період із 2000 по 2024 р. зменшилися та знаходяться в межах від 0,7–0,9 м/рік до 1,5–1,6 м/рік. Відповідну

ситуацію можна пояснити зменшенням кількості штормових вітрів (так, лише у 2003 та у 2023 рр. були шторми високої інтенсивності) (Davydov et al. 2024). Важливим є той факт, що результати ретроспективного аналізу дуже близькі до результатів проведених польових досліджень: від 0,8–0,9 до 1,3–1,8 м/рік.

Лазурненська дослідна ділянка знаходиться між західною межею озера Устричне (46°4'30.21»N; 32°29'38.54»E) та місцем притулення коси Джарилгач до корінного берегу (46°4'1.43»N; 32°32'12.88»E). Загальна довжина ділянки – 3 км (не включає пересип озера Лазурненське та притулену частину коси Джарилгач). У межах західної частини знаходиться берегозахисний комплекс, тому ретроспективний аналіз тут охоплює період із 1965 по 1991 р. У східній частині аналіз здійснювався в період із 1965 по 2009 р.

За результатами аналізу в період із 1965 по 1973 р. уздовж досліджуваної ділянки швидкості абразії проявлялися від 0,9–1,1 м/рік до 1,5–1,8 м/рік. Найбільш активні абразійні процеси проявлялися в межах західної частини Лазурного.

За період із 1973 по 1991 р. швидкості абразії становили від 0,5–0,7 м/рік до 1,1–1,3 м/рік, при цьому найбільш активні процеси мали місце в західній частині населеного пункту. Слід зазначити, що результати стаціонарних досліджень – 0,9 м/рік (Шуйський и др., 1992) дуже добре корелюють із результатами, отриманими дистанційними методами.

У 90-х роках ХХ ст. абразійні процеси проявлялися у центральній та східній частинах селища зі швидкостями від 0,7–0,9 м/рік до 2,7–3,0 м/рік. За матеріалами стаціонарних вимірювань швидкості абразії були близько 3 м/рік.

У період із 2000 по 2024 р. реальні швидкості абразії визначити неможливо, оскільки перші п'ять років швидкості були просто катастрофічними – 3,5–5,0 м/рік, але потім абразійні процеси змінилися на акумулятивні, а абразійні форми були перекриті піщаними відкладами (Давидов та ін. 2018).

Дискусія. Представлені результати комплексного дослідження корінної ділянки берегової системи Тендра – Джарилгач мають певні дискусійні моменти. По-перше, досліджуваний корінний берег знаходиться в межах ділянки

транзиту вздовжберегового потоку наносів, у цьому контексті в його межах процеси абразії та акумуляції повинні бути врівноваженні. Зафіксована активізація абразійних процесів на природному етапі розвитку системи може бути пов'язана з посиленням штормової активності (Шуйский та ін., 1998; Davudov et al. 2024). За таких умов постає питання з просторовою диференціацією швидкостей абразії вздовж контуру берега. На нашу думку, пояснення причин формування відповідної ситуації може бути зумовлено місцем розташування ділянки (або кількох ділянок) конвергенції хвильової енергії (Морская геоморфология, 1980; Леонтьев, 2001) вздовж контуру фронтального берега системи Тендра – Джарилгач.

На ділянках конвергенції хвильової енергії не лише проявляється найбільш інтенсивна абразія, у її межах формується зона дивергенції вздовжберегових потоків наносів (Морская геоморфология, 1980). За таких умов відбувається інтенсивний винос прибережно-морських наносів за межі відповідної ділянки, а це призводить до інтенсифікації деструктивних процесів у береговій зоні, за правилом Шуйського (Шуйский, 2018).

По-друге, важливим питанням є визначення впливу берегозахисних комплексів на морфота літодинамічні процеси в береговій зоні. Будівництво в межах досліджуваного берега берегозахисних комплексів суттєво ускладнило літодинамічну ситуацію. У природному стані корінний берег системи являв собою ділянку транзиту прибережно-морських наносів. Після будівництва берегозахисних комплексів у береговій зоні з'являються ділянки, у межах яких провокується штучне розвантаження вздовжберегових потоків наносів. Для уникнення відповідної ситуації в межах комплексів повинні були проводитися штучні підпитки пляжів, але відповідні заходи були проведені лише на початку функціонування комплексів та лише в межах західної частини селища Залізний Порт (Котовський, 1992). За таких умов розвантаження потоків наносів спричинило гострий дефіцит прибережно-морських наносів та, як наслідок, призвело до активізації абразійних процесів на незахищених ділянках. Ураховуючи, що в межах досліджуваного берега розташовано два берегозахисні комплекси, літодинамічна ситуація

характеризується наявністю двох ділянок розвантаження потоку наносів, що, зрозуміло, суттєво ускладнює загальну ситуацію та впливає на активізацію абразійних процесів.

