

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-02>  
УДК (UDC): 551.4.042+551.467

**О. Б. МУРКАЛОВ**, канд. геогр. наук,  
доцент кафедри фізичної географії, природокористування  
та геоінформаційних технологій  
e-mail: [ugeocoast@gmail.com](mailto:ugeocoast@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8439-737X>  
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова  
вул. Дворянська, 2, м. Одеса, 65082, Україна

## РЕЛЬЄФООУТВОРЮЮЧА РОЛЬ ЛЬОДОВОГО ФАКТОРУ В БЕРЕГОВІЙ ЗОНІ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ

**Мета.** Визначення ролі льодового фактору в морфолітодинаміці берегової зони північно-західної частини Чорного моря.

**Методи.** Польові та камеральні роботи проведені в зимові сезони 2005-2019 рр. в північно-західній частині Чорного моря. Роботи включали в себе геометричне нівелювання пляжу та поверхні берегового припаю, буріння льодової товщі, проміри глибин, відбір проб наносів та льодового керну. Вміст наносів в льоді припаю визначався шляхом їх зважування після розтоплення і випарювання льодового керну відомого об'єму.

**Результати.** На відкритому березі та в межах Одеської затоки спостерігались: формування берегового припаю, насуви льоду і торосів, замерзання поверхні акумулятивних форм, змерзання припаю з поверхнею пляжу та дном, вмержання в лід викинутих на поверхню наносів, формування еолових накопичень на поверхні льоду. На пляжі і прилеглому дні відмічені сліди льодового виорювання та гряди льодового напору. При таненні викинутого на берег та похованого в товщі наносів льоду формувались жолоби стоку талих вод, вали з відталих наносів та ями втаювання.

Береговий припай в Одеській затоці в лютому 2006 р. мав товщину 1,0-1,6 м, сформувались тороси висотою 0,8-2,3 м. Середній вміст наносів в припайному льоді дорівнював 15,7 г/м<sup>2</sup>-111,5 г/м<sup>2</sup>. На захищеній акваторії в межах Одеського берегозахисного комплексу товщина льоду дорівнювала 0,5 м. При повторних промірах зафіксовано тимчасове накопичення наносів в інтервалі глибин 1,5-2,0 м на відстані 30-40 м від урзу. Середній вміст наносів в льоді берегового припаю на захищеній акваторії дорівнював 186,5 г/м<sup>2</sup>. Товщина льоду на поверхні пляжів відкритого берега дорівнювала 0,2-0,5 м. На замерзлій поверхні пляжу формуються прибіжним потоком та штормовим заплескуванням вали з піщаних, гравійно-галькових наносів висотою від 0,4-0,8 м до 1,0 м і об'ємом 1,2-1,4 м<sup>3</sup>/м.

**Висновки.** В північно-західній частині Чорного моря вплив льодового фактору характеризується ритмічністю прояву впродовж суворі, помірної і теплої зими. Має в цілому несуттєве значення. На локальних ділянках і в окремі суворі зими здатний викликати значну переробку рельєфу і наносів, призводити до ушкодження гідротехнічних споруд.

Середній вміст наносів в припайному льоді відкритого берегу мінімальний, середній для берегів Одеської затоки та максимальний для штучних пляжів Одеського берегозахисного комплексу. Він зумовлений особливостями формування берегового припаю і гідродинамікою акваторії цих ділянок берега.

Рельєфоутворююча та літодинамічна роль льоду проявляється в блокуванні акваторії від прямого впливу хвилювання; зростанні ролі підльодних течій в динаміці дна; формуванні мезо- і мікрорельєфу пляжів впродовж розвитку і танення берегового припаю; вилученні з пляжів до 10-20% об'єму наносів. Форми рельєфу, які сформувались в результаті дії льодового фактору, несуттєві і існують впродовж часу його дії та зникають після штормів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** берегова зона, льодовий фактор, наноси, рельєф, Чорне море

**Як цитувати:** Муркалов О. Б. Рельєфоутворююча роль льодового фактору в береговій зоні Північно-західної частини чорного моря. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 20-30. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-02>

**In cites:** Murkalov, O. B. (2021). Relief-forming role of the ice factor in the coastal area of the northwest part of the Black Sea. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 20-30. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-02>

© Муркалов О. Б., 2021



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.

## Вступ

Прояв льодового фактору в береговій зоні підпорядковується закону широтної географічної зональності. Як було зазначено [1, 2] в високих широтах лід ведучий, а на декотрих ділянках берегів єдиний агент підготовки, транспортування та відкладання осадового матеріалу. Механізми його впливу, та тип відкладень залежать від типу льоду: річковий, морський, глетчерний. Провідні закономірності та механізми впливу льодового фактору на берега отримані переважно для умов припливних замерзаючих морів [2-10].

В помірних широтах розвиток льоду характеризується сезонним ходом. Низька солоність морської води, наявність мілководних заток та лиманів з послабленим гідродинамічним режимом, виніс річками прісної води обумовлюють щорічне утворення морського льоду в північно-західній частині Чорного моря. Особливістю льодового режиму є неодноразове утворення та зникнення льоду впродовж однієї м'якої, помірної чи суворої зими [11]. Процеси льодоутворення відрізняються в північній і південній частинах досліджуваного узбережжя. Якщо на півночі області лід формується щорічно, то в південній частині льодоутворення відбувається не завжди і залежить від типу зими та гідрометеорологічних умов. Отже вплив льодового фактору в межах північно-західної берегової області відрізняється в різних її частинах. Сучасні глобальні кліматичні зміни привели до зміни льодового режиму північно-західної частини Чорного моря. В останні 20-30 років згідно з [11,12] на 13-15 % зросла повторюваність м'яких зим, повторюваність помірних та суворих зим зменшилась на 4-5 % та 13-19 % відповідно, приблизно на місяць зменшилась тривалість льодового періоду. Відповідно зменшується і вплив льодового фактору в береговій зоні північно-західної частини.

