

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет біології, географії та екології
Кафедра географії та екології

ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ
ФЕДОТОВОЇ КОСИ - БІРЮЧИЙ ОСТРІВ
(АЗОВСЬКЕ МОРЕ, УКРАЇНА)

Кваліфікаційна робота (проект)
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Виконав: здобувач 2 курсу 05-213М групи
Спеціальності 103 Науки про Землю
Освітньо-наукової програми
«Науки про Землю»
Гуляєв Андрій Юрійович

Керівник к.геогр.н., доцент Давидов О.В.
Рецензент к.геогр.н., доцент кафедри
фізичної географії, природокористування і
геоінформаційних технологій Одеського
національного університету імені І.І.
Мечникова, доцент Муркалов О.Б.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	2-6
РОЗДІЛ 1. ПРИРОДНІ УМОВИ БЕРЕГОВОЇ АКУМУЛЯТИВНОЇ ФОРМИ ФЕДОТОВА КОСА- БИРЮЧИЙ ОСТРІВ.....	7-21
1.1. Географічне розташування та загальна характеристика.....	7-9
1.2. Геологічні умови.....	9-11
1.3. Геоморфологічні умови.....	12-16
1.4. Метеорологічні умови.....	16-19
1.5. Гідрологічні умови.....	19-20
1.6. Рослинний покрив.....	20-21
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ФЕДОТОВОЇ КОСИ – БИРЮЧОГО ОСТРОВА.....	22-30
2.1. Онлайн-ресурси та джерела даних для дистанційного моніторингу.....	22-23
2.2. Використання ChatGPT у підготовці дослідження.....	23-24
2.3. Аналіз берегової динаміки та стану рослинного покриву за супутниковими даними.....	24-30
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ФЕДОТОВОЇ КОСИ – БИРЮЧОГО ОСТРОВА.....	31-42
3.1. Морфологічні риси берегів досліджуваної форми.....	31-33
3.2. Морфодинамічні тенденції берегів досліджуваної форми....	33-37
3.3. Динамічні тенденції рослинного покриву.....	37-42
ВИСНОВКИ.....	43-44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45-48

ВСТУП

Актуальність дослідження. Федотова коса — Бирючий острів є унікальною береговою акумулятивною формою північно-західної частини Азовського моря, яка має важливі природоохоронні, геоморфологічні та екосистемні функції. Територія входить до складу Азово-Сиваського національного природного парку та характеризується високим рівнем біорізноманіття, поєднанням псамофітних, галофітних і лучно-болотних екосистем, а також є середовищем існування численних рідкісних і охоронюваних видів флори і фауни [23]. Збереження стабільності цієї природної системи має важливе значення як на регіональному, так і на міжнародному рівнях.

Водночас досліджувана форма належить до високо динамічних берегових утворень, розвиток яких визначається складною взаємодією хвильових, коливальних і еолових процесів. Такі форми характеризуються постійною трансформацією морфології, зміною берегової лінії та перерозподілом наносів. У сучасних умовах глобальних кліматичних змін спостерігається активізація гідрометеорологічних процесів, зокрема збільшення частоти та інтенсивності штормових явищ, що призводить до активізації морфодинамічних процесів і підвищення нестабільності берегових систем.

Додатковим фактором, який ускладнює дослідження цієї території, є обмежені можливості проведення систематичних польових робіт. Це зумовлює необхідність застосування альтернативних підходів до вивчення динаміки берегової зони, зокрема методів дистанційного зондування Землі. Сучасні супутникові дані дозволяють здійснювати багаторічний моніторинг змін берегової лінії, оцінювати морфодинамічні процеси та аналізувати просторово-часову еволюцію акумулятивних форм без безпосереднього доступу до об'єкта дослідження.

У зв'язку з цим дослідження динаміки Федотової коси — Бирючого острова із використанням методів дистанційного моніторингу є актуальним як з наукової, так і з прикладної точки зору. Отримані результати можуть бути використані для оцінки стійкості берегових систем, прогнозування їх подальшого розвитку та обґрунтування заходів із збереження унікальних приморських ландшафтів

Мета дослідження полягає в аналізі стану природного навколишнього середовища берегової акумулятивної форми Федотова коса — Бирючий острів із застосуванням методів дистанційного моніторингу.

Для досягнення поставленої мети в кваліфікаційній роботі передбачено розв'язання таких завдань:

1. Проаналізувати природні умови берегової форми Федотова коса — Бирючий острів.
2. Охарактеризувати методологічні підходи до дистанційного моніторингу досліджуваної форми.
3. Дослідити стан рослинного покриву в межах досліджуваної форми.
4. Визначити морфодинамічні тенденції розвитку берегів досліджуваної форми.

Об'єкт дослідження — берегова акумулятивна форма Федотова коса — Бирючий острів.

Предмет дослідження — особливості дистанційного моніторингу стану природного навколишнього середовища берегової акумулятивної форми Федотова коса — Бирючий острів.

Під час виконання представленої кваліфікаційної роботи було застосовано такі **методи наукового дослідження**:

Метод аналізу літературних джерел — використовувався при вивченні природних умов берегової форми Федотова коса — Бирючий острів.

Метод аналізу гідрометеорологічних баз даних – застосовувався для отримання та узагальнення інформації про метеорологічні й гідрологічні особливості досліджуваної берегової форми та прилеглих акваторій.

Метод картографічного аналізу – використовувався для визначення просторових особливостей поверхні берегової форми Федотова коса – Бирючий острів.

Метод аналізу супутникових даних – застосовувався під час дослідження стану рослинного покриву та морфодинамічних тенденцій розвитку берегів досліджуваної форми.

Метод статистичного аналізу – використовувався для обробки та інтерпретації результатів аналізу супутникових даних.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- Вперше виконано комплексний аналіз природних умов берегової акумулятивної форми Федотова коса – Бирючий острів, що дозволило визначити її географічні, геологічні, метеорологічні та гідрологічні риси, а також особливості прилеглих акваторій.

- Вперше здійснено комплексний дистанційний моніторинг стану природного навколишнього середовища досліджуваної форми з акцентом на рослинний покрив і морфодинамічні зміни берегів у багаторічному часовому інтервалі. За результатами дослідження встановлено динамічні тенденції змін рослинного покриву за період 2015–2025 рр., які узгоджуються з морфодинамікою берегової зони, проявами штормових наносів та окремими видами антропогенного впливу.

- Вперше визначено морфодинамічні тенденції розвитку берегів досліджуваної форми в контексті впливу штормових подій і антропогенної діяльності, що дозволило встановити основні закономірності сучасної еволюції берегової системи.

Практичне значення отриманих результатів. Матеріали, отримані під час виконання кваліфікаційної роботи, можуть бути використані співробітниками Азово-Сиваського національного природного парку для

оцінки стану навколишнього природного середовища берегової акумулятивної форми Федотова коса – Бирючий острів в умовах обмеженого або відсутнього доступу до її території. Отримані результати, висновки та рекомендації можуть бути застосовані для прогнозування подальших еволюційних тенденцій розвитку досліджуваної форми, а також для оптимізації природоохоронної та господарської діяльності в межах об'єкта дослідження.

Апробація результатів дослідження. Відповідна кваліфікаційна робота пройшла апробацію під час науково-практичних семінарів кафедри географії та екології, факультету біології, географії та екології, Херсонського державного університету. За результатами відповідної роботи була опублікована наукова стаття «Про дослідження морфологічних умов берегової зони Утлюцького лиману в межах міста Генічеськ», а також підготовлена до друку стаття: «Морфодинамічні тенденції берегів Федотової коси – Бирючого острова».

Структура кваліфікаційної роботи. Загальний об'єм представленої кваліфікаційної роботи 49 сторінок. В структурі відповідної роботи виділяється зміст, вступ, три розділи, висновки та список використаних джерел.

Вступ. У даному розділі кваліфікаційної роботи обґрунтовано її актуальність, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження. Проаналізовано використані методи дослідження, окреслено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про апробацію матеріалів роботи, а також подано характеристику структури роботи.

Розділ 1. У межах даного розділу наведено матеріали, що характеризують природні умови берегової акумулятивної форми Федотова коса – Бирючий острів. Зокрема, подано опис географічного положення, геологічної та геоморфологічної будови, а також висвітлено гідрометеорологічні й ландшафтні умови досліджуваної території.

Розділ 2. У даному розділі висвітлено методологічні особливості проведеного дослідження. Зокрема, наведено та охарактеризовано основні джерела отримання супутникових даних. Окрему увагу приділено опису сенсорів і спектральних індексів, що застосовувалися під час аналізу стану рослинного покриву та динаміки морських берегів.

Розділ 3. У межах даного розділу наведено результати дистанційного моніторингу досліджуваної території. Охарактеризовано стан рослинного покриву за період 2015–2025 рр., а також визначено динамічні тенденції розвитку берегів берегової акумулятивної форми. Представлено результати кореляційного аналізу взаємозв'язку між станом рослинного покриву та морфодинамічними тенденціями берегів.

Висновки. Відображено основні результати проведеного дослідження.

Список використаних джерел складається з 35 ресурсів.

РОЗДІЛ 1.

ПРИРОДНІ УМОВИ БЕРЕГОВОЇ АКУМУЛЯТИВНОЇ ФОРМИ ФЕДОТОВА КОСА – БИРЮЧИЙ ОСТРІВ

1.1. Географічне розташування та загальна характеристика

Федотова коса — Бирючий острів являє собою складну берегову акумулятивну форму, розташовану в межах північно-західної частини Азовського моря [10, 15]. Вона витягнута приблизно на 45 км від корінного берега на північному сході в районі Кириловки ($46^{\circ}21'43.52''$ пн. ш., $35^{\circ}21'46.49''$ сх. д.) до Утлюцької протоки ($46^{\circ}04'39.52''$ пн. ш., $34^{\circ}58'45.59''$ сх. д.) на південному заході [15]. Відповідна форма є типовим береговим бар'єром [27], який відокремлює Утлюцький лиман від відкритої акваторії Азовського моря (рис. 1.1).



Рис.1.1.1. Географічне розташування берегової акумулятивної форми Федотова коса – Бирючий острів: А – розташування об'єкта в межах Азовського моря; Б – просторове розташування в межах північно-західної частини моря (розроблено за допомогою ресурсу *Google Earth*).

У морфологічному відношенні досліджувана форма представлена двома складовими частинами: вузькою (Федотова коса) та розширеною (Бирючий острів). Така будова є специфічною і відрізняє її від більшості інших акумулятивних форм узбережжя Азовського моря [1, 19].

Досліджувана форма за географічними рисами вже майже 100 років являє собою цілісний півострів. Ретроспективний картографічний аналіз (рис. 1.2) дозволяє стверджувати, що з кінця XVIII століття до 1930-х років у межах Федотової коси періодично функціонували ефемерні протоки (прорви), які розділяли її на окремі ділянки. За таких умов широка частина акумулятивної форми являла собою острів, саме з цим пов'язане історично закріплена назва «Бирючий острів» [26].

