

ЕОЛОВЕ ПЕРЕНЕСЕННЯ ЯК ФАКТОР ПАРАДИНАМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ АЗОВСЬКОГО МОРЯ З СУХОДОЛОМ

Воровка В.П.¹, Марченко О.А.¹, Яцентюк Ю.В.²

¹Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького
вул. Гетьманська, 20, 72319, м. Мелітополь

²Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського
вул. Острозького, 32, 21001, м. Вінниця
geofak_mgpu@ukr.net, marchenkoksniyal@ukr.net, yatsentyuk@gmail.com

У статті розглянуто закономірності та особливості парадинамічної взаємодії Азовського моря з довколишнім суходолом унаслідок еолового перенесення трьох типів – макроциркуляційного кліматообумовленого, мікроциркуляційного бризового та сухого і вологого осідання з атмосфери. Перший тип спричинений регіональним впливом центрів дії атмосфери – Сибірського та Азорського областей високого тиску. Завдяки йому відбувається поповнення донних відкладів моря тонкодисперсним матеріалом теригенного походження переважно зі степів Калмикії, Краснодарського краю, Ростовської області. Частина надходить зі степів Херсонщини, Степового Криму, Запорізької та Дніпропетровської областей. Періодично відклади поповнюються вітровим перенесенням з північної Африки (2005, 2018, 2021 роки). Річний обсяг надходження еолового матеріалу у середньому становить 4 млн т, збільшуючись до 40–50 млн т під час сильних пилових бур та зменшуючись до 2,5–3,0 млн т на рік при слабких вітрах. Обсяг принесеного пиловими бурями матеріалу в акваторію Азовського моря набагато перевищує обсяги твердого стоку та абразії берегів. Гранулометричний склад еолових осадів унаслідок пилової бурі з віддаленням від берега диференціюється від піску до пеліту. Другий тип циркуляції представлений локальною взаємодією морської акваторії з прилеглим суходолом через виникнення і функціонування бризової циркуляції, при якій парадинамічна взаємодія виражена найкраще. На Азовському узбережжі бризова циркуляція розвивається вже з березня, коли різниця температури між морською поверхнею та суходолом зростає до 5 °C і більше. У цей період бризи стають стійким явищем, поширюючись від лінії берега углиб суходолу на 30–120 км, а углиб акваторії – до 20–50 км. При цьому висота поширення бризу становить 1–2 км. Бризова циркуляція супроводжується винесенням насиченим вітровим потоком іонів з зони прибою. З приморських засолених понижень бризові вітри виносять кристали солей як у бік моря, так і углиб суходолу. Третій тип надходження атмосферних осадів в акваторію моря пов'язаний переважно зі штилевими та маловітряними (5–7 м/с) погодами і з атмосферними опадами. Таким чином відбувається процес екологічного самоочищення атмосфери і надходження твердих осадів в акваторію моря. *Ключові слова:* еолове перенесення, вітрові парадинамічні взаємодії, еолова макроциркуляція, еолова мікроциркуляція.

Aeolian transfer as a factor of paradyamic interaction of the Azov sea with land. Vorovka V., Marchenko O., Yatsentyuk Y.