По-третє, проведений ретроспективний аналіз базується на вимірюваннях, що здійснювалися за супутниковими знімками, які зроблені в різні часові проміжки за допомогою різних технологій. За таких умов існує ймовірність похибок у вимірюваннях, але кореляція результатів із матеріалами польових стаціонарних досліджень указує на несуттєві відмінності, що говорить про достатньо високу достовірність результатів дистанційного дослідження.

Висновки. За результатами проведеного комплексного дослідження ми дійшли таких висновків:

1. Досліджуваний берег являє собою ділянку корінного суходолу в межах берегової системи Тендра – Джарилгач, яка складена бурими глинами та лесовидними суглинками. Відповідний берег характеризується специфічною морфоструктурною будовою, у якій невисокі прибережні плато, розташовані на поверхні брахіоантиклінальних складок, чергуються з прибережними зниженнями, розташовані в межах брахіосинклінальних складок. У морфологічному відношенні берег ускладнений чергуванням абразійних та акумулятивних ділянок. Абразійні ділянки проявляються вздовж 18 км берега, у їхньому складі абразійно-обвальні кліфи та абразійні уступи. У літодинамічному відношенні досліджуваний берег знаходиться на ділянці транзиту вздовжберегового потоку наносів, саме тому біля підніжжя абразійних форм проявляються пляжі неповного профіля, а на прибережному схилі мають місце підводні вали.

2. Досліджувана нами ділянка берегу має недостатню ступінь вивченості. Насамперед перші описи берегу та оцінювання швидкості абразії з'явилися лише у кінці 40-х років ХХ ст. Стаціонарні дослідження були започатковані на початку 70-х років, але в кінці 90-х років вони були припинені, незважаючи на проявлення катастрофічної абразії. Результати стаціонарних досліджень дають змогу стверджувати, що вздовж усього контуру досліджуваного берегу абразія проявляється перманентно, але її темпи мають певні просторові відмінності.



3) Проведене дослідження мало комплексний характер, оскільки воно включало польові та дистанційні роботи. Незважаючи на те що польові дослідження тривали лише чотири роки (2018–2021), їхні результати дуже важливі та показові, насамперед, для розуміння сучасних та прогнозування майбутніх динамічних тенденцій досліджуваного берегу. Було визначено, що в межах досліджуваної ділянки швидкості абразії знаходяться в межах від 0,8–0,9 до 1,8–2,1 м/рік.

Ретроспективний аналіз охоплював період із 1965 по 2024 р. та базувався на порівнянні просторового місцерозташування бровки абразійних форм, визначених на супутникових знімках різного віку. У період із 1965 по 1973 р. швидкості абразії становили від 1,1–1,3 до 3,5–4,0 м/рік, при цьому найбільш активні зміни мали місце в районі Залізного Порту. Із 1973 по 1991 р. швидкості абразії проявлялися в межах від 0,5–0,7 до 2,8–3,4 м/рік, максимальні – у східній частині Залізного Порту. Із 1991 по 1999 р. темпи абразії становили від 0,7–0,9 до 3,3–3,5 м/рік за найбільшої інтенсивності в районі Приморського та Лазурного. У ХХІ ст. швидкості абразії становили від 0,8–0,9 до 1,3–1,9 м/рік у районі між Залізним Портом та озером Устричне. Окремо слід відзначити сплеск абразії на початку століття в районі східної частини Лазурного.

4) Під час порівняння результатів комплексного дослідження з матеріалами попередніх досліджень визначено незначні розбіжності, переважно перевищення отриманих швидкостей над параметрами абразії, які були отримані попередніми дослідниками. Відповідну особливість можна пояснити саме специфікою методики ретроспективного аналізу, яка дає змогу охоплювати більш значні за розміром абразійні ділянки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Davydov, O., Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., Janušaitė, R., Buynевич, I.V., Pupienis, D. 2024. Effects of extreme storms on coastal erosion in non-tidal seas (the Baltic, Black, and Azov Seas). *International Baltic Earth Secretariat Publication*. No. 23. 32–33.
2. Davydov, O., Zinchenko, M. 2019. The «Winged Foreland» Abrasion-Accumulative Systems. *New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries: monograph*. Riga, Latvia. 302–327.