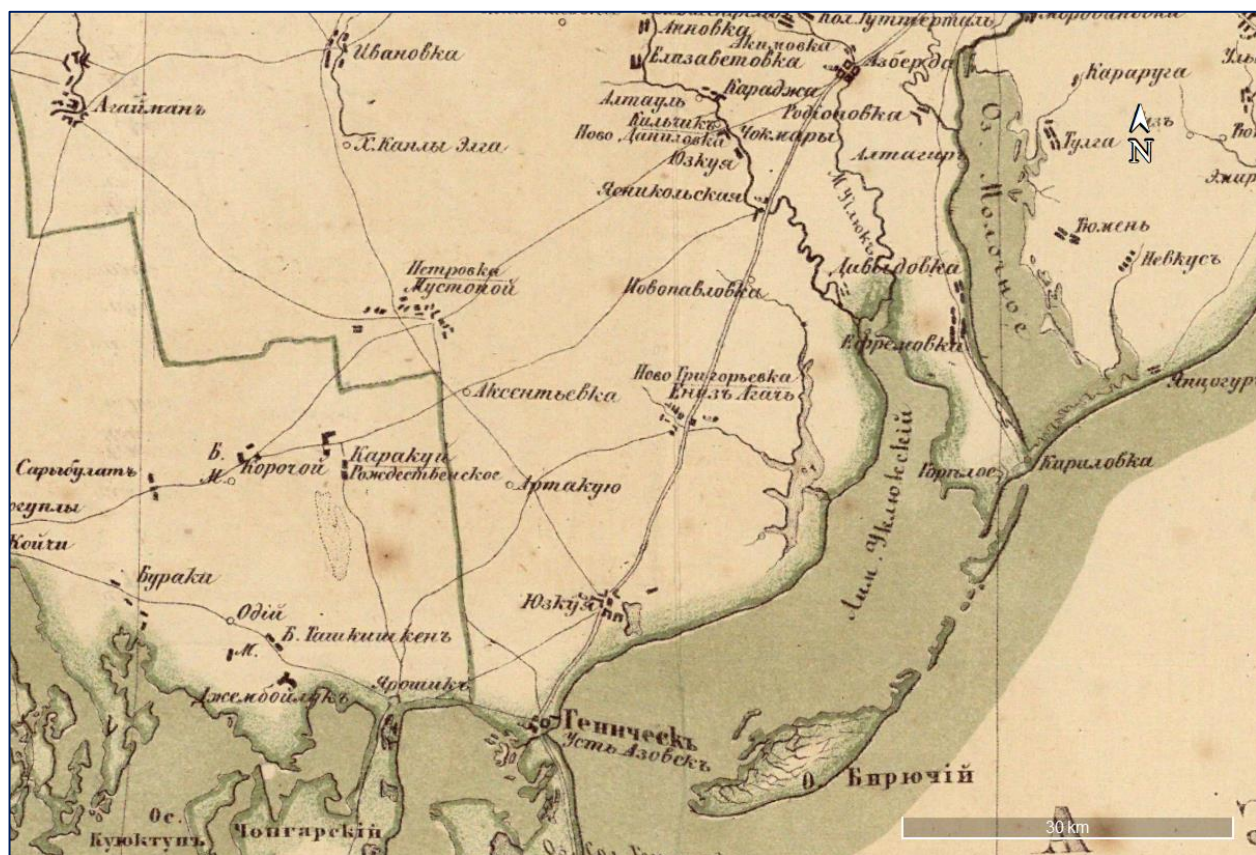


Рис. 1.2. Зовнішній вигляд берегової акумулятивної форми Федотова-коса – Бирючий острів на фрагменті карти Таврійської губернії у 1859 році.

Формування та просторове положення акумулятивної форми мають тектонічну зумовленість і пов'язані з системою регіональних розломів,

що контролюють конфігурацію берегової лінії та напрямки міграції наносів. [2, 3].

Клімат району є помірно-континентальним із вираженим морським впливом і рисами посушливості [4, 13]. Для нього характерні відносно невелика кількість опадів, високі літні температури та переважання вітрів східного і північно-східного напрямків, що визначають специфіку природних процесів у межах узбережжя.

Територія Федотової коси — Бирючого острова входить до складу Азово-Сиваського національного природного парку, що підкреслює її високу природоохоронну цінність та унікальність приморських екосистем [23].

1.2. Геологічні умови

У геологічному відношенні Федотова коса — Бирючий острів приурочена до південної окраїни Причорноморської западини, в межах якої взаємодіють Каркінітсько-Сиваська та Північно-Азовська системи прогинів [24]. Її формування та сучасне положення контролюються системою диз'юнктивних порушень субширотного та субмеридіонального простягання (рис. 1.3.) [5, 7].

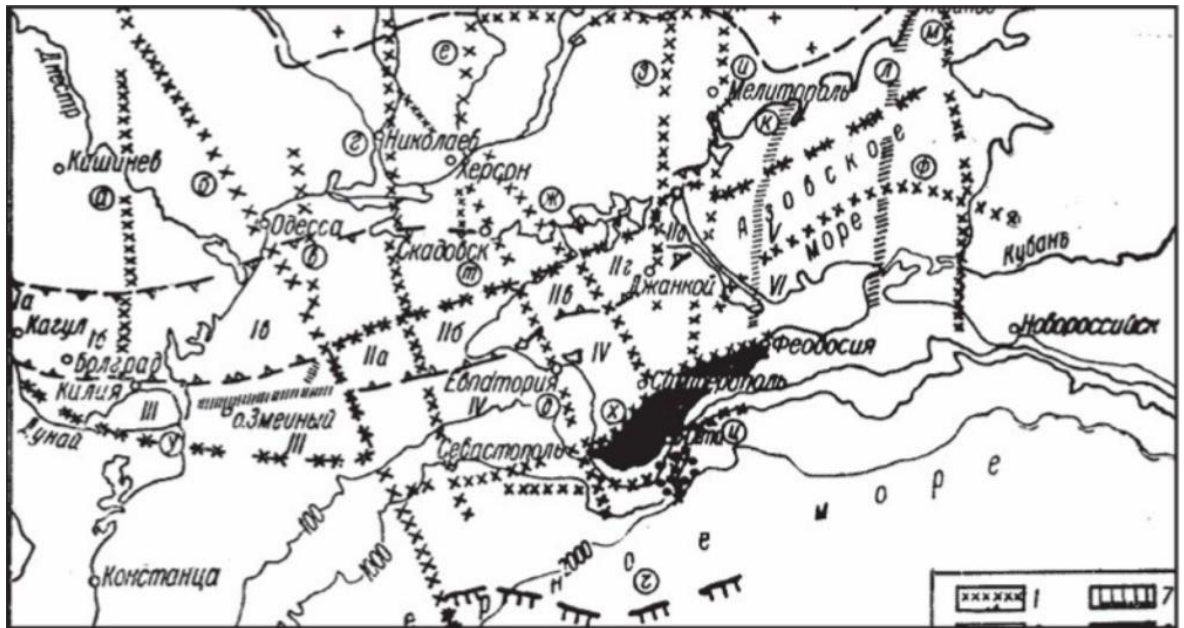
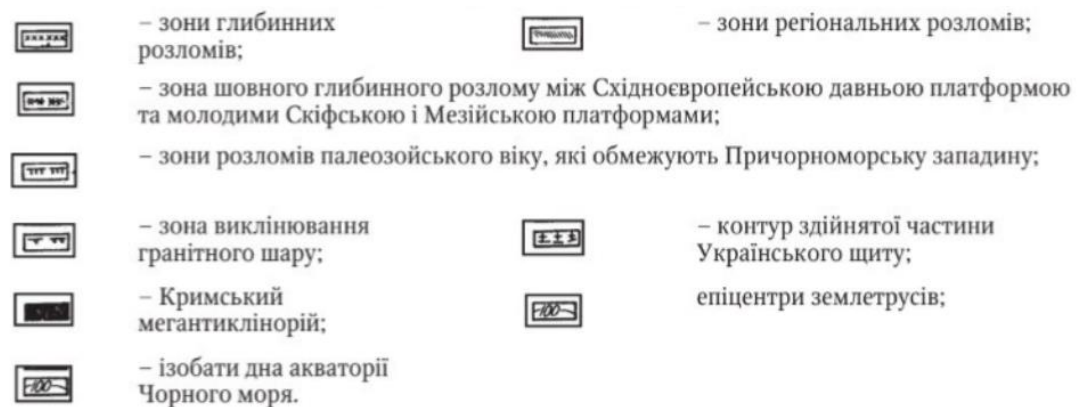


Рис. 1.3. Схема розташування зон глибинних розломів і геоструктур на півдні та південному сході України [5]. Умовні позначення до рисунку на рис. 1.4.



Римськими цифрами на схемі зображені: I – Молдавсько-Криловський мезозойський прогин; Ia – Бирладський блок; Ib – молдавський блок; Ic – Криловський блок; II – Каркінтсько-Сиваський прогин; IIa – Одеський блок; IIб – Каркінтський блок; IIв – Первомайський блок; IIг – Джанкойський блок; IIд – Генічеський блок; III – Болградсько-Кілійський виступ; IV – Єваторійсько-Сімферопольське підняття; V – Азовський вал; VI – Індоло-Кубанський передовий прогин.

Глибинні та регіональні розломи: а – Фрунзенсько-Арцизький; б – Одеський; в – Ряснопільський; г – Миколаївський; д – Єваторійсько-Скадовський; е – Криворізько-Кременчуцький; ж – Салгирський; з – Білозерський; и – Мелітопольський; к – Феодосійсько-Корсакський; л – Керченсько-Маріупольський; м – Джигінсько-Кальміуський; у – Дунайський; ф – Азовський; х – Сімферопольський; ц – Ялтинський; ч – Північно-Чорноморський.

Рис. 1.4. Умовні позначення до рисунку 1.3., наведено за Давидовим О.В. та інші [5].

Фронтальний берег акумулятивної форми приурочений до зони Мелітопольського розлому, тоді як у межах розширеної частини (Бирючого острова) відбувається перетин кількох регіональних розломів.

Саме це створює сприятливі умови для накопичення наносів і формування розширеної частини берегової системи.

Тектонічний режим району є відносно стабільним, із незначними неотектонічними рухами. Водночас розломні структури формують локальні морфоструктурні неоднорідності дна, які визначають конфігурацію підводного схилу та впливають на розвиток акумулятивних процесів.

Формування Федотової коси — Бирючого острова відбувалося у пізньоголоценовий час в умовах коливань рівня Азовського моря. Основними чинниками розвитку виступали хвильовий режим, уздовжбереговий транспорт наносів та активне продукування біогенного матеріалу [18, 24].

На відміну від багатьох інших берегових систем, роль абразійного матеріалу в живленні цієї форми є обмеженою. Основна маса наносів має біогенне походження (ракушковий матеріал), тоді як алювіальні надходження, зокрема від річки Молочної, відігравали допоміжну роль.

У літологічному відношенні тіло акумулятивної форми складене переважно ракушковими відкладами з домішками кварцового піску. Вміст біогенного матеріалу зростає у напрямку до дистальної частини, що відображає специфіку джерел живлення наносів. Потужність відкладів досягає 10–12 м і зменшується у напрямку до корінного берега [24].

У межах берегової зони простежується чітка літологічна диференціація наносів: у межах пляжів домінує ракушково-піщаний матеріал, тоді як на підводному схилі, залежно від положення вздовж берегової лінії, виділяються піщані, піщано-ракушкові та ракушкові ділянки.

1.3. Геоморфологічні умови

Федотова коса – Бирючий острів є однією з найбільших берегових акумулятивних форм Азовського моря і за морфометричними параметрами поступається лише Арабатській Стрілці [11]. Загальна довжина досліджуваної форми становить біля 45 км, ширина змінюється від 0,2 до 5 км, а максимальна висота поверхні досягає 5 м [15].

Морфологічна структура форми представлена трьома основними складовими частинами: вузькою (Федотова коса), широкою (Бирючий острів) та дистальною.

Федотова коса довжиною близько 23 км на сучасному етапі являє собою цілісну берегову акумулятивну форму, проте так було не завжди. У період з кінця 1775 до 1930-х рр. у межах коси формувалися та функціонували ефемерні протоки (прорви) [25].

Найдавніша з історично відомих прорв функціонувала з кінця XVIII до середини XIX століття (близько 50 років) у районі урочища Бакланове. У період з 1850-х до 1930-х років у межах цієї форми на різних етапах існувало від 1 до 4 прорв, розташованих у прикореневій, центральній та південній частинах, зокрема в районі Кирилівки та урочища Бакланове (рис. 1.2). Після закриття останньої прорви поблизу Бакланового у 1933 році [15] нові прориви в межах коси не фіксувалися.