Дослідження морфолітодинамічної ролі льодового фактору на регіональному рівні в береговій зоні північно-західної частини Чорного моря викладені в роботах [13-15]. Аналіз результатів цих епізодичних спостережень показав, що на зазначеній ділянці узбережжя вплив льодового фактору більш досліджений для берегів заток у порівнянні з відкритим берегом. Увагу приділено тільки геоморфологічній ролі берегового припаю, інші види льоду, наприклад річковий, не досліджувалися. При достатньо доброму вивченні рельєфоутворюючої ролі льодового

фактору в береговій зоні недостатньо вивченим залишається питання його літодинамічної ролі та її кількісної характеристики.

Співставлення результатів дослідження льодового фактору в береговій зоні замерзаючих морів та Чорного дозволило з'ясувати, що в першому випадку літодинамічна роль льодового фактору на окремих ділянках співставними з дією хвиль і течій [1, 2, 8]. В другому випадку вплив льодового фактору має в цілому несуттєве значення, але на локальних ділянках та в окремі суворі зими здатний викликати значну переробку рельєфу та наносів, або привести до пошкодження гідротехнічних споруд [15]. Така різниця пояснюється різним за часом та інтенсивністю впливом льодового фактору в конкретних природних умовах на фоні коливань рівня водойми, температурного, вітрового і хвильового режиму узбережжя.

Відомо, що лід в береговій зоні спричиняє прямий та непрямий вплив на берегові процеси. Такий поділ спрощений і багатьма дослідниками характеризується як умовний [2, 14, 18, 19]. З'ясувалось, що типи впливу льоду на рельєф берегу замерзаючого припливного і незамерзаючого без припливного морів подібні. Прямий механізм впливу льоду на береговий морфолітогенез в межах літоди-намічних осередків проявляється у екарації надводної і підводної частин пляжу, місцевому розмиві, обмеженні товщини і об'ємів рухливих наносів при змерзанні їх товщі, льодовому наносообміні в межах берегової зони і з глибоководною частиною моря. Одночасно з механізмами прямого впливу проявляються непрямі, пов'язані із захистом льодом берегу і дна від дії морського хвилювання і припливів. Це приводить до зростання в динаміці берегової зони ролі не хвильових чинників рельєфоутворення таких як: сезонний прояв коливань температури, випадіння атмосферних опадів, дія вітру на поверхню пляжів та ін.

До непрямих механізмів впливу на береговий морфогенез належать: виключення з-під впливу хвилевих течій і коливань рівня моря частини форм рельєфу під час встановлення припаю; вмержання наносів в льодову товщу при льодоутворенні, бронювання поверхні та зростання стійкості форм рельєфу при змерзанні води під час загасання шторму; виключення рельєфу берегової зони з-під прямого впливу еолового чинника в період змерзання

води на поверхні пляжу, насуві на нього крижини з боку моря, випадіння снігу; формування жолобів стоку і вибоїн від талої води під час танення крижин, шматків льоду, снігу, або випадінні рідких атмосферних опадів.

Прямі та непрямі механізми численні і дуже різноманітні. У природі вони впорядковані і характеризуються певною черговістю прояву, хоча й проявляють себе одночасно, тісно взаємодіють між собою та усіма іншими нехвилевими і гідрогенними чинниками, утворюючи закономірний льодовий режим. Він характеризується ритмічністю і проявляє себе впродовж зими різного типу – суворі, помірної і теплої, якщо формується

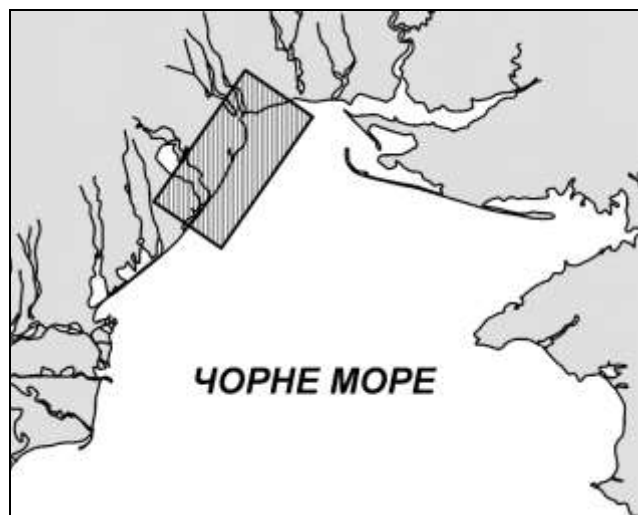
морський лід [12]. В умовах мілководної північно-західної частини та широкого розповсюдження піщаних акумулятивних форм існують сприятливі умови для багаторазового формування і руйнування берегового припаю, вмерзання пляжових і донних наносів в припай з подальшим винесенням їх в глибоководну частину, або поверненню на берег. Тому дослідження прояву льодового фактору в береговій зоні незамерзаючого без припливного моря залишається актуальним.

**Мета** – визначення ролі льодового фактору в морфолітодинаміці берегової зони північно-західної частини Чорного моря.

### Методика

Спостереження за льодовим фактором проводились в зимові сезони 2005-2019 рр. в береговій зоні північно-західної частини

Чорного моря (рис. 1). Роботи включали в себе геометричне нівелювання пляжу та поверхні берегового припаю, буріння льодової



**Рис. 1** – Розміщення ділянки спостережень в північно-західній частині Чорного моря (заштрихований квадрат)

**Fig. 1** – Location of the observation site in the northwestern part of the Black Sea (shaded square)

товщі, промірні роботи, відбір проб наносів та льодового керну. Дослідження виконано у відповідності з методикою [16, 17]. Рельєф берега та поверхні льоду визначався методом геометричного нівелювання нівеліром Н-3К.

Проміри глибин виконані з поверхні льоду геодезичною рейкою довжиною 4 м. Вздовж розміченого тросу через 5 м ручним буром проводилось буріння лунок і фіксація їх положення кольором. Проміри виконані після буріння всіх лунок. Робоча глибина визначалась з врахуванням товщини зануреного льоду

за виключенням шару шуги. Вміст наносів в льоді визначався шляхом їх зважування після розтоплення і випарювання льодового керна відомого об'єму [15, 17]. Дана методика підана критиці В. Г. Чувардинським [7]. За думкою автора розтоплені зразки льоду не дозволяють достатньо точно судити про кількість матеріалу представленого фракціями гальки та валунів.

Оскільки в наносах пляжів району досліджень переважають піщані фракції, ця методика застосовна, що й показало її опробування.