3. Davydov, O., Buynевич, I. 2023. Recent morohodynamics and closure implications of non-tidal inlet: Lazurnenska prorva, Black sea coast, Ukraine. *Scientific Bulletin of KSU Series Geographical Sciences*, 18. 41–48. <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2023-18-5>

4. Fox-Kemper, B., H.T. Hewitt, C. Xiao, G. Aðalgeirsdóttir, S.S. Drijfhout, T.L. Edwards, N.R. Golledge, M. Hemer, R.E. Kopp, G. Krinner, A. Mix, D. Notz, S. Nowicki, I.S. Nurhati, L. Ruiz, J.-B. Sallée, A.B.A. Slangen, and Y. Yu, (2021). Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1211–1362, <https://doi.org/10.1017/9781009157896.011>

5. Finkl, C. W., & Makowski, C. (Eds.). 2019. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93806-6>

6. Gulliver, F.P. 1898. Shoreline topography. *Proceeding of the American Academy of Arts and Sciences*. 34. 151–258.

7. Давидов, О.В., Бобилева, Т.Ю., Осадчий, С.С., Деміров Д.Д. 2007. Наслідки штормового нагону 23 березня 2007 року для розвитку берегової зони смт Лазурне. *Наукові записки Херсонського відділу Українського географічного товариства*. Вип. 3. 14–17. (Davydov, O.V., Bobyleva, T.Y., Osadchii, S.S., Demirov, D.D. 2007. Consequences of the storm surge of March 23, 2007 for the development of the coastal zone of Lazurne. *Scientific notes of the Kherson Department of the Ukrainian Geographical Society*. Issue 3. 14–17.) (in Ukrainian).

8. Давидов, О.В., Котовський, І.М., Роскос, Н.О., Зінченко М.О., 2018. Особливості еволюції вздовж берегової літодинамічної системи Тендра-Джарилгач в умовах антропогенного перетворення. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Географічні науки*. Вип. 9. С. 105–110. (Davydov, O.V., Kotovsky, I.M., Roskos, N.O., Zinchenko, M.O., 2018. Features of evolution along the coastal lithodynamic system Tendra-Dzharylgach in the conditions of anthropogenic transformation. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series: Geographical sciences*. Issue 9. С. 105–110.) (in Ukrainian).

9. Зенкович, В.П. 1958. *Берега Чорного и Азовского морей*. Москва. Государственное издательство географической литературы. 374 с. (Zenkovich, V.P. 1958. *Shores of the Black and Azov Seas*. Moscow. State Publishing House of Geographical Literature. 374 с.) (in Russian).

10. Зенкович, В.П. 1960. *Морфология и динамика советских берегов Чорного моря. Т. II (Северо-западная часть)*. Москва: Изд-во АН СССР. 216 с. (Zenkovich V.P. 1960. *Morphology and dynamics of the Soviet coast of the Black Sea. T. II (North-Western part)*. Moscow: USSR Academy of Sciences. 216 p.) (in Russian)

11. Зенкович, В.П. 1962. *Основы учения о развитии морских берегов*. Москва: Изд-во АН СССР,

710 с. (Zenkovich, V.P. 1962. *Fundamentals of the doctrine of the development of sea shores*. Moscow: Izd vo AS USSR, 710 p.) (in Russian).

12. Котовский, И. Н. 1992. *Морфология и динамика берегов Черного моря в пределах Херсонской области УССР*. Автореф. дисс. канд. геогр. наук: 11.00.04. Киев, 1992. 19 с. (Kotovskiy, I.N. 1992. *Morphology and dynamics of the Black Sea shores within the Kherson region of the Ukrainian SSR*. Author's thesis. kand. geogr. sciences: 11.00.04. Kiev, 1992. 19 с.) (in Russian).

13. Леонтьев, И. О., 2001. *Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов*. Москва, GEOS, 272. (Leontiev, I. O., 2001. *Coastal dynamics: waves, currents, sediment fluxes*. Moscow, GEOS, 272) (In Russian).

14. *Морская геоморфология. Терминологический справочник. Береговая зона: Процессы, понятия, определения* / под ред. Зенковича В. П., Попова Б. А., 1980. Москва: Мысль, 280 с. (*Marine geomorphology. Terminological reference book. Coastal zone: Processes, concepts, definitions* / edited by Zenkovich V. P., Popov B. A., 1980. Moscow: Mysl, 280 p.) (in Russian).