У межах тіла коси простежується система розширень, які інтерпретуються як морфологічні індикатори давніх прорв (рис. 1.5). Найбільше з них розташоване приблизно за 8 км від кореневої частини, де ширина форми збільшується до 1 км. Його формування пов'язане з наявністю абразійного останця, складеного суглинковими відкладами, що є реліктом корінного узбережжя.

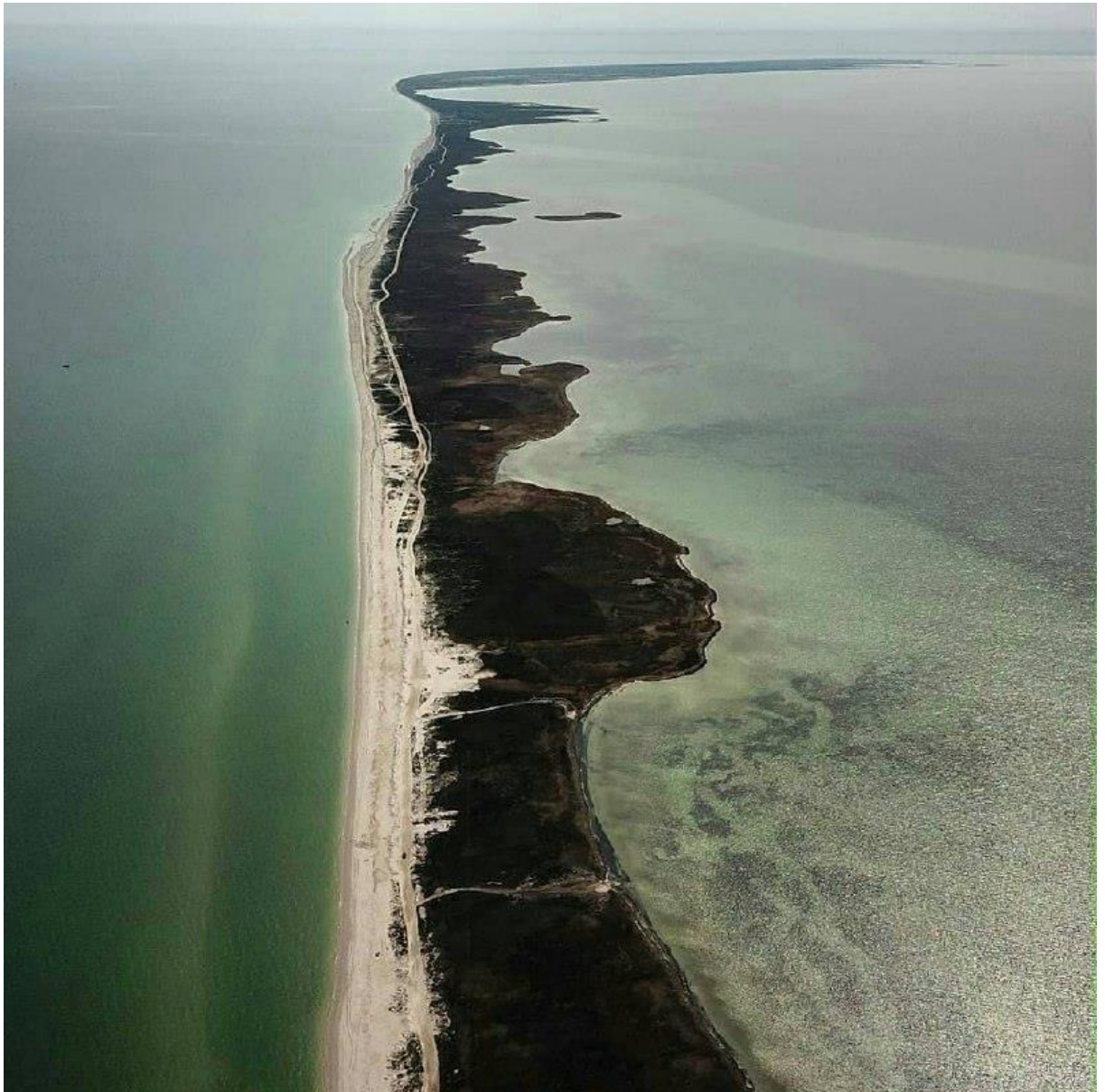


Рис.1.5. Розширення в межах тіла Федотової коси (автор фото О.Войцеховський)

Довжина Бирючого острова є приблизно співставною з довжиною Федотової коси (22–23 км), проте параметри ширини є значно більшими та можуть досягати 5 км. За таких умов розширена частина форми характеризується не лише значними розмірами, але й більш складною морфологічною структурою, а також вищими абсолютними та середніми висотами поверхні [17, 21, 22].

Берегова зона Федотової коси – Бирючий острів характеризується суттєвими відмінностями між морським (східним) і лиманним (західним)

берегами. Уздовж більшої частини східного берегу простежуються один або два берегові вали з відносним перевищенням 1,5–2,0 м над урізом води, а також більш круті схили пляжу (0,02–0,03) і підводного схилу (0,01–0,03 до глибин 3,5–4,0 м) [15].

Західний берег є більш пологим: береговий вал тут виражений слабо або відсутній, а поверхня берега та пляжів перекрита потужною товщею фітогенних відкладів. Уклони підводного схилу становлять 0,002–0,004, що зумовлює формування широких мілководних відмілин уздовж усього контуру лиманного узбережжя.

Найбільш динамічною частиною форми є її дисталь, розташована в південно-західній частині Бирючого острова (рис. 1.6). У її межах пляжі характеризуються значною просторовою мінливістю: їх ширина варіює від 10–15 м на ділянках хвильового розмиву до 70–100 м у зонах активної акумуляції. Уклони підводного схилу з морського боку становлять 0,01–0,02 до глибин 4,0–4,5 м, тоді як з боку Утлюцького лиману вони є значно меншими (0,003–0,008), що відображає контраст гідродинамічних умов у межах морського та лагунного узбережжя [1, 15].

Уздовж усього контуру фронтального берега досліджуваної берегової форми пляжеві відклади представлені переважно ракушковим матеріалом із домішкою піску біогенного та алювіального генезису. Вміст біогенної складової наносів зростає у напрямку від прикореневої частини до дисталі від 60 до 90 %, тоді як частка піщаного матеріалу відповідно зменшується з 40 до 10 %. Зазначена закономірність свідчить про домінування біогенного джерела надходження наносів у межах досліджуваної берегової системи [24].



Рис. 1.6. Передистальна та дистальна кінцівка Федотової коси – Бирючого острова (автор фото О.Войцеховський).

Уздовж досліджуваної берегової акумулятивної форми проявляються різноспрямовані літодинамічні процеси. Основним чинником розвитку фронтального берегу форми є вздовжбереговий потік наносів, зумовлений хвилюванням східного сектору, що забезпечує переміщення наносів в південно-західному напрямку до дистальної частини.

Після огинання дисталі Бирючого острова прибережно-морські наноси спрямовуються у бік Утлюцького лиману, де відбувається трансформація їх руху, в результаті взаємодії хвильових і течійних процесів відкритого моря з гідродинамічними умовами лиману. За таких умов, важливого значення набувають процеси повздовжнього руху наносів.

Аналіз матеріалів багаторічних картографічних і польових досліджень свідчить про значну динамічність морфології досліджуваної форми. Упродовж періоду 1833–1980 рр. у межах південно-східної частини Бирючого острова відбулося відступання берегової лінії на 0,2–1,0 км, що призвело до зменшення площі коси приблизно на 13 км².

Водночас на окремих ділянках тильного берега, зокрема в районі мису та південно-західніше лиману Олень, спостерігалось висування берегової лінії на 0,4–1,2 км унаслідок акумулятивних процесів [17, 20].

Динамічні тенденції досліджуваної форми, за період стаціонарних досліджень (1833-1980) характеризувалися чітко вираженою сезонною мінливістю. У зимовий період переважали процеси акумуляції наносів, тоді як у теплий період активізувався хвильовий розмив, особливо в межах дистальної частини та північно-західному узбережжя. Водночас південно-східний берег острова навпаки зазнавав інтенсивного розмиву в зимовий період і часткової акумуляції влітку. Обсяги переміщення наносів досягали десятків і сотень тисяч кубічних метрів за сезон (від 10 до 600 тис. м³), що свідчить про високу енергію літодинамічних процесів [15].

Східний берег досліджуваної форми має вирівняний характер, тоді як західний ускладнений наявністю численних дрібних бухт і лиманів-заток, серед яких: Ямківський, Олений та Вершинський. Крім того, уздовж західного та північно-західного узбережжя простягається широка мілководна відмілина з глибинами менше 5 м.

Таким чином, морфологічні умови Федотової коси — Бирючого острова визначаються поєднанням специфічної будови акумулятивного тіла, асиметрії берегових процесів та високої динамічності літодинамічного режиму, що забезпечує постійну трансформацію цієї берегової форми. Загалом морфометричні параметри системи свідчать про її сформованість як великомасштабної акумулятивної форми, що перебуває у стадії активного розвитку.

1.4. Метеорологічні умови

Метеорологічні умови району дослідження зумовлені його розташуванням у межах області помірно-континентального клімату з

вираженим морським впливом [13, 14]. Для даної території характерна висока динамічність атмосферних процесів, що безпосередньо визначає гідрологічний режим прилеглих акваторій і відіграє ключову роль у формуванні сучасних морфодинамічних та еволюційних тенденцій Федотової коси – Бирючого острова.

Вітровий режим є одним із провідних факторів розвитку досліджуваної берегової форми. Протягом року переважають вітри східного та північно-східного напрямків, особливо в холодний період. У теплу пору року зростає повторюваність вітрів західного та південно-західного секторів (рис. 1.7). Середні швидкості вітру становлять 4–7 м/с, проте під час штормових ситуацій вони можуть зростати до 15–20 м/с і більше.

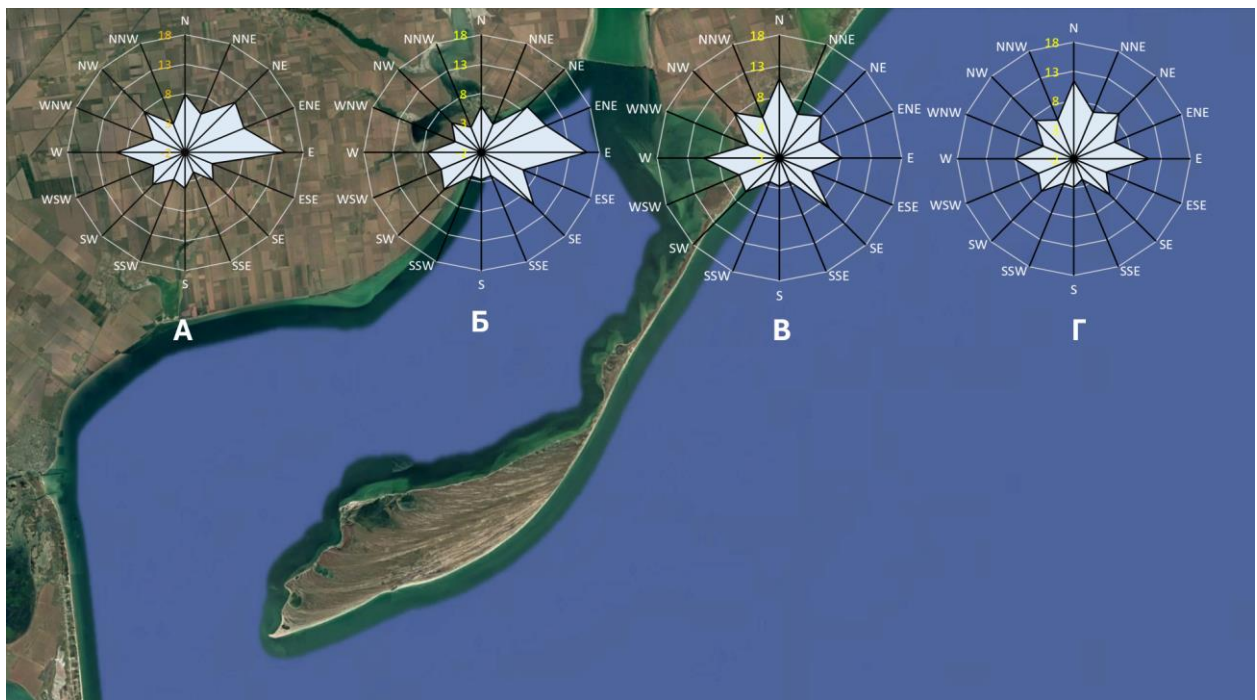


Рис. 1.7. Структура вітрового режиму над північно-західної частиною Азовського моря (за матеріалами ГМС «Генічеськ», за період 2012 – 2021 рр.).