## Результати та обговорення

Прямий та непрямий вплив льоду на береги північно-західної частини Чорного моря формує під впливом східних фізичних механізмів подібні з замерзаючими морями форми рельєфу (рис. 2). На відкритому бе-резі та в межах Одеської затоки спостерігалось формування берегового припаю, насувів льоду і торосів, які блокували берег від впливу хвилювання.

Відмічено замерзання поверхні акумулятивних форм, змерзання припаю з поверхнею пляжу та дном, вмержання викинутих на поверхню припаю наносів в лід, формування еолових накопичень на його поверхні. На пляжі і прилеглому дні відмічені сліди виорювання, формувались гряди льодового напору.

При таненні викинутого на берег льоду формувались жолоби стоку талих вод, спостерігалось формування валів з відталих наносів та воронки відтаювання при таненні похованих в товщі наносів крижин.

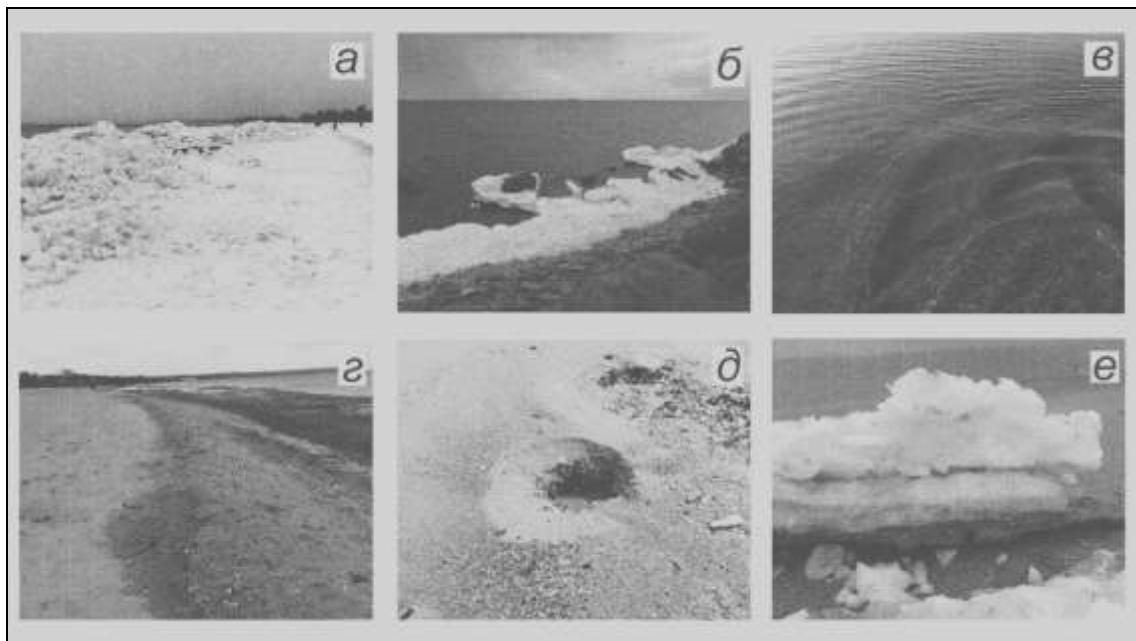
В лютому 2006 р., під час середньої по суворості зими 2005-2006 рр., в Одеській затоці утворився льодовий покрив, потужністю до 0,3 м (рис. 3). У зв'язку з частими вітрами від морської сторони горизонту відбувалося насунення нових шарів льоду на крижини недалеко від берега і безпосередньо на берег. Внаслідок цього від берегової лінії у бік моря товщина льодового покриву зростає. В 100 м від берега вона дорівнювала 1,0 м, а в 200 м - 1,6 м. На відстані 100, 160 і 250 м від берега утворилися гребені торосів, заввишки від 0,8 до 2,3 м. Виявилось, що з віддаленням від узрізу на 100-400 м від берега, товщина льодового покриву в 3-7 разів більше його середньої товщини по ширині припаю. Закономірно більшим виявилось і насичення наносами цієї частини припаю на одиницю площі (1 м<sup>2</sup>).

Об'ємні розміри пляжу на стаціонарній ділянці складала від 7 до 15 м<sup>3</sup>/м. Підводний схил тут відрізняється загальним ухилом і рельєфом на різних ділянках. Тому під час вітрових згонів товща льоду стикалася з наносами підводного схилу на різній відстані (від 150 до 700 м) від берега на ділянках І і ІІ (рис. 3).

При опусканні льоду на прибережне дно під час згонів відбувається вмержання наносів в льодову товщу. Це основний шлях насичення шару льоду осадовим матеріалом на цій ділянці берегової зони, як і в умовах замерзаючих морів [2, 14].

В період спостережень 2005-2019 рр. встановлено, що середній вміст наносів в припайному льоді відрізняється на різних ділянках берега затоки. На північному фланзі їх вміст дорівнював 15,7 г/м<sup>2</sup>, в центральній частині – 106,6 г/м<sup>2</sup> та 111,5 г/м<sup>2</sup> на південному фланзі. Отримані величини добре співвідносяться з розмірами пляжів, особливостями будови підводного схилу і вітро-хвильовими умовами цих ділянок. Параметри пляжів і запаси наносів тут зростають в південному напрямку, одночасно підводний схил стає більш відмілним, великість наносів зменшується, а вітро-хвильовий режим послаблений наявністю портових споруд. У зими 1953-1984 рр. згідно з [15] в Одеській затоці вміст наносів в льоді зменшувався від 1167-1642 г/м<sup>2</sup> до 14-19 г/м<sup>2</sup> в бік моря. Кількість наносів які вмержали в лід на різних ділянках профілю досягала максимум до 120-130 кг на 1 пог. м берега (рис. 4). Суттєву роль на берегах затоки, як вже відмічалось [15], відіграє еоловий фактор. Наноси здуваються на поверхню льоду утворюючи навіяний шар товщиною декілька сантиметрів. В подальшому вони змерзаються з припаєм, формуючи його шарувату структуру (рис. 2, е). При тому, що багаторічне значення акумуляції пляжеутворюючих наносів на пляжах Одеської затоки складає від 0,9 до 1,8 м<sup>3</sup>/м в рік [15], виходить, що лід може вилучити з пляжу 10-20% усієї маси піщано-черепашкових наносів. Ця величина льодових втрат наносів значна, але не критична, оскільки не може привести до вилучення всіх пляжевих наносів уздовж берега від Одеської затоки до м. Очаківського.