The article considers the patterns and features of paradyamic interaction of the Sea of Azov with the surrounding land due to aeolian transfer of three types – macrocirculatory climate, microcirculation breeze and dry and wet deposition from the atmosphere. The first type is caused by the regional influence of the centers of atmospheric action – the Siberian and Azorean regions of high pressure. Thanks to him, the bottom sediments of the sea are replenished with fine material of terrigenous origin, mainly from the steppes of Kalmykia, Krasnodar Krai, Rostov region. Some come from the steppes of Kherson, Steppe Crimea, Zaporozhye and Dnepropetrovsk regions. Periodically, sediments are replenished by wind transfer from North Africa (2005, 2018, 2021). The annual volume of aeolian material averages 4 million tons, increasing to 40–50 million tons during strong dust storms and decreasing to 2.5–3.0 million tons per year in light winds. The amount of material brought by dust storms into the waters of the Sea of Azov far exceeds the amount of hard runoff and abrasion of the shores. The particle size distribution of aeolian sediments due to dust storms with distance from the shore is differentiated from sand to pellet. The second type of circulation is represented by the local interaction of the sea area with the adjacent land due to the emergence and functioning of the breeze circulation, in which the paradyamic interaction is best expressed. On the Azov coast, breeze circulation has been developing since March, when the temperature difference between the sea surface and land increases to 5 °C and more. During this period, the breeze becomes a stable phenomenon, spreading from the shoreline to the depth of the land by 30–120 km, and the depth of the water area – up to 20–50 km. The height of the breeze is 1–2 km. Breeze circulation is accompanied by the removal of saturated wind flow of ions from the surf zone. From the coastal saline depressions, breeze winds carry salt crystals both towards the sea and deep into the land. The third type of precipitation in the sea is associated mainly with calm and windless (5–7 m/s) weather and precipitation. Thus there is a process of ecological self-cleaning of the atmosphere and the inflow of solid sediments into the sea. *Key words:* aeolian transfer, wind paradyamic interactions, aeolian macrocirculation, aeolian microcirculation.

Постановка проблеми. Акваторія Азовського моря є частиною географічного простору і вступає у тісні взаємозв'язки з прилеглою територією. Таким чином виникають і функціонують екологічні просторово-часові зв'язки певних типів. Одними з таких

зв'язків є еолове перенесення, спричинене макро- та мікроциркуляційними вітровими процесами між акваторією моря та прилеглим суходолом. Їх дослідження є неодмінною складовою вивчення структури і функціонування ландшафтного простору,

представленого акваторією Азовського моря та прилеглим суходолом.

Актуальність дослідження. Актуальність пов'язана з фундаментальною і прикладною важливістю дослідження екологічних зв'язків та їх екологічних наслідків у береговій зоні моря. Це є важливим не тільки з позицій використання відповідних ресурсів, а й ефективного управління територіями та акваторіями. Дослідження усієї повноти зв'язків дасть можливість більш ефективного управління береговою зоною моря з метою подальшого раціонального її використання.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дане дослідження здійснене в рамках розробки системи комплексного управління береговою зоною Азовського моря, ефективність функціонування якої залежить від повноти врахування усього різноманіття зв'язків та їх видів. Зроблена спроба поєднати дослідження морських та суходільних екосистем через їх взаємодію еоловими перенесеннями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження вітроциркуляційних процесів над акваторією Азовського моря та над довколишнім суходолом здійснювалося в рамках кліматичних характеристик території та загального кліматичного аналізу кліматологами України та РФ. Останні дослідження і публікації, пов'язані з вітроциркуляційними процесами над акваторією Азовського моря і навколишньою територією, висвітлені у ряді монографій [1, 2, 3, 4]. Вчені, які безпосередньо досліджували вітроциркуляційні процеси над Азовським морем і прилеглим суходолом, це Ю.М. Гаргопа [5], Г.В. Вихованець [6], Г.Г. Матишов, [7], Ю.П. Ільїн [8]. Теригенне осадонакопичення в акваторії Азовського моря вивчали В.В. Сорокіна [9], Ю.П. Хрустальов, Г.Г. [10], Г.Г. Матишов [7].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Зроблена спроба об'єднати раніше різні сфери наукових ландшафтно-екологічних досліджень – морської акваторії та прилеглої суходолу. Незважаючи на належність до різних сфер ландшафтно-екологічних досліджень, вони між собою тісно взаємопов'язані різними типами зв'язків, серед яких виділяються вітроциркуляційні взаємодії між акваторією Азовського моря та прилеглим суходолом. Незважаючи на те, що вітроциркуляційні процеси над Азовським морем та прилеглим суходолом вивчені досить детально, парадинамічний їх зміст залишається слабо вивченим.

Новизна дослідження полягає в тому, що до цього ландшафтно-екологічні дослідження суходолу та морських акваторій здійснювалися окремо, навіть у різних категоріях ландшафтів. Тому і взаємозв'язки між ними виявлялися епізодично, несистемно. Натомість у цьому дослідженні зроблена спроба об'єднати суходільну і водну складові на прикладі

наявності вітроциркуляційних зв'язків, виявити особливості їх взаємодії на основі дослідження макроциркуляційних та мікроциркуляційних процесів та їх результатів.