15. Никифоров Л.Г. 1977. *Структурная геоморфология морских побережий*. Москва: МГУ, 175 с. (Nikiforov L.G. *Structural geomorphology of sea coasts*. Moscow: MGU, 175) (in Russian).

16. Правоторов, И.А. 1965. Процесс развития аккумулятивной системы Джарылгач – Тендра и вопрос о ее возрасте, в связи с масштабами трансгрессии. *Тезисы по вопросу геологии побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах УССР*. Одесса. С. 33–40.

17. Pravotorov, I.A. 1965. The process of development of the Dzharylgach-Tendra accumulative system and the question of its age in connection with the scale of transgression. *Theses on the geology of the coast and bottom of the Black and Azov Seas within the Ukrainian SSR*. Odessa. 33–40). (in Russian).

18. Правоторов, И.А. 1966. Геоморфология лагунного побережья северо-западной части Черного моря (Исследование эволюции береговых форм с помощью гидрометеорологического метода). *Диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук*. Москва: Университет имени М. В. Ломоносова, 324. (Pravotorov I.A. 1966. *Geomorphology of the lagoonal coast of the north-western part of the Black Sea* (Investigation of the evolution of coastal forms by means of the hydrometeorological method). *Dissertation for the degree of Candidate of Geographical Sciences*. Moscow: Lomonosov University, 324 p) (in Russian)).

19. Шуйский, Ю.Д. 2018. *История развития и методология береговедения*. Одесса: Изд-во Астропринт, 448 с (Shuisky, Yu.D. 2018. *History of development and methodology of coastal science*. Odessa: Izd-vo Astroprint, 448) (in Russian).

20. Шуйский, Ю.Д., Выхованец, Г.В., Котовский, И.Н., Али Акель. 1992. Процессы абразии и их литодинамическое значение в пределах Днепровско-Каркинитской береговой области Черного моря. *Доклады Академии наук Украины*. 2. 83–86 (Shuisky, Y.D., Vykhovanets, G.V., Kotovskiy, I.N., Ali Akel. 1992. Abrasion processes and their lithodynamic significance within the Dnieper-Karkinitic coastal area of the Black Sea. *Reports of the Academy of Sciences of Ukraine*. 2. 83–86). (in Russian).

21. Шуйский, Ю.Д., Выхованец, Г.В., Борисевич, Т.Д. 2005. Современная динамика абразионных и аккумулятивных форм береговой системы «Тендра – Джарылгач» на побережье Черного моря. *Фальцефейнівські читання: Зб. наук. праць / відп. ред. С.В. Шмалей*. Т. 2. – С. 270–278 (Shuisky, Y.D., Vykhovanets, G.V., Borisevich, T.D. 2005. Modern Dynamics of Abrasion and Accretion Forms of the Tendra-Dzharylgach Coastal Accretion Forms on the Black Sea Coast. *Falzekein readings: Collection of scientific works* / ed. S.V. Shmalei. VOL. 2. 270–278). (in Russian).

22. Шуйский, Ю.Д., Выхованец, Г.В., Котовский, И.Н. 1998. Влияние сильных штормов на берег Черного моря в районе озера Устричное. *Краєзнавство і туризм: освіта, виховання, стиль життя*. Гол. ред. С.В. Михелі. Київ: Реформа, 245–247 (Shuisky, Y.D., Vykhovanets, G.V., Kotovskiy, I.N. 1998. Influence of strong storms on the Black Sea coast in the area of Lake Usterchnoye. *Local History and Tourism: Education, Upbringing, Lifestyle*. Editor-in-chief S.V. Mikheli. Kyiv: Reform, 245–247). (in Russian).

23. Шуйський, Ю.Д., Вихованець, Г.В., Стоян, О.О. 2024. Центральна частина берегової природної системи Тендра – Джарилгач, узбережжя Чорного моря. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. Т. 29. Вип. 1 (44). 93–108 (Shuisky, Y.D., Vykhovanets, G.V., Stoyan, O.O. 2024. The central part of the Tendra – Dzharylgach coastal natural system, Black Sea coast. *ONU Bulletin. Ser.: Geographical and geological sciences*. Vol. 29, Issue 1 (44). 93–108) (in Ukrainian).

Стаття надійшла до редакції 20.11.2024.

The article was received 20 November 2024.