Дослідження льодового фактору в межах Одеського берегозахисного комплексу дозволили встановити ряд особливостей його впливу на штучні пляжі. Головними рисами льодового режиму тут є поступовий розвиток льодового покриву. Відбувається змерзання наносів поверхні штучного пляжу та формування припаю. Формується шарувата товща з наносів та льоду. Припай може бути зруйнований штормами, які викидають на пляж окремі брили льоду в тому числі і з вмержаними наносами. Нерідко викинуті на поверхню льоду та пляжу наноси формують незначні за розмірами вали. Отже льодовий фактор опосередковано впливає на процеси наносообміну між частинами штучного пляжу та диференціації наносів по його профілю.

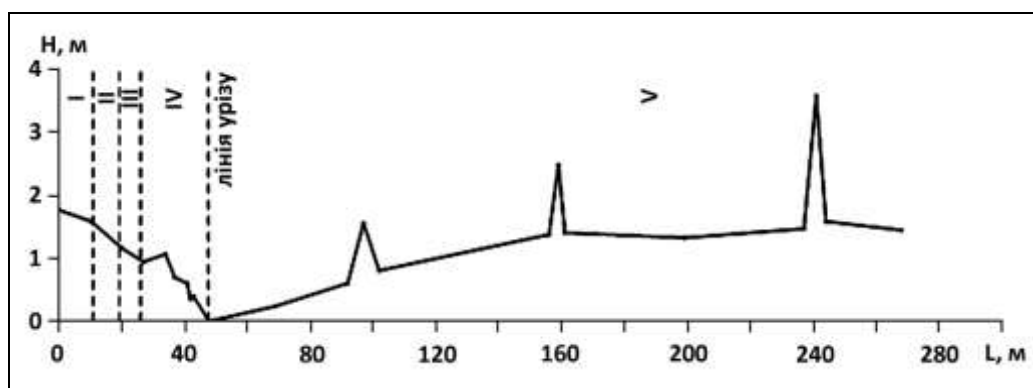


Умовні позначення: а, б – блокування берегу торосами та припаєм;  
в – сліди льодового виорювання на дні; г – гряди льодового напору (урізова частина) та гряди матеріалу, які формуються при таненні вичавлених на пляж крижин; д – воронка витаювання;  
е – прошарки вмержлих наносів в брилі льодового припаю

**Рис. 2** – Прояви прямого та непрямого впливу льодового фактору в береговій зоні північно-західної частини Чорного моря (фото автора)

Symbols: а, б – blocking the shore with hummocks and solder;  
в - traces of ice bursting at the bottom; г – ridges of ice pressure (cut-in part) and ridges of material, which are formed during the ice squeezed melting on the coast line; д – hovering funnel;  
е – layers of frozen sediments in the block of ice solder

**Fig. 2** – Signs of direct and indirect influence of the ice factor in the coastal zone of the north-western part of the Black Sea (photo by the author)

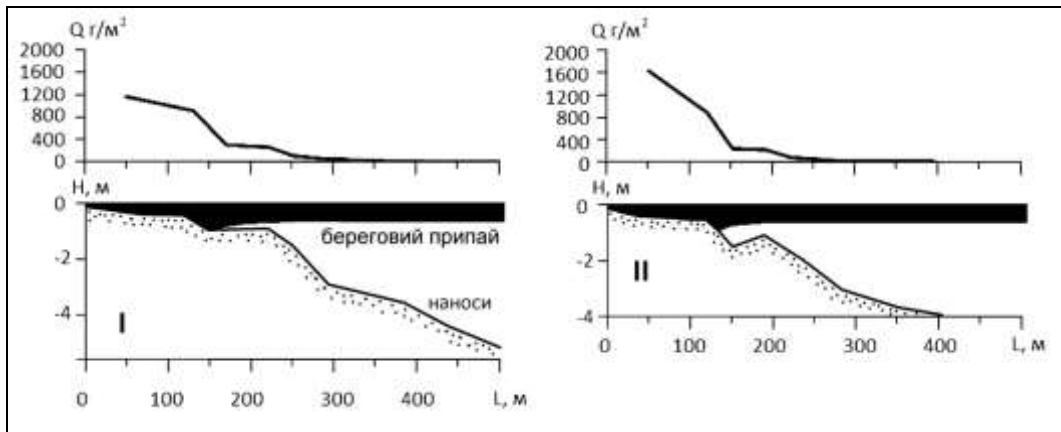


Умовні позначення: Зони: I - IV – пляж (I – шари еолових наносів з снігом і льодом (потужність 0,05 м), II – сухий пісок, який не змерзся, III – сніг і лід без наносів (потужність до 0,2 м), IV – вали піску і гравію, які змерзлися); V – зона суцільного льоду і торосів (висота торосів від 0,3 до 1,61 м).

**Рис. 3** – Будова льодового покритву і основні морфологічні зони пляжу в центральній частині Одеської затоки

Symbols: Zones: I - IV – beach (I – layers of aeolian sediments with snow and ice (thickness 0.05 m), II – dry sand that has not frozen, III – snow and ice without sediments (thickness up to 0.2 m), IV – shafts of sand and gravel, which are frozen); V – area of solid ice and hummocks (height of hummocks from 0.3 to 1.61 m).

**Fig. 3** – The structure of the ice cover and the main morphological zones of the beach in the central part Odessa Bay



Умовні позначення: I - II – номери профілів.