Методологічне або загальнонаукове значення – цілісний розгляд ландшафтів та акваландафтів берегової зони моря – смуги прибережного суходолу, смуги берега і прибережної акваторії через процеси їх взаємодії та взаємозв'язку. Загальнонаукове значення – у формуванні загального уявлення про берегову зону моря як цілісну геосистему, об'єднану парадинамічними зв'язками певного типу. У даному випадку – вітроциркуляційними процесами.

Викладення основного матеріалу. Серед значного розмаїття парадинамічних зв'язків між акваторією Азовського моря та прилеглим суходолом виокремлюються вітроциркуляційні процеси. Вони, хоч і з різною інтенсивністю, але проявляються постійно. Цьому сприяють ряд факторів, серед яких домінують макроциркуляційні та мікроциркуляційні процеси в атмосфері. Разом з циркуляцією повітря відбувається активне перенесення речовин теригеного і морського походження: перших – в акваторію моря, других – на суходіл. Водночас з речовинними потоками відбувається перенесення значної кількості енергії – унаслідок випаровування, конденсації, сублімації та ін.

Макроциркуляційне (материкове) перенесення. Більшість еолового матеріалу в акваторію моря надходить зі східними вітрами потужного Сибірського антициклону з Калмикії, Краснодарського краю та Ростовської області по повітряному коридору між Донецьким кряжем і Приазовською височиною та північними відрогами Кавказьких гір. Частина матеріалу надходить з західними вітрами зі степової смуги Херсонщини та Степового Криму, частина – з північними вітрами, переважно з поверхні Запорізької та Дніпропетровської областей (рис. 1). Періодично еоловий матеріал надходить з північної частини Африки, як це було у 2005 р., березні 2018 року та у лютому 2021 року.

Зміна вітрових циркуляційних процесів, загальне ослаблення вітрової активності та зниження повторюваності пилових бур з початку 90-х років ХХ століття спричинили скорочення обсягу надходження еолових матеріалів в акваторію моря. Відповідно зменшилася роль еолового матеріалу у формуванні донних осадів [9]. При штилевих погодах і слабких вітрах обсяг надходження еолового матеріалу на водну поверхню складає 2,56 млн т/рік, а з опадами – 0,92 млн т/рік. Обсяг винесеного з поверхні суходолу еолового матеріалу під час сильних пилових бур оцінюється у 40–50 млн т, середніх – 11–16 млн т, слабких – 0,2–2,0 млн т [11]. Однак за вказаний період зафіксована лише одна пилова буря 1984 року (11,1 млн т) і кілька слабких (рис. 2). Загалом щорічне загальне надходження еолового матеріалу у цей період не