Тривала дія вітрів різних напрямків зумовлює розвиток інтенсивних згонно-нагонних явищ, формування вітрового хвилювання та активізацію вздовжберегового транспорту наносів. Сукупний вплив цих процесів

визначає морфодинамічні умови функціонування та еволюцію відповідної форми.

Коливання атмосферного тиску мають виражений синоптичний характер і пов'язані з проходженням циклонів та антициклонів. У холодний період року переважають вторгнення континентальних антициклонів, що супроводжуються підвищенням атмосферного тиску та стабілізацією погодних умов. Натомість у теплий період активізується циклонічна діяльність, яка зумовлює зниження тиску, посилення вітру та зростання нестійкості атмосфери [4].

Значні баричні градієнти, що формуються під час зміни синоптичних ситуацій, виступають основною причиною розвитку штормових явищ, включаючи інтенсивні згонно-нагонні коливання рівня моря, а також різкі та короточасні зміни погодних умов у районі дослідження. Температурний режим характеризується значною сезонною контрастністю. Середні температури повітря в січні становлять близько $-2...-4$ °C, хоча під час вторгнень холодного повітря можливе зниження до -15 °C і нижче. У липні середні температури сягають $+23...+25$ °C, з максимальними значеннями понад $+30$ °C [14].

Атмосферні опади є відносно невеликими та нерівномірно розподіленими протягом року. Середньорічна кількість опадів становить близько 350–450 мм. Максимум припадає на теплий період (травень–липень), коли переважають короточасні зливові дощі, часто з грозами. Узимку опади менш інтенсивні й переважно випадають у вигляді снігу, який, однак, не утворює стійкого покриву через часті відлиги та сильні вітри [34].

Загалом метеорологічні умови району Федотової коси – Бирючого острова визначаються поєднанням активного вітрового режиму, значної мінливості атмосферного тиску та контрастного температурного й опадового режимів, що формує високодинамічне природне середовище в межах досліджуваної форми.

1.5. Гідрологічні умови

Досліджувана берегова акумулятивна форма розташована в межах північно-західної частини Азовського моря. Азовське море є мілководною та ізольованою водоймою, яка входить до складу Світового океану. Його зв'язок із океаном здійснюється через систему вузьких проток (Керченська, Босфор, Дарданелли, Гібралтарська) та внутрішніх морів (Чорне, Мармурове, Середземне) [4].

Відносна ізольованість басейну зумовлює формування мікроприпливних умов (максимум до 8 см), які генетично не пов'язані з планетарними припливними коливаннями Світового океану. За таких умов провідними чинниками розвитку берегової зони виступають вітрові хвилі, короткочасні коливання рівня моря метеорологічного походження (згони, нагони, сейші) та прибережні течії. Амплітуда метеорологічно зумовлених коливань рівня моря в районі досліджуваної форми може перевищувати 2 м [8, 9].

В умовах сучасних кліматичних змін протягом останніх десятиліть в акваторії Азовського моря простежується тенденція до інтенсифікації як частоти, так і амплітуди подібних коливань [6], що пов'язано зі змінами атмосферної циркуляції та зростанням повторюваності штормових ситуацій.

У західній частині моря, прилеглій до досліджуваної форми, гідродинамічні умови формуються переважно під впливом вітрового хвилювання та течій. Розвиток хвиль обмежується невеликими розгонами та мілководністю акваторії, тому навіть під час штормів їх висоти, як правило, не перевищують 2–2,5 м. У звичайних умовах хвилювання є менш інтенсивним (0,5–0,8 м), проте відіграє ключову роль у перерозподілі наносів уздовж берегів коси.

Однією з визначальних особливостей гідрологічного режиму району є сгонно-нагонні коливання рівня моря, що виникають під впливом тривалих вітрів. У західній частині моря при вітрах східних і південно-східних напрямків спостерігаються нагони води до узбережжя (з підвищенням рівня на десятки сантиметрів і більше), тоді як при вітрах протилежних напрямків відбуваються сгони та осушення мілководних ділянок [6].

Таким чином, гідрологічні умови досліджуваного району визначаються домінуванням вітрових процесів, значною мінливістю рівня води та слабкою вертикальною стратифікацією, що в сукупності формує високодинамічну й чутливу до зовнішніх впливів систему «море – коса – лиман».

1.6. Рослинний покрив

Рослинний покрив Федотової коси – Бирючого острова сформований у специфічних умовах берегової піщаної акумулятивної форми, що зумовлює поєднання псамофітної, галофітної та лучно-степової рослинності. Просторова організація рослинного покриву визначається мікрорельєфом, гранулометричним складом наносів, рівнем зволоження, а також впливом гідродинамічних процесів (перехлюпування та періодичні затоплення). У сукупності ці фактори формують високу мозаїчність рослинних угруповань.

Вздовж фронтального берегу форми переважає псамофітна рослинність, представлена піонерними угрупованнями на слабо закріплених пісках. Тут домінують види, пристосовані до сильного вітру, дефляції та нестійкого субстрату. Проективне покриття таких угруповань є низьким і, як правило, не перевищує 10–30 %, що відображає постійну динаміку поверхні [21].

У центральній частині форми, де піщані поверхні задерновані та стабілізовані, формується різнотравно-злакова псамофітно-степова рослинність. Тут зростає частка багаторічних злаків і напівчагарників, що забезпечують закріплення поверхні. Проективне покриття в цих умовах збільшується до 40–80 %, а рослинний покрив набуває більш суцільного характеру. Водночас зберігається мозаїчність, зумовлена чергуванням підвищених та понижених форм рельєфу (валів та міжвалових знижень).

У пониженнях рельєфу та в тилівій частині коси, прилеглих до Утлюцького лиману, поширена галофітна та лучно-болотна рослинність. Вона формується в умовах підвищеного зволоження та засолення ґрунтів. Тут характерні більш високі значення проективного покриття — 60–90 %, що пов'язано зі стабільнішими екологічними умовами та накопиченням тонкодисперсного матеріалу.

Загалом рослинний покрив Федотової коси – Бирючого острова відзначається значним різноманіттям типів рослинності, що відображає зміни умов в напрямку від морського узбережжя до берегу лиману. Поєднання піонерних, стабілізованих і гідрофільних угруповань формує складну просторову структуру рослинного покриву, який відіграє важливу роль у фіксації наносів, стабілізації поверхні та регуляції морфодинамічних процесів у межах даної акумулятивної системи [23].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ФЕДОТОВОЇ КОСИ – БИРЮЧОГО ОСТРОВА

2.1. Онлайн-ресурси та джерела даних для дистанційного моніторингу

Дистанційні методи дослідження є ефективним інструментом для вивчення природних процесів у межах берегових акумулятивних форм, зокрема для аналізу морфодинаміки берегу та стану рослинного покриву. У межах даного дослідження для аналізу Федотової коси – Бирючого острова було використано ряд онлайн-ресурсів дистанційного зондування Землі, які забезпечують доступ до супутникових даних та інструментів їх обробки.

Основним ресурсом для роботи із супутниковими знімками стала платформа Copernicus Browser [33], яка надає доступ до даних програми Copernicus, зокрема супутників Sentinel. Платформа дозволяє оперативно отримувати багатоспектральні зображення, виконувати їх візуалізацію та розрахунок спектральних індексів без використання спеціалізованого програмного забезпечення. Це забезпечує можливість аналізу змін берегової лінії, оцінки інтенсивності берегових процесів, а також дослідження просторової структури рослинного покриву.

Для аналізу довготривалих змін використовувалися дані супутникової програми Landsat, доступ до яких здійснювався через сервіс EarthExplorer Геологічної служби США (USGS) [32]. Архів Landsat охоплює період спостережень з 1972 року, що дозволяє проводити ретроспективний аналіз змін берегової лінії та рослинності на багаторічних часових інтервалах. Використання цих даних дало можливість простежити загальні тенденції розвитку берегової форми.

Додатково у дослідженні застосовувався ресурс Google Earth [35], який використовувався для проведення морфометричних вимірювань. За допомогою вбудованих інструментів визначалися довжина берегових ділянок, ширина окремих елементів коси, а також площа ключових морфологічних структур. Це дозволило отримати кількісні характеристики берегової форми та використати їх для подальшого аналізу морфодинамічних змін.

Для оцінки кліматичних умов, що впливають на формування та стан рослинного покриву, було використано дані ресурсу NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources) [34]. Зазначений ресурс надає відкритий доступ до кліматичних параметрів, зокрема до даних про кількість атмосферних опадів.

У межах дослідження було отримано часові ряди опадів для території Федотової коси — Бирючого острова за період 2015–2025 рр. Отримані дані використовувалися для аналізу міжрічної мінливості зволоження та оцінки впливу кількості опадів на стан рослинного покриву, особливо у межах центральної частини акумулятивної форми, де кліматичний фактор відіграє визначальну роль.

Таким чином, поєднання даних різних платформ забезпечило можливість комплексного аналізу досліджуваної території, поєднуючи короткострокові спостереження високої деталізації з довготривалими часовими рядами.

2.2. Використання ChatGPT у підготовці дослідження

У процесі підготовки та проведення дослідження було використано інструменти штучного інтелекту, зокрема ChatGPT, як допоміжний засіб для роботи з інформацією. Його застосування було спрямоване на

оптимізацію роботи з онлайн-ресурсами дистанційного зондування та узагальнення відомостей про їх функціональні можливості.

Зокрема, ChatGPT використовувався для отримання довідкової інформації щодо супутникових місій Sentinel і Landsat, включаючи їх спектральні характеристики, просторову роздільну здатність та можливості використання у дослідженнях берегових процесів і рослинного покриву. Також за його допомогою уточнювалися підходи до вибору спектральних індексів, зокрема NDVI та NDWI, і особливості їх застосування в умовах піщаних берегових форм.

Крім того, штучний інтелект використовувався для уточнення алгоритмів роботи з платформами Copernicus Browser та USGS EarthExplorer, включаючи пошук і відбір супутникових знімків, їх попередню інтерпретацію та підготовку до аналізу.

Водночас ChatGPT розглядався виключно як допоміжний інструмент. Уся отримана інформація перевірялася за офіційними джерелами та науковими публікаціями. Таким чином, використання штучного інтелекту дозволило підвищити ефективність підготовчого етапу дослідження та сприяло більш обґрунтованому вибору методів аналізу.

2.3. Аналіз берегової динаміки та стану рослинного покриву за супутниковими даними

Дослідження морфодинамічних тенденцій берегів Федотової коси — Бирючого острова виконувалося із застосуванням дистанційних методів на основі аналізу багаторічних супутникових знімків за період 1985–2025 рр. Такий часовий інтервал дозволяє охопити як довгострокові тенденції розвитку акумулятивної форми, так і сучасні етапи її морфодинамічної перебудови в умовах кліматичних змін.