**Рис. 4** – Зміна вмісту наносів в льоду (Q) уздовж припая Одеської затоки (за даними [15])

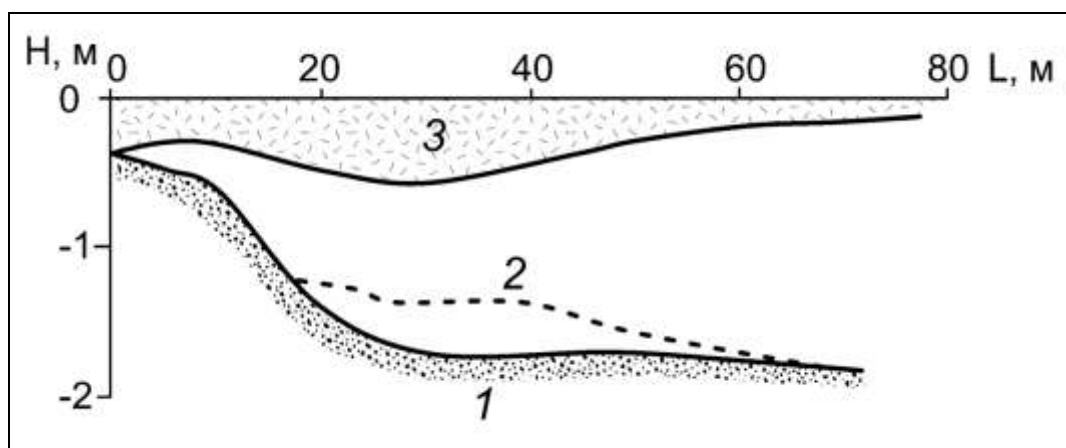
Symbols: I - II – profile numbers.

**Fig. 4** – Change in the content of sediments in the ice (Q) along the solder of Odessa Bay (according to [15])

При подальшому зниженні температури повітря і води площа припая зростає. Льодом вкривається вся захищена акваторія обмежена бунами та підводним хвилеломом. На захищеній акваторії утворюється суцільний, інколи порушений торосами льодовий покрив товщиною до 0,5 м (рис. 5), який блокує прямий вплив хвиль та прибійного потоку. З морського боку льодовий покрив рухливий і представлений полями морського блинчатого льоду незначної товщини.

Лід блокує захищену акваторію від прямого впливу хвилювання, але не перешкоджає рельєфоутворюючій діяльності течій

під льодом. Це вдалося з'ясувати при повторних промірах. Повторний промір показав тимчасове накопичення наносів в інтервалі глибин 1,5-2,0 м на відстані 30-40 м від урізу (рис. 5). Також встановлено, що середній вміст наносів в льоді берегового припая тут дорівнює 186,5 г/м<sup>2</sup>. Він суттєво перевищує такий же показник для природних пляжів Одеської затоки. Не зважаючи на це льодовий виніс наносів з штучних пляжів менший, ніж з природних, що пов'язано з меншою довжиною припая, який взаємодіє з дном і пляжем, обмеженням його рухливості



Умовні позначення: 1 – початковий профіль дна, 2 – профіль дна за результатами повторного проміру, 3 – береговий припай.

**Рис. 5** – Рельєф підводного схилу захищеної акваторії

Symbols: 1 – initial bottom profile, 2 – bottom profile based on the results of repeated measurement, 3 – shore solder.

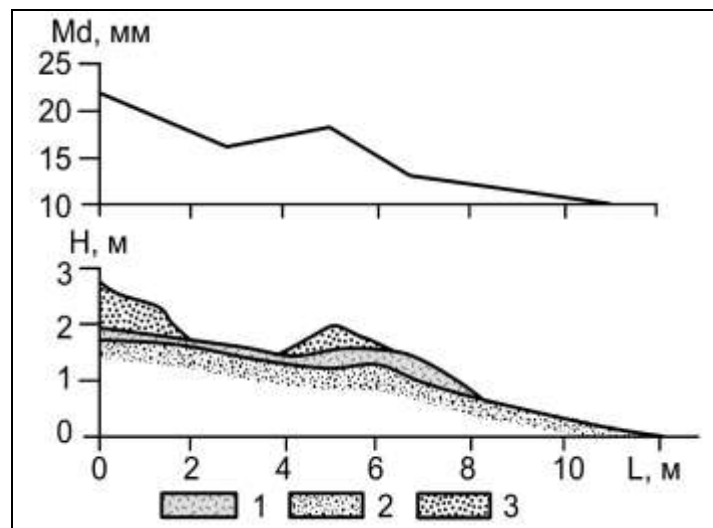
**Fig. 5** – Relief of the underwater slope of the protected area

гідротехнічними спорудами та обмеженим проявом еолового фактору. Його можна оцінити в 14,9 кг з погонного метра берега та враховувати при експлуатації штучних пляжів Одеського берегозахисного комплексу.

Як було зазначено вище, вплив льоду на відкритий берег вивчений, в порівнянні із затоками, у меншій мірі. На ділянці берегу від мису Великий Фонтан і до Жебриянської бухти пляжі відкриті дії хвилювань і більш динамічніші в порівнянні з пляжами на ділянках розташованих північніше. Вони характеризуються середнім об'ємом до 15 м<sup>3</sup>/м. З урахуванням обмеженого часу льодоставу, швидкого танення льоду при його винесенні в море і приглубості підводного схилу моря,

виніс наносів можна оцінити в 1,2-1,5 м<sup>3</sup>/м впродовж року. Загалом це складає до 8-10% усієї кількості пляжевих наносів на цьому відрізку відкритого морського берегу. При тому, що середні величини живлення пляжів зазвичай складають до 3-4 м<sup>3</sup>/м-рік пляжеутворюючих наносів [15], льодовий чинник не в змозі серйозно вплинути на розміри пляжів. Це також пов'язано з тим, що частина льоду разом з вмерзлим наносами може бути викинута назад на берег.

Будова пляжу відкритого берегу, яка сформувалась під час суворої зими, та розподіл наносів за величиною представлені на рисунку 6. Товщина льоду на його поверхні під час досліджень дорівнювала 0,2-0,5 м.



Умовні позначення: 1 – суцільний лід, 2 – гравійно-галькові наноси, 3 – галька.

**Рис. 6** – Будова і розподіл наносів пляжу відкритого берегу в сувору зиму

Symbols: 1 – solid ice, 2 – gravel-pebble deposits, 3 – pebbles.