Рис. 1. Материкове перенесення еолового матеріалу в акваторію Азовського моря

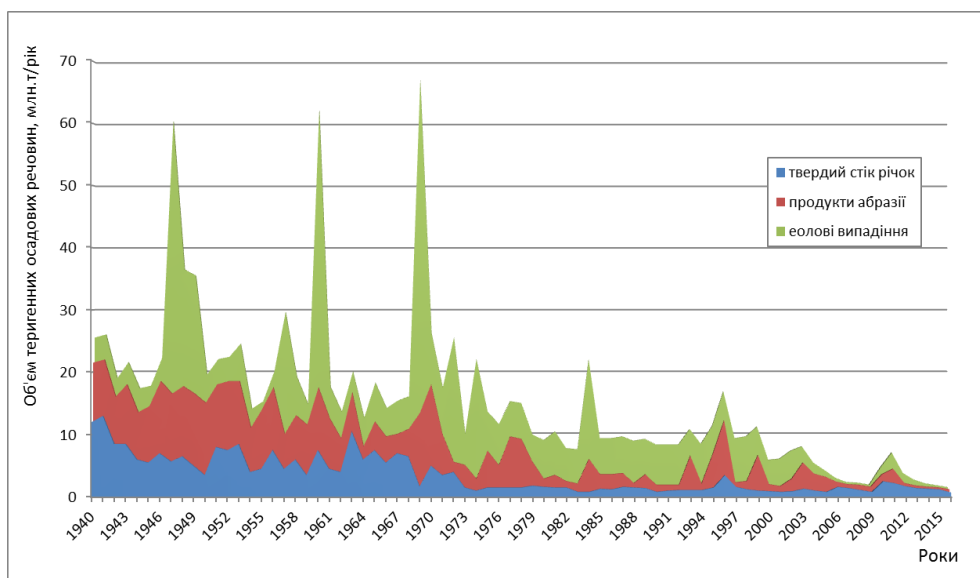


Рис. 2. Динаміка надходження теригенного матеріалу в Азовське море

перевищує 4 млн т [7]. У береговій смузі має місце видування з поверхні пляжів та корінних схилів, більшість з яких надходить в акваторію, поповнюючи запаси донних відкладів.

Вітрове перенесення твердих речовин є однією з основних складових поповнення глинистих та алевритових донних відкладів тонкодисперсним матеріалом теригенного походження [12, 9]. Місцезона Приазов'я у степовій смузі, висока повторюваність і значна сила вітрів, висока доля ріллі і відсутність перешкод сприяють розвитку еолових процесів і надходження у систему значного обсягу еолового матеріалу внаслідок материкового перенесення, бризової циркуляції, з пиловими бурями, сухого та вологого осідання з атмосфери.

Таким чином, надходження теригенного матеріалу в Азовське море з річковим стоком, при абразії

та внаслідок еолових процесів підтверджує факт тісного взаємозв'язку суходолу з морем і відрізняється значною динамікою. Це безпосередньо відображається на процесах накопичення осадів на різних рівнях екосистем. Структура осадового матеріалу характеризується множинними зв'язками між усіма складовими балансу. Аномальна зміна гідрологічного або вітрового режиму супроводжується лавиноподібним, у 5–10 разів більшим надходженням у водойму обсягів гетерогенних осадових речовин у порівнянні зі звичайним періодом (рис. 2). При цьому нівелюються основні закономірності механічної диференціації поверхневих осадів на дні порівняно з нормальним режимом.

Бризова циркуляція є важливою ланкою еолових динамічних процесів у прибережній смузі моря. Вона є прикладом комплексних (вода-атмосфера-суша)

зв'язків у прибережній смузі моря, які поширюються як углиб суходолу, так і в межі акваторії. Особливість бризових зв'язків обумовлена їх добовою динамікою і проявом у теплий період року. Бризова циркуляція на Азовському узбережжі у зв'язку з загальним потеплінням клімату розвивається вже з березня унаслідок посилення ролі радіаційного фактору і місцевих умов. Головною причиною її розвитку є збільшення різниці температури між морською поверхнею та суходолом від 5 °C і більше. З підвищенням різниці температур бризи стають стійким явищем. Морський бриз поширюється углиб суші на відстань від 30–40 км до 100–120 км, а береговий – углиб морської акваторії на відстань від 20–30 до 40–50 км і на висоту 1–2 км. Переважаючими стають вітри з південною складовою (13%). З кінця квітня потепління спричинює виникнення циркуляції літнього типу, змінюється знак температурного поля між водою і сушею [13].

Періодичні зміни напрямку вітру при бризах супроводжується добовим ходом температури і вологості повітря. Це пояснюється спричиненням бризами адвекції тепла та вологи, обумовленої переносом з моря чи з берега. У прибережній смузі морів бризова циркуляція впливає на величину сумарної радіації, збільшуючи пряму радіацію на величину до 10% [14]. Внаслідок дії бризової циркуляції на узбережжі відбувається підвищення швидкості вітру від 2 до 6 м/с та періодична зміна напрямку вітру. Ще одним можливим наслідком бризової циркуляції є менша повторюваність штилів та більша ймовірність днів із сильними вітрами.

Бризова циркуляція супроводжується винесенням іонів насиченим вітровим потоком із зони прибою. З приморських засолених понижень бризові вітри виносять кристали солей в обох напрямках. Бризи впливають на радіаційний режим прибережної смуги моря. У теплий період року над акваторією Азовського моря створюються несприятливі умови для виникнення конвекції і збільшується число безхмарних днів. У зв'язку з цим у межах прибережних смуг моря фіксується найменша кількість опадів в Україні. У холодний та перехідні періоди у зв'язку з високим контрастом між морем та сушею тут формуються тумани тривалістю кілька діб підряд [15].