Оснoву дослідження склали матеріали супутникових місій серії Landsat (з 1985 року), отримані з ресурсу USGS Earth Explorer [32], які забезпечують достатню тривалість спостережень, а також дані супутників Sentinel (з 2015 року), отримані з ресурсу Copernicus Browser, що характеризуються більш високою просторовою роздільною здатністю. Наявність матеріалів за період 2015–2025 рр. дозволив суттєво деталізувати особливості берегових процесів, виявити дрібномасштабні морфологічні зміни та підвищити точність визначення положення берегової лінії.

Для виділення берегової лінії, як межі «суходіл–вода» та визначення її просторового положення використовувався нормалізований водний індекс Normalized Difference Water Index (далі NDWI) (рис. 2.1). Застосування цього індексу дозволяє ефективно відокремлювати водні поверхні від суходолу та забезпечує уніфікований підхід до обробки супутникових знімків різних періодів. Отримані результати використовувалися для побудови багаточасових контурів берегової лінії та подальшого аналізу її змін.

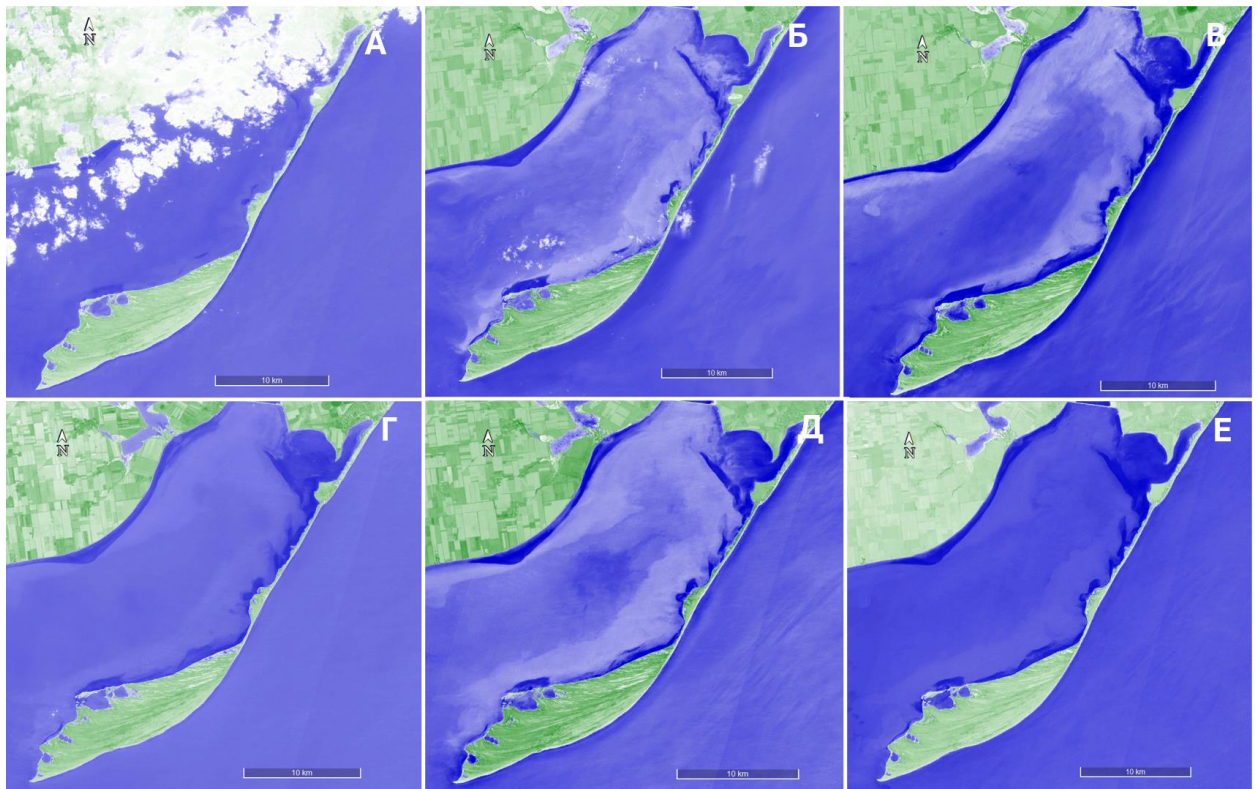


Рис. 2.1. Приклад використання параметрів індексу NDWI в межах берегової форми Федотова коса – Бирючий острів, для визначення просторового розташування контурів берегової лінії, за багаторічний період: А) – 2015 р.; Б) – 2017 р.; В) – 2019 р.; Г) – 2021 р.; Д) – 2023 р.; Е) – 2025 р. (за даними Copernicus Browser [33]).

Визначення показників динаміки берегової лінії здійснювалося за допомогою системи реперних ділянок із чітко визначеними географічними координатами, визначених уздовж різних морфологічних частин акумулятивної форми. Зокрема, у межах фронтального берега вузької частини (Федотова коса) було виділено 20 ділянок, у межах фронтального берега широкої частини (Бирючий острів) — також 20 ділянок, а в межах дистальної частини закладено 5 ділянок. Зазначена кількість ділянок дозволяє врахувати специфіку функціонування берегів в умовах домінуючого впливу морського хвилювання.

Морфодинамічний аналіз берегової лінії вздовж тильного берега також здійснювався в межах реперних ділянок: у межах широкої частини (Бирючий острів) використано 25 ділянок, а у межах вузької частини (Федотова коса) — 20 ділянок.

Така схема дозволяє комплексно оцінити просторову диференціацію берегових процесів, виявити відмінності у динаміці фронтальних і тильних ділянок, а також простежити роль гідродинамічних умов у формуванні сучасної морфології берегової зони. Застосований підхід забезпечує можливість кількісної оцінки змін положення берегової лінії, визначення напрямків і швидкостей її переміщення, а також виявлення ділянок із переважанням ерозійних або акумулятивних процесів у різні часові періоди.

Для дослідження стану рослинного покриву Федотової коси — Бирючого острова за період 2015–2025 рр. були використані дані супутників Sentinel-2 рівня обробки L2A. Зазначені дані забезпечують

високу просторову деталізацію рослинного покриву, доступ до них здійснювався через Copernicus Browser [33].

Для оцінки стану рослинного покриву застосовувався спектральний нормалізований різницевий індекс рослинності — Normalized Difference Vegetation Index (далі просто - NDVI), як базовий показник фотосинтетичної активності та щільності рослинності (рис. 2.2).

NDVI розраховується на основі співвідношення відбиття у ближньому інфрачервоному (NIR) та червоному (Red) спектральних діапазонах: $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$.

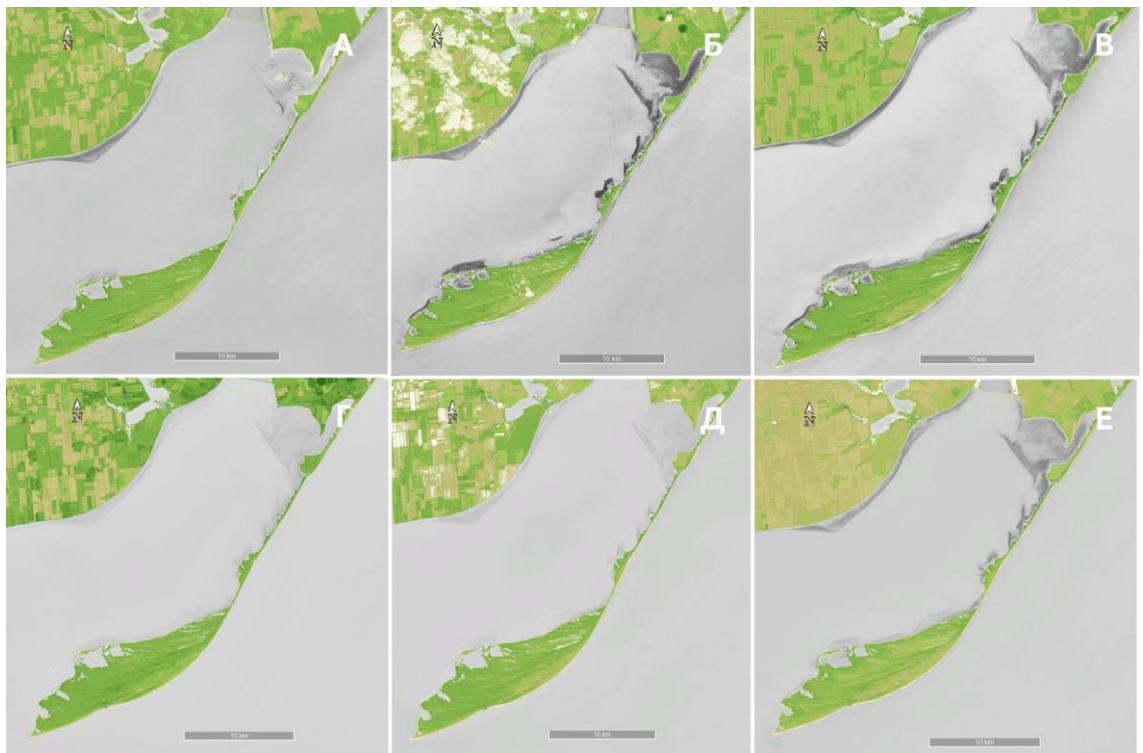


Рис. 2.2. Просторовий розподіл показників індексу NDVI в межах поверхні берегової акумулятивної форми Федотова коса – Бирючий острів, за період: А – 2015 р.; Б – 2017 р.; В – 2019 р.; Г – 2021 р.; Д – 2023 р.; Е – 2025 р. (розроблено за даними Copernicus Browser).

Для подальшого аналізу NDVI було застосовано порогову класифікацію, яка дозволяє виділити ділянки з наявною рослинністю. З урахуванням природних умов досліджуваної території (піщані субстрати, розріджений псамофітний рослинний покрив) встановлено порогове значення індексу на рівні близько 0,3, що відповідає наявності

рослинності. Це дозволило сформувати бінарні маски рослинного покриву та виконати кількісну оцінку його площі.

Аналіз рослинного покриву проводився у період активної вегетації (червень–вересень), що забезпечує максимальну інформативність цього індексу. Зважаючи на специфіку досліджуваної території, додатково застосовувався індекс SAVI, який дозволяє зменшити вплив світлого ґрунтового фону та підвищити точність оцінки рослинності в умовах розрідженого трав'яного покриву.

Для деталізації результатів аналізу NDVI поверхню акумулятивної форми було розподілено на п'ять полігонів: вузький (вся поверхня Федотової коси), літорально-морський (вздовж морського берега острова Бирючий), центральний (внутрішня частина острова Бирючий), літорально-лиманний (вздовж лиманного берега острова Бирючий) та дистальний (рис. 2.3). Виділення зазначених полігонів обумовлене просторовою диференціацією природних умов формування рослинного покриву та різним впливом гідродинамічних і кліматичних чинників.



Рис. 2.3. Просторове розташування полігонів дослідження стану рослинного покриву Федотової коси – Бирючого острова. Кольорами виділені: коричневий – вузький; жовтий – літорально-морський; блакитний – центральний; синій – дисталь; червоний – літорально-лагуний (розроблено на базі ресурсу Google Earth).

У межах вузької частини (Федотова коса) рослинний покрив формується під одночасним впливом морських та лиманних умов, що зумовлює підвищену мінливість зволоження, засолення та стабільності субстрату. У межах літорально-морського полігону визначальними чинниками є вітрове хвилювання та інтенсивність вітрового режиму, які сприяють періодичному перехлюпуванню хвиль, дефляції та перерозподілу піщаного матеріалу, що обмежує розвиток стійкого рослинного покриву.

У межах дистального полігону рослинність формується в умовах високої морфодинамічної активності рельєфу, що проявляється у

постійному перерозподілі наносів та зміні мікрорельєфу, що, у свою чергу, обмежує закріплення рослинності.