**Fig. 6** – Structure and distribution of open beach deposits in severe winter

На замерзлій поверхні пляжу формуються прибойним потоком та штормовими заплескуванням вали з піщаних, гравійних або галькових наносів висотою від 0,4-0,8 м до 1 м і об'ємом 1,2-1,4 м<sup>3</sup>/м. Великість наносів збільшується до тилу пляжу, що пояснюється їх потраплянням в цю частину під час найбільш

значних хвилювань. Незначний стрибок великості відзначається в центрі пляжу - в межах першого валу. Між урізом і валами великість наносів знижується, що пов'язано або з відсутністю наносів на поверхні льоду, або накопиченням дрібних фракцій зворотнім прибойним потоком при його стиканні з валів.

### Висновки

В північно-західній частині Чорного моря вплив льодового фактору характеризується ритмічністю прояву впродовж суворої, помірної і теплої зими. Він чинить прямий та непрямий вплив на процеси і форми рельєфу берегової зони і має в цілому несуттєве значення, але на локальних ділянках та в окремі суворі зими здатний викликати значну переробку

рельєфу та наносів, приводити до пошкодження гідротехнічних споруд.

На ділянці дослідження лід насичується наносами наступним шляхом: при опусканні льоду на дно і при його контакті з пляжем (основний механізм); виносі безпосередньо на поверхню і по тріщинам в припаї при значних хвилюваннях; еоловий переніс (на окремих

ділянках може бути порівняним з першим механізмом).

Середній вміст наносів в припайному льоді для відкритого берегу мінімальний, середній для берегів Одеської затоки та максимальний для штучних пляжів Одеського берегозахисного комплексу. Він контролюється параметрами пляжів, характером дна і особливостями вітро-хвильового режиму акваторії.

Рельєфоутворююча та літодинамічна роль льоду проявляється в блокуванні акваторії

від прямого впливу хвилювання; зростанні ролі підльодних течій в динаміці дна; формуванні мезо- і мікрорельєфу пляжів впродовж розвитку і танення берегового припаю; вилученні з пляжу до 10-20% об'єму наносів.

Форми рельєфу, які сформувались в результаті дії льодового фактору, несуттєві і існують впродовж часу його дії та зникають після штормів.

### Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автор повністю дотримувався етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

### Література

1. Лисицын А. П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 367 с.
2. Огородов С. А. Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. М.: Изд-во МГУ, 2011. 173 с.
3. Мещеряков Н. И. Современное осадконакопление в заливе Грён-Фьорд (западный Шпицберген): диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук: 25.00.28 - Океанология. Мурманск: Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН. 2017. 120 с.
4. Огородов С. А., Мазнев С. В., Бухарин П. И. Ледово-эзарационный рельеф на дне Каспийского и Аральского морей. *Изв. РГО*. 2019. Т. 151. № 2. С. 35–50. URL: <https://doi.org/10.31857/S0869-6071151235-50>  
URL: [https://www.rgo.ru/sites/default/files/izv\\_rgo\\_2019-2\\_35-50opt.pdf](https://www.rgo.ru/sites/default/files/izv_rgo_2019-2_35-50opt.pdf)
5. Романенко Ф. А., Репкина Т. Ю., Ефимова Л. Е., Булочникова А. С. Динамика ледового покрова и особенности ледового переноса осадочного материала на приливных осушках Кандалакшского залива Белого моря. *Океанология*. 2012. Т. 52. № 5. С. 768–779.
6. Тарасов Г. А. Количественная оценка терригенных включений морского льда в прибрежной зоне Баренцева моря. *Докл. АН СССР*. 1981. Т. 256. №4. С. 936–940.
7. Чувардинский В. Г. Геолого-геоморфологическая деятельность припайных льдов (по исследованиям в Белом море). *Геоморфология*. 1985. № 3. С. 70-77.
8. Barnes, P., Reimnitz, E., & Fox, D. (1982). Ice Rafting of Fine-Grained Sediment, a Sorting and Transport Mechanism, Beaufort Sea, Alaska. *Journal of Sedimentary Research*, 52, 493-502. URL: <https://doi.org/10.1306/212F7F86-2B24-11D7-8648000102C1865D>
9. Kempema, E.W., Reimnitz, E., & Barnes, P. (1989). Sea ice sediment entrainment and rafting in the Arctic. *Journal of Sedimentary Research*, 59, 308-317. URL: <https://doi.org/10.1306/212F8F80-2B24-11D7-8648000102C1865D>
10. Niels Nielsen (1988). Observations of sea ice influence on the littoral sediment exchange, North Zealand, Denmark, *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 88:1, 61-67. URL: <https://doi.org/10.1080/00167223.1988.10649258>
11. Гаврилюк Р. В., Берлинский Н. А. Опасные морские гидрологические явления в северо-западной части Черного моря. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. 2019. Т. 24(2). С. 26-39. URL: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.2\(35\).183727](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.2(35).183727)
12. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море. / Ю. П. Ильин и др. Севастополь: МЧС и НАН Украины. Морское отделение УНИГИМИ, 2012. 421 с. URL: [https://www.researchgate.net/publication/281594572\\_Gidrometeorologiceskie\\_uslovia\\_morej\\_Ukrainy\\_Tom\\_2\\_Cernoe\\_more\\_Hydrometeorological\\_conditions\\_of\\_the\\_Ukrainian\\_seas\\_Vol\\_2\\_The\\_Black\\_Sea](https://www.researchgate.net/publication/281594572_Gidrometeorologiceskie_uslovia_morej_Ukrainy_Tom_2_Cernoe_more_Hydrometeorological_conditions_of_the_Ukrainian_seas_Vol_2_The_Black_Sea)
13. Муркалов А. Б. Морфолитодинамическая роль льда в береговой зоне северо-западной части Черного моря. *Труды V Всероссийской конференции «Ледовые и термические процессы на водных объектах России», г. Владимир, 11–14 октября 2016 г.* М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. С. 324-329.
14. Шуйский Ю. Д. Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. Л.: Гидрометиздат, 1986. 239с.
15. Шуйский Ю. Д., Выхованец Г. В. Экзогенные процессы развития аккумулятивных берегов в северо-западной части Черного моря. М.: Недра, 1989. 198 с.
16. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях и постах. Часть 1. Гидрометеорологические наблюдения на береговых станциях и постах. Четвертое издание. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 313 с. URL: [http://ipk.meteorf.ru/images/stories/literatura/rd/nast\\_gmsp\\_9\\_1.pdf](http://ipk.meteorf.ru/images/stories/literatura/rd/nast_gmsp_9_1.pdf)