Окрім кліматичні впливи, обумовлені впливом Азовського моря (зокрема, деяке підвищення температури повітря), поширюються бризами до 90–120 км від берега углиб суходолу [16]. Разом з тим, з віддаленням від берега збільшується кількість атмосферних опадів, що пояснюється ослабленням впливу переважаючої на морському узбережжі бризової циркуляції. Аналогічно суша впливає на мікрокліматичні особливості прибережної акваторії.

Пилові бурі виступають однією з ключових ланок взаємодії моря та суші через атмосферу. Незважаючи на епізодичний характер прояву пилових бур, обсяг принесеного ними матеріалу наба-

гато перевищує обсяги твердого стоку та абразії берегів. Внаслідок виникнення пилової бурі видуються і виносяться більш легкі частинки з диференціацією їх відкладання: частинки з діаметром 0,06–0,1 мм переносяться на кілька кілометрів від осередку її виникнення; 0,03–0,06 – на відстань понад 300 км; 0,01–0,03 – на понад 1500 км з висотою підйому від кількох метрів до 1,5–2,0 км [1]. Так, внаслідок сильної пилової бурі 1960 року в акваторію Азовського моря надійшло 41 млн т теригенних речовин [17], а в лютому 1969 року (тривалість 136–241 годин на місяць) – до 50 млн т [18]. Аналогічні за інтенсивністю пилові бурі зареєстровані у 1928 та 1947 рр. Інтенсивність акумуляції еолового матеріалу змінюється від 1,15 кг/м² у прибережній смузі моря до 470 г/км² на відстані 200–300 м від берега та до 50 г/м² – на відстані кількох кілометрів від моря [19]. Середньою за інтенсивністю пиловою бурею з тривалістю 22–73 годин на місяць (проявлялися у 1936, 1948, 1949, 1957, 1972, 1974, 1984 рр.) у море виносяться від 11,1 млн т (1984 р.) до 16 млн т. (1972 р.) еолового матеріалу. Під час слабких (тривалістю до 10 годин на місяць) пилових бур виносяться до 2,0 млн т. еолового матеріалу. Такі бурі проявляються з інтервалом у 5 років, а до 1986 року проявлялися майже щороку.

Гранулометричний склад еолових осадів з віддаленням від берега змінюється: у прибережній смузі відкладаються переважно піщані частинки, на відстані 70 м від берега основу аерозольних відкладів на 50% становлять пелітові частинки, вміст яких на відстані 200–300 м від берега становить вже 70–80% [20]. Це свідчить про те, що з пиловими бурями в акваторію моря виносяться переважно тонкозернистий матеріал, а пісок і крупний алеврит відкладається у прибережній смузі.

Сухе та вологе осідання з атмосфери. Сухе випадіння твердих домішок з атмосфери відбувається під дією гравітаційних сил переважно у ясні і малохмарні безвітряні або маловітряні погоди. У штилеві та маловітряні погоди (до 5–7 м/с) з шару тропосфери в акваторію моря надходить середньому 2,56 млн т еолового матеріалу на рік [19]. Осідання твердого матеріалу з атмосфери відбувається на поверхню води. Частина його на поверхні води через явища флотації та вітрового переміщення перерозподіляється по поверхні водного дзеркала. Після намокання відбувається їх транзит через водну товщу та поповнення мулистих відкладів дна. Атмосферні опади прискорюють процес очищення тропосфери від твердих домішок. Висока вологість повітря та запиленість приземного шару є умовою для конденсації водяної пари і випадіння рідких опадів разом з завислими у повітрі твердими речовинами.

Головні висновки. Таким чином, одним з факторів парадинамічних взаємодій між морською акваторією та прилеглим суходолом є еолове

перенесення, спричинене макро- та мікроциркуляційними процесами в атмосфері. Унаслідок цього проявляються двосторонні речовинно-енергетичні

потоки, які сполучають різномірні і різноякісні середовища у цілісну систему і частину географічного простору.