У межах літорально-лиманного полігону визначальну роль відіграють короткочасні коливання рівня води метеорологічної природи (нагони та згони), які призводять до періодичного затоплення поверхні, зміни сольового режиму та порушення умов розвитку рослинності.

Натомість у межах центрального полігону основним фактором формування рослинного покриву виступають кліматичні умови, передусім кількість атмосферних опадів, що визначає ступінь зволоження субстрату та сприяє формуванню більш стабільного і розвиненого рослинного покриву.

Отримані результати використовувалися для аналізу динаміки рослинного покриву у межах досліджуваної території за період 2015–2025 рр. Застосування індексу NDVI у поєднанні з просторовою диференціацією полігонів дозволило виявити закономірності розподілу рослинності, оцінити її стан у різних морфологічних частинах коси та встановити зв'язок із гідродинамічними умовами.

Застосований комплекс дистанційних методів забезпечує можливість одночасного аналізу змін берегової лінії та стану рослинного покриву, а також оцінки їх взаємозв'язку в умовах змін гідродинамічного режиму.

РОЗДІЛ 3.

РЕЗУЛЬТАТИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ФЕДОТОВОЇ КОСИ – БІРЮЧОГО ОСТРОВА

3.1. Морфологічні риси берегів досліджуваної форми

Вздовж берегового контуру берегової акумулятивної форми Федотової коси — Бірючого острова виділяється три основні складові частини: морська, дистальна та лиманна (рис. 3.1.).



Рис. 3.1. Морфологічні складові берегів Федотової коси – Бірючий острів: жовта лінія – фронтальний берег; зелений – дисталь; коричневий – тильний берег.

Морська частина довжиною близько 44 км простягається від місця прилягання форми до корінного берега ($46^{\circ}22'4.27''$ пн. ш.; $35^{\circ}22'17.28''$ сх. д.) до переддистальної кінцівки ($46^{\circ}04'39.07''$ пн. ш.; $34^{\circ}59'24.16''$ сх. д.) (рис. 3.1). Відповідна частина берега простягається вздовж відкритої частини Азовського моря і формується під домінуючим впливом вітрового хвилювання та прибережних течій. Саме в межах цієї ділянки відбувається основний уздовжбереговий транспорт наносів, який визначає розвиток берегових процесів і морфологічну еволюцію фронтального берега. Хвилі східних і північно-східних напрямків сприяють переміщенню переважно біогенного матеріалу вздовж берега, забезпечуючи живлення дистальних ділянок.

Дистальна частина досліджуваної форми формується в умовах взаємодії гідродинамічних процесів відкритого моря та Утлюцького лиману (рис. 3.1). Тут відбувається перерозподіл потоків наносів, що надходять із морського боку, а також їх часткове акумулювання в межах підводного схилу та прибережної зони. Конфігурація контурів дисталі орієнтована на південний захід, що вказує на домінування впливу морського хвилювання.

Лиманний берег простягається від переддистальної частини ($46^{\circ}04'42.04''$ пн. ш.; $34^{\circ}58'57.71''$ сх. д.) до тильного боку місця прилягання до корінного берега ($46^{\circ}21'53.01''$ пн. ш.; $35^{\circ}21'17.12''$ сх. д.) (рис. 3.1). На відміну від фронтального берега, лиманний берег характеризується значним розчленуванням, виділенням п'яти крупних вторинних заток у межах широкої частини форми, а також наявністю дельтових розширень на місці давніх прорв у межах її вузької частини.

Відповідний берег характеризується переважанням хвиль мілководдя та значною роллю короточасних коливань рівня води метеорологічної природи (нагонів і згонів). Ці процеси сприяють періодичному проникненню лиманних вод у понижені ділянки центральної частини Бирючого острова. У періоди функціонування прорв у тильній частині

Федотової коси відбувався активний перерозподіл наносів, зокрема перенесення піщано-ракушкового матеріалу з боку моря в акваторію лиману, що відігравало важливу роль у формуванні внутрішньої структури акумулятивної форми.

3.2. Морфодинамічні тенденції берегів досліджуваної форми

Динамічні тенденції вздовж контуру берегів Федотової коси — Бирючого острова дозволяє виділити ділянки двох типів: динамічно стабільні (зміни становлять $\pm 0,5\text{--}1,0$ м/рік у багаторічному аспекті) та динамічно активні (зміни перевищують $\pm 1,0$ м/рік).

За результатами дистанційного дослідження в межах фронтального берега Федотової коси було виділено три морфодинамічні ділянки: прикореневу (від місця прилягання к корінному берегу до розширення Степок), середню (від розширення Степок до розширення Бакланове) та дальню (від розширення Бакланове до розширення острова Бирючий) (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Просторове розташування контурів берегової смуги на багаторічному етапі в межах фронтального та тильного берегів Федотової коси: А – прикоренева ділянка; Б – середня ділянка; В – дальня ділянка (розроблено на базі ресурсу Google Earth).

У межах прикореневої ділянки на багаторічному етапі проявляються проградаційні тенденції, при цьому параметри швидкості акумуляції змінюються від 1–2 до 3–4 м/рік (рис. 3.2 А). На тлі загальної багаторічної проградации берегової лінії, в період 2017–2019 рр. спостерігалися короткочасні ретроградаційні тенденції зі швидкістю 2–3 м/рік. Домінування в межах цієї ділянки проградаційних тенденцій пов’язується як із природними чинниками, зокрема надходженням наносів з боку пересипу Молочного лиману, так і з антропогенними впливами, пов’язаними зі штучною підсипкою та укріпленням берегу.

У межах середньої ділянки на багаторічному етапі переважають ретроградаційні тенденції, які періодично, але на короткочасний період, змінюються на проградаційні. Параметри ретроградации становлять від 2 до 5 м/рік, тоді як при проградации — від 1 до 4 м/рік (рис. 3.2 Б). Проградаційні тенденції проявлялися в період 2017–2019 рр., що пов’язується з активізацією ретроградаційних процесів у межах прикореневої ділянки.

У межах дальньої ділянки переважають стійкі проградаційні тенденції зі швидкостями 2–4 м/рік (рис. 3.2. В). Слід зазначити, що в період 1985–2000 рр. у межах цієї ділянки спостерігалися стійкі ретроградаційні тенденції зі швидкостями 1–2 м/рік. Домінування проградаційних тенденцій пояснюється нами з позиції активізації надходження біогенного матеріалу та специфікою загального вздовжберегового руху наносів.

У межах широкої частини відповідної акумулятивної форми (острів Бирючий) також було виділено три морфодинамічні ділянки: проксимальну (довжиною близько 7 км від місця з’єднання з Федотовою косою), середню (від 7 до 15 км) та переддистальну (від 15 до 21 км) (рис. 3.3).

У межах проксимальної ділянки проявляються динамічно стабільні умови розвитку, за яких незначні ретроградаційні тенденції зі швидкістю

від 0,5 до 1,0 м/рік періодично змінюються на проградаційні зі швидкістю від 0,8 до 1,5 м/рік (рис. 3.3 А). Зазначені морфодинамічні тенденції пов'язуються з особливостями живлення біогенним матеріалом та характером вздовжберегового транспорту наносів.

У межах середньої ділянки широкої частини форми панують чітко виражені проградаційні тенденції зі швидкістю від 2 до 4 м/рік (рис. 3.3 Б). Зазначені тенденції проявляються у вигляді притулення до берега системи штормових валів, що зумовлює поступове розширення досліджуваної акумулятивної форми.



Рис. 3.3. Просторове розташування контурів берегової смуги на багаторічному етапі в межах фронтального та тильного берегів Бирючого острова: А – проксимальна ділянка; Б – середня ділянка; В – переддистальна ділянка (розроблено на базі ресурсу Google Earth).

Для переддистальної частини Бирючого острова характерні незначні за швидкістю ретроградаційні тенденції, параметри яких змінюються в межах від 0,5–1,0 м/рік до 1,2–1,6 м/рік (рис. 3.3 В). Матеріал, що формується внаслідок розмиву переддистальної частини, активно переноситься у напрямку дисталі та сприяє видовженню відповідної акумулятивної форми.

Дистальна кінцівка Федотової коси — Бирючого острова розвивається в умовах стійкої та перманентної проградации. За період з 1985 до 2025 року форма видовжилася приблизно на 1,5 км, що відповідає середнім темпам 3–4 м/рік (рис. 3.4). У районі безпосередньо дистальної

кінцівки з боку лиману формується мілина, яка є основою для подальшої проградації.

Вздовж тильного берегу широкої частини досліджуваної форми домінують динамічно стабільні умови, оскільки параметри змін перебувають у межах $\pm 1,0$ м/рік. Водночас у районі гирл другорядних заток динамічні процеси характеризуються підвищеною активністю та різною спрямованістю. У межах цих ділянок періодично активізуються акумулятивні процеси, що може призводити до тимчасового відокремлення акваторій вторинних заток від Утлюцького лиману. Разом із тим, наявність у межах лиману суттєвих коливань рівня водної поверхні зумовлює періодичні прориви акумулятивних форм, формування прорв і посилення ерозійних тенденцій.

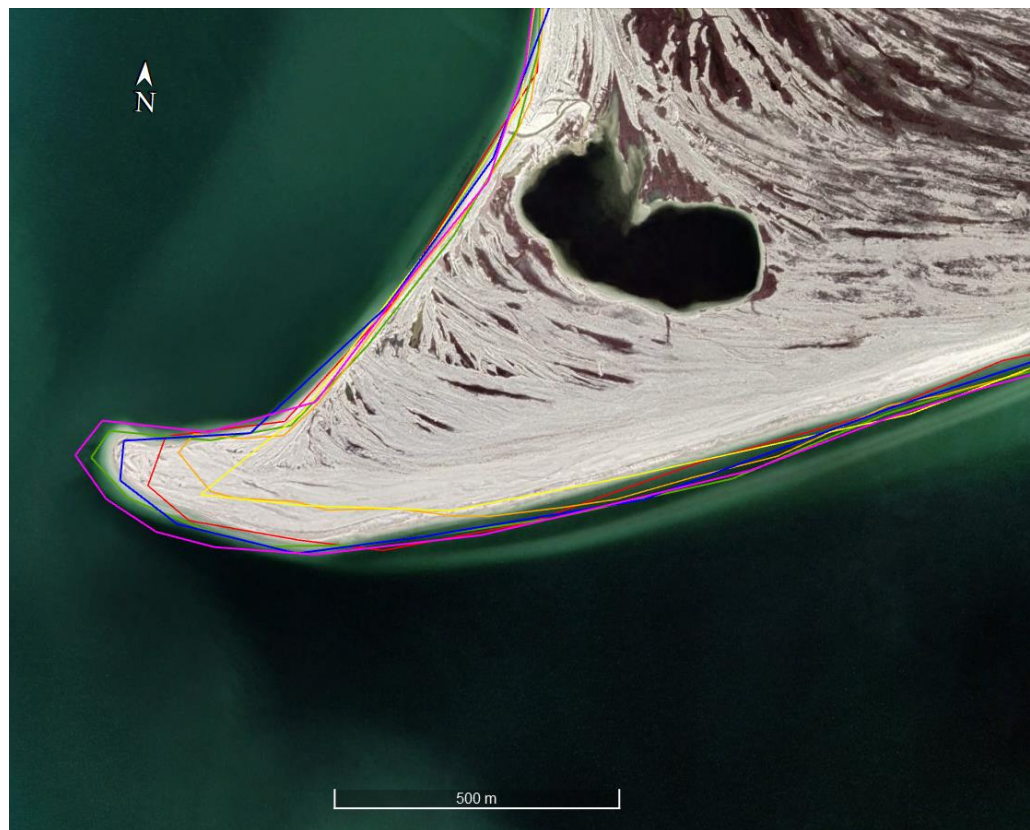


Рис. 3.4. Просторове розташування контурів дисталі берегової акумулятивної форми Федотова коса – Бирючий острів. Кольорами на схемі показані контури берегових ліній: жовтий – 2015 р., коричневий – 2017 р., червоний – 2019 р., синій – 2021 р., зелений – 2023 р., фіолетовий – 2025 р. (розроблено на базі ресурсу Google Earth)/

Вздовж тильного берегу Федотової коси на багаторічному етапі проявляються проградаційні тенденції пов'язані із накопиченням фітогенних відкладів вздовж контуру берегу. Швидкості проградации можуть проявлятися в межах від 5 до 8 м/рік. Але під час штормових нагонів, фітогенні відклади викидаються на поверхню коси, що може мати вигляд епізодичної ретроградации берега зі швидкістю від 2 до 4 м/рік.