17. Шуйский Ю. Д., Огородников В. И. Условия осадконакопления и основные закономерности формирования гранулометрического состава терригенных осадков Чукотского моря. *Литология и полезные ископаемые*. 1981. № 2. С. 11-25.
18. Зенкович В. П. Основы учения о морских берегах. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
19. Мазнев С. В., Огородов С. А. Воздействие ледяных образований на берега и дно мелководных морей и крупных озёр умеренных и субарктических широт. *Лёд и Снег*. 2020 Т. 60 № 4. С. 578-591. URL: <https://doi.org/10.31857/S2076673420040062>

Стаття надійшла до редакції 30.06.2021

Статтю рекомендовано до друку 12.10.2021

**O. B. MURKALOV**, Ph.D. (Geography),  
Associate Professor of the Department of Physical Geography,  
Nature Management and Geoinformation Technologies  
e-mail: [ugeocoast@gmail.com](mailto:ugeocoast@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8439-737X>  
*Odessa I. I. Mechnikov National University, Dvorianskaya St., 2, Odessa, 65082, Ukraine*

### **RELIEF-FORMING ROLE OF THE ICE FACTOR IN THE COASTAL AREA OF THE NORTHWEST PART OF THE BLACK SEA**

**Purpose.** To define the role of the ice factor in morpholithodynamics of the coastal area of the North-West part of the Black Sea.

**Methods.** Field and in-office research was carried out in the North-West part of the Black Sea during the winter seasons of 2005-2019. The research work included geometrical leveling of the beach and the surface of shore-fast ice, drilling of the ice layer, depth sounding, sampling of deposits and of an ice core. The content of deposits in shore-fast ice was determined by weighting them after melting and evaporating a known volume of an ice core.

**Results.** Formation of shore-fast ice, ice and hummock ride-ups, freezing of the surface of accumulative forms, congelation of fast ice with the beach surface and the bottom, freezing into ice of deposits thrown on the surface of fast ice, formation of meltwater runoff channels, melted deposit banks, melt holes had been observed.

Shore-fast ice in Odesa Bay was 1.0 to 1.6 meters thick. Hummocks 0.8 to 2.3 meters high were formed. The average content of deposits in shore-fast ice in Odesa Bay was 15.7 g/m<sup>2</sup> to 111.5 g/m<sup>2</sup>. Within the protected water area of Odesa coast protection complex, the thickness of ice was 0.5 m. Repeated measurements revealed a temporary accumulation of deposits at the depths of 1.5 to 2.0 m at the distance of 30-40 m from the water edge. The average content of deposits in shore-fast ice within the protected water area was 186.5 g/m<sup>2</sup>. The thickness of ice on the surface of beaches on the open shore was 0.2-0.5 m. Banks of sand and gravel-pebble deposits between 0.4-0.8 m and 1 m high and with the volume of 1.2-1.4 m<sup>3</sup>/m were formed on the frozen beach surface by onshore flow and storm overwash.

**Conclusions.** In the North-West part of the Black Sea, the impact of the ice factor is characterized by rhythmic observation during severe, moderate and warm winter. Generally, it hasn't significant impact. In some-local points during cold winter may results in a significant alteration of the relief and deposits, and causes damage to hydraulic structures.

Ice gets saturated with deposits mostly when submerging to the bottom during ebbing, when contacting the beach, being carried directly onto its surface and along cracks, and during aeolian movement.

For artificial beaches of Odesa coast protection complex, the average content of deposits in ice is defined by peculiarities of formation of shore-fast ice and by hydrodynamics of the water area of these coast sections.

The shapes of relief, formed under impact from the ice factor, are minor; they exist for the duration of its impact, and disappear after the storm ends.

**KEYWORDS:** coastal area, ice factor, deposits, relief, Black Sea

### **References**

1. Lisicyn, A. P. (1978). Processes of ocean sedimentation. Moscow: Nauka. (In Russian)
2. Ogorodov, S. A. (2011). The role of sea ice in the dynamics of the coastal zone topography. Moscow: MSU Publishers. (In Russian).
3. Meshcheryakov, N. I. (2017). Modern sedimentation in the Gren-fjord (West Spitsbergen). Doctor's Thesis Dissertation, Murmansk Marine Biological institute of the RAS. Retrieved from [http://www.mmbi.info/fs/files/986/Mescheryakov\\_dis.pdf](http://www.mmbi.info/fs/files/986/Mescheryakov_dis.pdf) (In Russian).