Література

1. Клімат України /За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К. : Вид. Раєвського, 2003. 343 с.
2. Азовское море в конце XX – начале XXI веков: геоморфология, осадконакопление, пелагические сообщества. Т.Х / Отв. ред. Г.Г. Матишов; Мурман. мор. биол. ин-т КНЦ РАН. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2008. 295 с.
3. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том I. Азовское море / Ильин Ю.П., Дьяков Н.Н., Горбач С.Б. МЧС и НАН Украины, Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. 402 с.
4. Экологический атлас Азовского моря / Гл. ред. акад. Г.Г. Матишов; отв. ред. Н.И. Голубева, В.В. Сорокина. Ростов-н/Д : Изд. ЮНЦ РАН, 2011. 328 с.
5. Гаргопа Ю.М. Крупномасштабные изменения гидрометеорологических условий формирования биопродуктивности Азовского моря. Автореф. дисс. ... д.геогр.н.: 11.00.28 Океанология. Мурманск, 2003. 51 с.
6. Выхованец Г.В. Эоловый процесс на морском берегу. Одеса : Астропринт, 2003. 276 с.
7. Матишов Г.Г., Ковалева Г.В., Польшин В.В. Новые данные о скорости седиментации в Азовском море в позднем голоцене. Доклады АН. 2009. Т. 428. № 6. С. 820–823.
8. Ильин Ю.П. Климатические изменения гидрометеорологического режима морей Украины. Дисс. докт. геогр. наук: 11.00.09 – метеорология, кліматологія, агрометеорологія. К. : Украинский гидрометеорологический институт, 2016. 280 с.
9. Сорокина В.В. Особенности терригенного осадконакопления в Азовском море во второй половине XX века: Дис. канд. географ. наук: 07.09.2006. Ростов-на-Дону, 2006. 198 с.
10. Хрусталев Ю.П., Ивлиева О.В. Проблемы антропогенной морской седиментологии (на примере Азовского моря). Ростов-на-Дону : Гефест, 1999. 196 с.
11. Ивлиева О.В. Техногенный седиментогенез в Азовском море. Автореф. дисс. ... докт. геогр. наук: 25.00.36 Геоэкология. Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2007. 48 с.
12. Хрусталев Ю.П. Закономерности осадконакопления во внутриконтинентальных морях аридной зоны. Л. : Наука, 1989. 261 с.
13. Воровка В.П. Місце і значення Приазовської мезосистеми у структурі парадинамічних ландшафтних систем Східної Європи. Матеріали Всеукраїнського з'їзду Українського географічного товариства. Київ, 2012б. С. 46–49.
14. Рибченко Л.С., Ревера Т.О. Сумарна сонячна радіація та альbedo підстильної поверхні в Україні. Наук. праці УкрНДГМІ, 2007. Вип. 256. С. 99–111.
15. Шахнович А.В., Рыбченко Л.С. О количественных характеристиках влияния Чёрного и Азовского морей на прибрежную зону Тр. УкрНИИ Госкомгидромета. 1983. Вып. 196. С. 67–72.
16. Бучинский И.Е. Климат Украины в прошлом, настоящем и будущем. К.: Госсельхозиздат, 1963. 176 с.
17. Панов Д.Г., Малик С.А., Спичак М.К. О некоторых последствиях пыльной бури 1960 года в Азовском море. Автореф. научно-исслед. работ Ростовского гос. ун-та за 1960. Ростов-на-Дону, 1961. С. 139–140.
18. Хрусталев Ю.П., Федюнина В.И. Роль эолового фактора в современном осадконакоплении Азовского моря. Докл. АН СССР. Т. 224. 1975. С. 434–436.
19. Хрусталев Ю.П., Ивлиева О.В. Проблемы антропогенной морской седиментологии (на примере Азовского моря). Ростов-на-Дону: Гефест, 1999. 196 с.
20. Хрусталев Ю.П., Грудинова Л.Я., Серова В.В., Жмурко В.Я. Роль эолового материала в морском седиментогенезе аридной зоны (на примере Азовского моря). Литология и полез. ископаемые. 1988. № 2. С. 55–64.