Відповідно, вздовж контуру берегової акумулятивної форми проявляються різноспрямовані морфодинамічні тенденції. У межах фронтального берега спостерігається чітке чергування ділянок із різними морфодинамічними режимами, однак на багаторічному етапі ці ділянки можуть змінювати напрями свого розвитку.

У межах дистальної кінцівки перманентно проявляються проградаційні тенденції, що зумовлює поступове видовження акумулятивної форми. Вздовж тильного берега широкої частини переважають динамічно стабільні умови, за винятком гирл вторинних заток. Водночас уздовж тильного берега вузької частини домінують акумулятивні процеси.

3.3. Динамічні тенденції рослинного покриву

Аналіз стану рослинного покриву в межах Федотової коси, виконаний за матеріалами дистанційного зондування Землі із використанням індексу NDVI за період 2015–2025 рр. (рис. 3.5), свідчить про загалом нестабільний характер розвитку рослинності. Значення NDVI переважно варіюють у межах 0,15–0,30, що відповідає умовам розрідженого псамофітного (піщаного) рослинного покриву. У окремі роки (2017 та 2019 рр.) зафіксовано зниження значень індексу до 0,05–0,10, що відображає деградаційні процеси, зумовлені активізацією хвильових і дефляційних процесів.

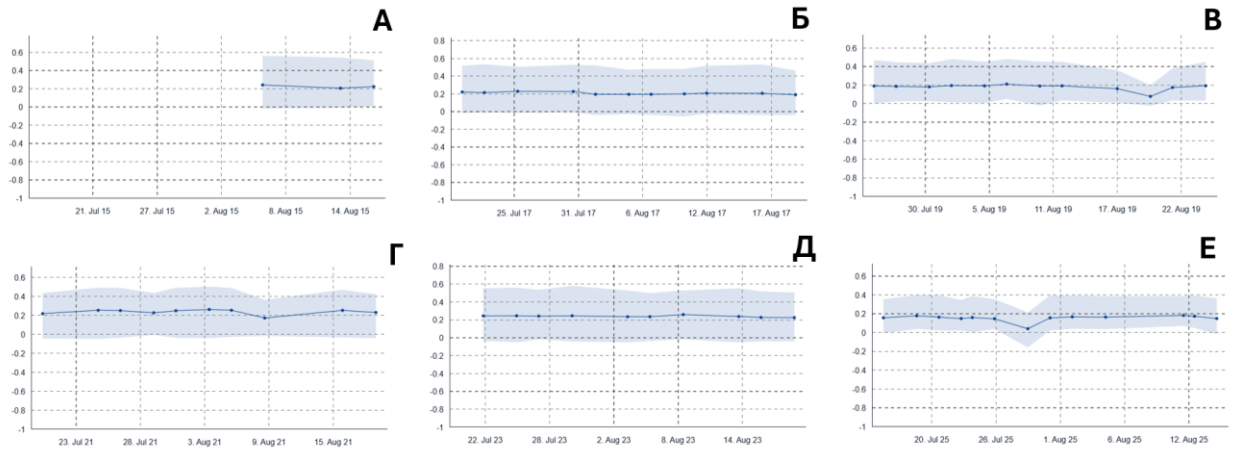


Рис. 3.5. Показники індексу NDVI в межах Федотової коси, за період з 2015 по 2025 рр. (матеріали з ресурсу Copernicus Browser).

Варіабельність індексу на багаторічному етапі має виражений диференційований характер, однак без чітко вираженої тенденції. Представлена динаміка зумовлена поєднаним впливом берегових та еолових процесів, що визначають періодичне формування нових хвильових конусів виносу та активізацію зон перевіювання, а також затоплення тильного берегу під час нагонів. Сукупна дія цих процесів, а також антропогенна діяльність, негативно впливає на умови формування та стабільність рослинного покриву.

У межах вздовжберегової морської ділянки острова Бирючий (літорально-морський полігон) значення NDVI варіюють у межах 0,20–0,40, із періодичними підвищеннями до 0,45–0,50 (рис. 3.6), що свідчить про тимчасове покращення стану рослинного покриву та збільшення його щільності.

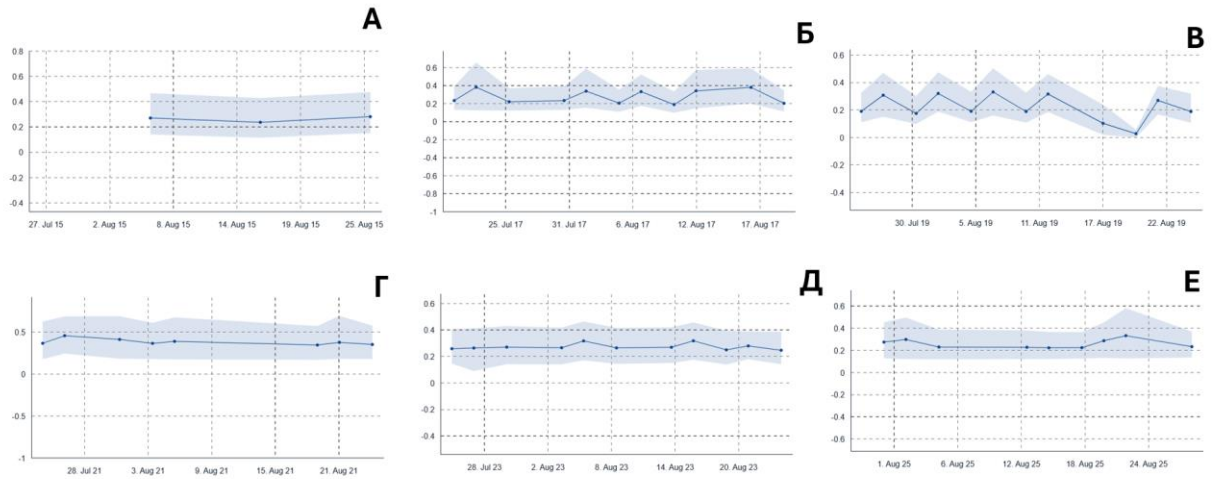


Рис. 3.6. Показники індексу NDVI в межах вздовжберегової частини Бирючого острова (літорально-морський полігон), за період з 2015 по 2025 рр. (матеріали з ресурсу Copernicus Browser).

Динаміка рослинного покриву характеризується помірною мінливістю без чітко вираженого багаторічного тренду. Визначальними факторами є процеси морського хвилювання, які зумовлюють формування нових берегових валів, хвильове перехлюпування під час штормів, а також дефляційні процеси за умов проявлення сильних вітрів. Сукупна дія цих факторів обмежує стабілізацію піщано-черепашкового субстрату та перешкоджає закріпленню рослинності.

Дистальна частина коси характеризується найнижчими значеннями індексу NDVI — переважно в межах 0,10–0,20 (рис. 3.7), що відповідає дуже розрідженому або фрагментарному рослинному покриву. Максимальні значення не більше ніж 0,25 та мають епізодичний характер.

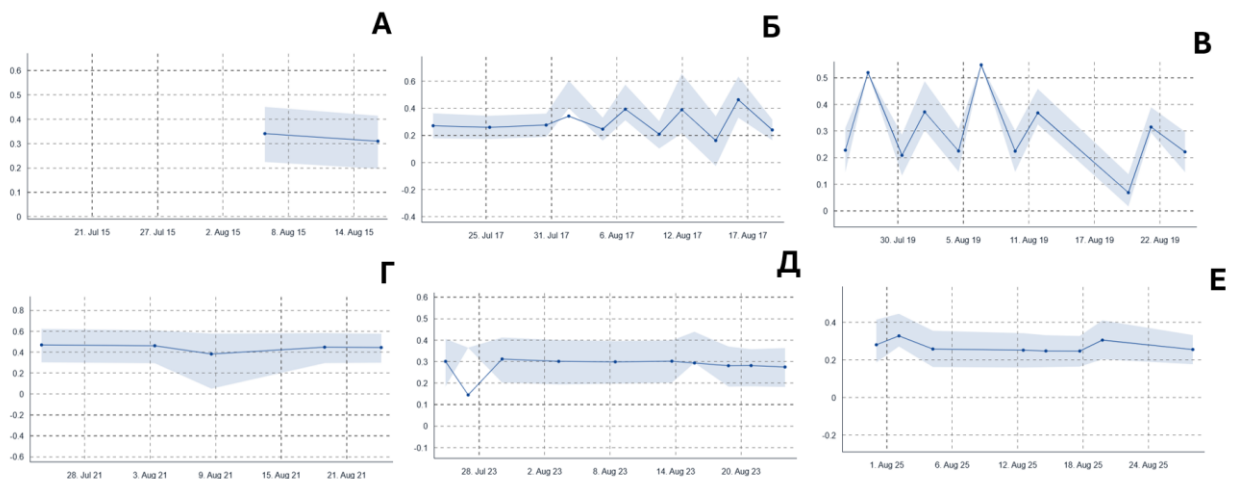


Рис. 3.7. Показники індексу NDVI в межах дисталі Бірючого острова, за період з 2015 по 2025 рр. (матеріали з ресурсу Copernicus Browser).

Стабільність низьких значень індексу свідчить про обмежені можливості розвитку рослинності. Це обумовлено високою морфодинамічною активністю дистальної частини коси, де відбувається постійний перерозподіл піщаного матеріалу та трансформація мікрорельєфу.

У межах центральної частини острова Бірючий зафіксовано найвищі значення індексу NDVI — у межах 0,25–0,45, із підвищенням до 0,50–0,55 (рис. 3.8), що відповідає умовам щільного та відносно стабільного рослинного покриву на піщаних поверхнях.

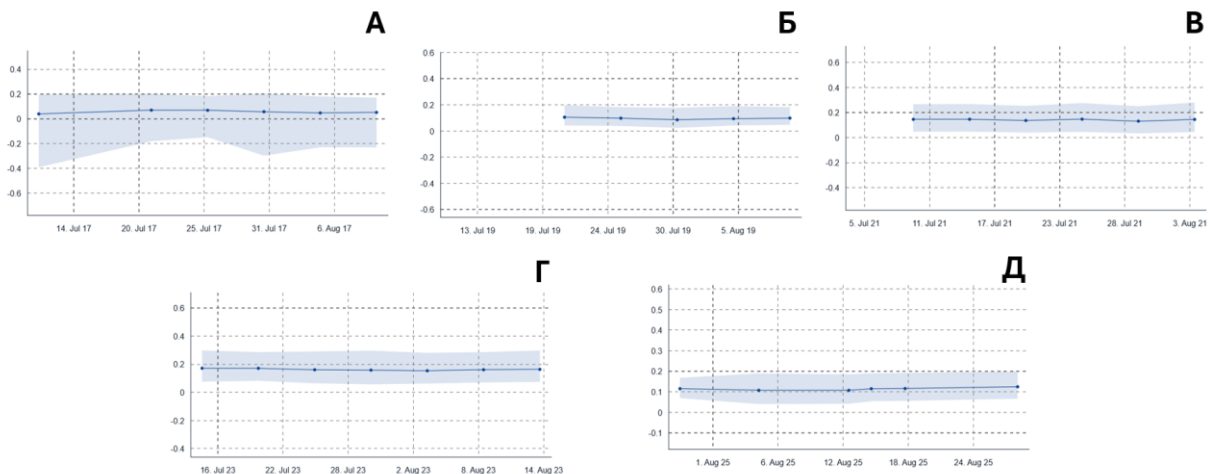


Рис. 3.8. Показники індексу NDVI в межах центральної частини Бірючого острова, за період з 2015 по 2025 рр. (матеріали з ресурсу Copernicus Browser).