4. Ogorodov, S. A., Maznev, S.V., & Bukharitsin, P.I. (2019). Ice gouging topography on the Caspian and Aral seas bottom. *Proc. of the Russian Geographical Society*, 151(2), 35–50. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-6071151235-50> (In Russian).
5. Romanenko, F. A., Repkina, T. Yu., Efimova, L. E., & Bulochnikova, A. S. (2012). Dynamics of the ice cover and peculiarities of the ice transportation of the sediments at the tidal flats of the Kandalaksha Gulf of the White Sea. *Oceanology*, 52 (5), 768-779. DOI: <https://doi.org/10.1134/S000143701205013X> (In Russian).
6. Tarasov, G.A. (1981). The quantitative estimation of the terrigenous including of marine ice in an off-shore zone is Barents seas. *Proc. of the USSR Ac. of Sci.*, 256(4), 936–940.
7. Chuvardinskiy, V. G. (1985). Geological and geomorphological activity of fast ice (according to research in the White Sea). *Geomorphology*, 3, 70–77. (In Russian).
8. Barnes, P., Reimnitz, E., & Fox, D. (1982). Ice Rafting of Fine-Grained Sediment, a Sorting and Transport Mechanism, Beaufort Sea, Alaska. *Journal of Sedimentary Research*, 52, 493-502. DOI: <https://doi.org/10.1306/212F7F86-2B24-11D7-8648000102C1865D>
9. Kempama, E.W., Reimnitz, E., & Barnes, P. (1989). Sea ice sediment entrainment and rafting in the Arctic. *Journal of Sedimentary Research*, 59, 308-317. DOI: <https://doi.org/10.1306/212F8F80-2B24-11D7-8648000102C1865D>
10. Nielsen, Niels. (1988). Observations of sea ice influence on the littoral sediment exchange, North Zealand, Denmark, *Geografisk Tidsskrift-Danish. Journal of Geography*, 88(1), 61-67. DOI: <https://doi.org/10.1080/00167223.1988.10649258>
11. Gavrilyuk, R. V. & Berlinsky, N. A. (2019). Hazardous marine hydrological phenomena in the northwestern part of the Black Sea. *Odesa National University Herald. Series: Geography & Geology*. 24(2), 26-39. (in Russian).
12. P'in, Yu. P. et all. (2012). Hydrometeorological conditions of the Seas of Ukraine. Vol 2: Black sea. Sevastopol. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/281594572\\_Gidrometeorologiceskie\\_uslovia\\_morej\\_Ukrainy\\_Tom\\_2\\_Cernoe\\_more\\_Hydrometeorological\\_conditions\\_of\\_the\\_Ukrainian\\_seas\\_Vol\\_2\\_The\\_Black\\_Sea](https://www.researchgate.net/publication/281594572_Gidrometeorologiceskie_uslovia_morej_Ukrainy_Tom_2_Cernoe_more_Hydrometeorological_conditions_of_the_Ukrainian_seas_Vol_2_The_Black_Sea) (In Russian).
13. Murkalov, A. B. (2016). Morpholithodynamics role of ice in the coastal zone of north-western part of the Black sea. *Proceedings of the Vth All-Russian Conference «Ice and thermal processes on water bodies of Russia»*, Vladimir, October 11–14, Moscow: RSAU – MTAA Publ., 324-329. (In Russian).
14. Shuisky, Yu. D. (1986). Problems of research of balance of deposits in a coastal region of seas. Leningrad: Gidrometeoizdat. (In Russian).
15. Shuisky, Yu. D., & Vykhovanets, G. V. (1989). Exogenous developments of accumulative coast in a northwest part of Black sea. Moscow: Nedra Publ. (In Russian).
16. Manual on the hydrometeorological stations and posts. (1985). Vol. 9. Ch. 1. Hydrometeorological observation on the coastal stations and posts. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (in Russian).
17. Shuisky, Yu. D., & Ogorodnikov, V. I. (1981). Terms of sedimentation and basic conformities to law of forming of grain-size distribution of terrigenous fallouts of the Chukotka sea. *Lithology and Mineral Resources*, 2, 11-25. (In Russian).
18. Zenkovich, V. P. (1962). Fundamentals of the theory of the development of marine shores. Moscow: Academy of Sciences of the USSR. (In Russian).
19. Maznev, S. V., & Ogorodov, S. A. (2020). Impact of ice formations on the shore and bottom areas of shallow seas and large lakes of middle and subarctic latitudes. *Ice and Snow*, 60(4), 578-591. <https://doi.org/10.31857/S2076673420040062>. (In Russian).

The article was received by the editors 23.08.2021

The article is recommended for printing 2.10.2021

**А. Б. МУРКАЛОВ**, канд. географ. наук,  
доцент кафедры физической географии, природопользования  
и геоинформационных технологий  
e-mail: [ugeocoast@gmail.com](mailto:ugeocoast@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8439-737X>  
*Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова*,  
ул. Дворянская, 2, г. Одесса, 65082, Украина

#### **РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩАЯ РОЛЬ ЛЕДОВОГО ФАКТОРА В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

**Цель.** Определение роли ледового фактора в морфолитодинамике береговой зоны северо-западной части Черного моря.

**Методы.** Полевые и камеральные работы проведены в зимние сезоны 2005-2019 гг. в северо-западной части Черного моря. Работы включали в себя геометрическое нивелирование пляжа и поверхности берегового припая, бурение ледовой толщи, промеры глубин, отбор проб наносов и ледового керна.

Содержимое наносов во льду припая определялось путем их взвешивания после растапливания и выпаривания ледового керна известного объема.

**Результаты.** На участках исследования наблюдалось: формирование берегового припая, надвиги льда и торосов, замерзание поверхности аккумулятивных форм, смерзание припая с поверхностью пляжа и дном, вмерзание в лед выброшенных на поверхность припая наносов, формирование желобов стока талых вод, валов из оттаявших наносов, ямы вытаивания.

Толщина берегового припая в Одесском заливе составляла 1,0-1,6 м. Сформировались торосы высотой 0,8-2,3 м. Среднее содержание наносов в льде припая Одесского залива изменяется от 15,7 г/м<sup>2</sup>-111,5 г/м<sup>2</sup> увеличиваясь к портовым сооружениям. На защищенной акватории в пределах Одесского берегозащитного комплекса толщина льда равнялась 0,5 м. При повторных промерах зафиксировано временное накопление наносов в интервале глубин 1,5-2,0 м на расстоянии 30-40 м от уреза, что свидетельствует о развитии подледных течений. Среднее содержание наносов в льду берегового припая на защищенной акватории равняется 186,5 г/м<sup>2</sup>. Толщина льда на поверхности пляжей открытого берега равнялась 0,2-0,5 м. На замерзшей поверхности пляжа формируются прибойным потоком и штормовым заплеском валы из песчаных, гравийно-галечных наносов высотой от 0,4-0,8 м до 1 м и объемом 1,2-1,4 м<sup>3</sup>/м.

**Выводы.** В северо-западной части Черного моря влияние ледового фактора характеризуется ритмичностью проявления на протяжении суровой, умеренной и теплой зимы. Оно проявляется в прямом и непрямом воздействии и приводит к значительной переработке рельефа и наносов, нередко сопровождается повреждением гидротехнических сооружений.

Лед насыщается наносами преимущественно при опускании на дно во время сгонов, контакте с пляжем, выносе непосредственно на его поверхность и по трещинам, при эоловом переносе.

Среднее содержание наносов во льду максимальное на открытом берегу, среднее на берегах Одесского залива и максимальное в пределах Одесского берего-защитного комплекса. Оно определяется особенностями формирования берегового припая и гидродинамикой акватории этих участков берега.

Формы рельефа, которые сформировались в результате действия ледового фактора, несущественные и исчезают даже после средних по суровости штормов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** береговая зона, ледовый фактор, наносы, рельеф, Черное море

Статья поступила в редакцию 30.06.2021

Статью рекомендовано к печати 12.10.2021