Динаміка стану рослинності характеризується відносною стабільністю та відсутністю різких коливань. Основним фактором формування рослинності є кліматичні умови, зокрема кількість атмосферних опадів, що визначають рівень зволоження піщаного субстрату. За даними NASA POWER [34], у досліджуваний період спостерігається міжрічна варіабельність кількості опадів, що безпосередньо відображається у змінах значень NDVI. Роки з підвищеною кількістю опадів супроводжуються зростанням індексу рослинності, що

підтверджує залежність розвитку рослинного покриву від кліматичних факторів.

Вздовж лиманного узбережжя острова Бірючий (літорально-лиманний полігон) значення NDVI становлять 0,20–0,35, із періодичними підвищеннями до 0,40–0,50 (рис. 3.9). Рослинний покрив характеризується помірною стабільністю. Водночас у окремі періоди фіксуються короточасні зниження значень індексу до 0,10–0,15, що пов'язані з коливаннями рівня води метеорологічної природи. За даними NASA POWER [34], такі періоди співпадають із роками підвищеної вітрової активності та екстремальних гідрометеорологічних умов, що спричиняють нагони води, періодичне затоплення поверхні та, як наслідок, пригнічення рослинного покриву.

Порівняльний аналіз показників індексу NDVI в межах різних полігонів, показує чітку просторову диференціацію стану рослинного покриву на поверхні досліджуваної акумулятивної форми. Найвищі значення NDVI характерні для центрального полігону, що свідчить про найбільш сприятливі умови розвитку рослинності. Літорально-морський та літорально-лиманний полігони характеризуються середніми значеннями індексу та помірною варіабельністю.

Вузький полігон відзначається підвищеною нестабільністю, тоді як дистальний полігон характеризується найменшими значеннями NDVI та мінімальним розвитком рослинності.

Загалом простежується чіткий градієнт зменшення густоти рослинного покриву від центральної частини до дисталі, що відображає зростання впливу гідродинамічних процесів та морфодинамічної активності.

Отримані результати свідчать про тісний взаємозв'язок між станом рослинного покриву та метеорологічними, гідродинамічними і геоморфологічними процесами. Метеорологічні фактори, зокрема

кількість опадів і температурний режим, визначають загальний рівень розвитку рослинності, особливо в центральній частині коси.

Гідродинамічні процеси (хвильова діяльність, нагони та згони води) відіграють ключову роль у літоральних полігонах, обмежуючи або періодично порушуючи рослинний покрив.

Геоморфологічні процеси, зокрема акумуляція та перерозподіл наносів, визначають стабільність субстрату і, відповідно, можливості закріплення рослинності, що найбільш виражено в дистальній частині коси.

Таким чином, динаміка рослинного покриву в межах Федотової коси – Бирючого острова є результатом складної взаємодії метеорологічних, гідродинамічних та геоморфологічних процесів, що формують просторово диференційовані умови розвитку рослинності.

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного дослідження ми дійшли наступних висновків:

1. За матеріалами аналізу природних умов розвитку берегової акумулятивної форми Федотова коса – Бирючий острів, було встановлено, що формування та еволюція досліджуваного утворення відбувається в умовах мікроприпливного режиму, де визначальними чинниками є вітрові хвилі, вздовжбереговий транспорт наносів і коливання рівня води метеорологічної природи (нагони та згони). Додаткову роль відіграють еолові процеси та акумуляція, що зумовлюють високу морфодинамічну активність та просторову неоднорідність розвитку берегової форми.

2. В роботі описані методологічні підходи до дистанційного моніторингу досліджуваної форми. Встановлено, що використання багаторічних супутникових даних (Landsat та Sentinel-2, рівень обробки L2A) є ефективною основою для комплексного аналізу як стану рослинного покриву, так і динаміки берегової лінії.

Виділення берегової лінії здійснювалося на основі спектрального водного індексу NDWI, що дозволяє чітко розмежовувати водну поверхню та суходіл. Використання NDWI у поєднанні з візуальною інтерпретацією супутникових знімків забезпечило високу точність дешифрування берегової лінії на різночасових зрізах. Аналіз багаторічної динаміки берегів проводився шляхом порівняння просторового розташування берегових ліній для кожного часового зрізу з подальшим розрахунком швидкостей зміщення. Це дозволило виявити просторову диференціацію морфодинамічних процесів, визначити ділянки проградації та ретроградації, а також оцінити їх інтенсивність у багаторічному аспекті.

Для оцінки стану рослинності застосовано спектральний індекс NDVI, що дозволяє кількісно характеризувати фотосинтетичну активність і щільність рослинного покриву в умовах піщаних субстратів.

Застосування онлайн-платформ дистанційного зондування (Copernicus Browser) та кліматичних баз даних, зокрема NASA POWER, забезпечило інтеграцію геопросторових і гідрометеорологічних даних та дозволило встановити взаємозв'язок між динамікою берегової лінії, станом рослинного покриву та кліматичними умовами.

3. Визначено морфодинамічні тенденції розвитку берегів в межах різних ділянок досліджуваної форми. Встановлено, що вздовж фронтального берегу спостерігається чергування ділянок із різними тенденціями розвитку, однак у довгостроковій перспективі домінують акумулятивні процеси. Дистальна частина характеризується стійкою проградацією зі швидкістю близько 3–4 м/рік, що призводить до повільного, але стійкого висунення косі на південний захід. Тильний берег відповідної форми переважно перебуває у стані динамічної стабільності, за винятком гирл вторинних заток, де проявляється дуже висока мінливість берегових процесів.

4. Досліджено стан рослинного покриву в межах Федотової коси – Бирючого острова. Встановлено, що рослинний покрив характеризується чіткою просторовою диференціацією: максимальні значення NDVI (0,25–0,55) притаманні центральній частині острова, що свідчить про найбільш сприятливі умови розвитку рослинності; у літоральних зонах значення індексу знижуються до 0,20–0,40 під впливом гідродинамічних процесів; найнижчі значення (0,10–0,20) характерні для дистальної частини, де рослинний покрив має фрагментарний характер. Вузька частина коси відзначається підвищеною варіабельністю показників, що відображає нестабільність умов формування рослинності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аксенов А. А. Морфология и динамика северного берега Азовского моря // Труды Государственного океанографического института. – 1955. – Вып. 29 (41). – С. 107–143.
2. Бровко М. О., Давидов О. В. Роль і значення тектонічних процесів у просторовому розташуванні і походженні кіс «азовського типу» // Науково-дослідна робота молодих учених: стан, проблеми, перспективи : матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. – Херсон : ХДУ, 2012. – С. 186–190.
3. Гаркаленко И. А. О глубинных разломах юга и юго-востока Украины // Геологический журнал. – 1970. – Т. 30, № 3. – С. 3–14.
4. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 1 : Азовское море / Ю. П. Ильин, В. В. Фомин, Н. Н. Дьяков, С. Б. Горбач. – Севастополь, 2009. – 400 с.
5. Давидов О. В. Аналіз тектонічної зумовленості геоморфологічних умов берегової зони Херсонської області / О. В. Давидов, І. М. Котовський та ін. // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Географічні науки. – 2017. – Вип. 6. – С. 134–140.
6. Давидов О. В., Роскос Н. О., Роскос О. М. Природні умови виникнення штормових нагонів у районі Генічеської дельти // Вісник ОНУ. – 2019. – Т. 24, № 2 (35). – С. 40–51.
7. Давыдов А. В. Влияние разломов в земной коре на расположение аккумулятивных форм в пределах северного и северо-западного побережья Азовского моря // Регіональні проблеми України: географічний аналіз та пошук шляхів вирішення : зб. наук. праць. – 2011. – С. 99–110.

8. Доценко С. Ф. Природные катастрофы Азово-Черноморского региона / С. Ф. Доценко, В. А. Иванов. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. – 174 с.
9. Дьяков Н. Н. Синоптические условия возникновения аномальных колебаний уровня Азовского моря / Н. Н. Дьяков, В. В. Фомин // Труды УкрНИГМИ. – 2002. – С. 332–341.
10. Зенкович В. П. Берега Черного и Азовского морей. – Москва : Географгиз, 1958. – 316 с.
11. Зенкович В. П. Морфология и динамика берегов Черного моря. Т. 2 : Северо-западная часть. – Москва : АН СССР, 1960. – 216 с.
12. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. – Москва : АН СССР, 1962. – 710 с.
13. Климатический атлас Азовского моря 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/AZOV2006/start.html> – Дата звернення: 04.04.2026.
14. Кліматичний кадастр України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cgo.kiev.ua/> – Дата звернення: 04.04.2026.
15. Мамыкина В. А. Береговая зона Азовского моря / В. А. Мамыкина, Ю. П. Хрусталева. – Ростов-на-Дону : РГУ, 1980. – 174 с.
16. Морская геоморфология: терминологический справочник / под ред. В. П. Зенковича, Б. А. Попова. – Москва : Мысль, 1980. – 280 с.
17. Непша О. В. Геоморфологическое строение аккумулятивных образований северного побережья Азовского моря // Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. – 2013. – Vol. 1, No. 4. – С. 114–116.
18. Непша О. В. До історії формування кіс північного узбережжя Азовського моря // Наукові пошуки географічної громадськості : матеріали конф. – Луганськ, 2009. – С. 78–82.

19. Непша О. В. Про будову кіс Північного Приазов'я // Геологічний журнал. – 2013. – № 3. – С. 44–50.
20. Палієнко В. П. Сучасна динаміка рельєфу України / В. П. Палієнко та ін. – Київ : Наукова думка, 2005. – 268 с.
21. Північно-Західне Приазов'я: геологія, геоморфологія, геоекологічний стан / Л. М. Даценко та ін. – Мелітополь : МДПУ, 2014. – 308 с.
22. Рельєф України / за ред. В. В. Стецюка. – Київ : Слово, 2010. – 688 с.
23. Черевко М. А. НПП «Азово-Сиваський»: природний потенціал, функціональна діяльність, проблеми : магістерська робота. – Одеса, 2018. – 75 с. – Режим доступу: <http://eprints.library.odku.edu.ua/3696/> – Дата звернення: 04.04.2026.
24. Шнюков Е. Ф. Геология Азовского моря / Е. Ф. Шнюков, Г. Н. Орловский, В. П. Усенко, А. В. Григорьев. – Київ : Наукова думка, 1974. – 248 с.
25. Davydov O. V., Buynevich I. V. Morphometry of non-tidal inlet (prorva) channels: Tendra-Dzharylgach barrier system, Black Sea Coast, Ukraine // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. – 2024. – Vol. 309. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2024.108962>
26. Davydov O. V., Karaliūnas V. Genetic diversity of inlet systems along non-tidal coasts: examples from the Black Sea and Sea of Azov (Ukraine) // *Baltica*. – 2022. – Vol. 35, No. 2. – P. 125–139. <https://doi.org/10.5200/baltica.2022.2.3>
27. McBride R. A. Morphodynamics of Barrier Systems: A Synthesis. – San Diego : Academic Press, 2013. – Vol. 10. – 168 p.
32. USGS EarthExplorer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://earthexplorer.usgs.gov/> – Дата звернення: 04.04.2026.
33. Copernicus Browser [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/> – Дата звернення: 04.04.2026.

34.NASA POWER Data Access Viewer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://power.larc.nasa.gov/> – Дата звернення: 04.04.2026.

35.Google Earth [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earth.google.com/> – Дата звернення: 04.04.2026.