

МЕТОДИЧНЕ ПІДГРУНТЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЄКТУВАННЯ ДНОПОГЛИБЛЕННЯ В РАЙОНАХ АКВАТОРІЙ І СУХОДОЛУ

Науменко А.В. аспірант, Одеський національний морський університет, м. Одеса, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8025-2790>, e-mail: captainnaumenko@gmail.com;

Капочкіна М.Б. канд. техн. наук, доцент, Одеський національний морський університет, м. Одеса, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4893-2523>, e-mail: kapochkinamargarita@gmail.com

Розглянута проблема обрання оптимальних трас судноплавних каналів в районах алювіальних площин суходолу та районах акваторій з акумулятивним рельєфом морського дна. Критерієм обрання трас судноплавних каналів є мінімізація витрат на днопоглиблювальні роботи на етапі побудови каналу. Зазвичай це досягається мінімізацією дистанції. Критерій замулювання каналу в процесі експлуатації зазвичай враховується у другу чергу, бо на сучасному науково-технічному рівні критерій визначення замулюваності каналів не є досконалими. З отриманням нових знань в галузях флюїдодинаміки, структуроутворення літосфери було створено наукове підґрунтя для оптимізації, вже з урахуванням фактору замулювання, проєктування траси судноплавного каналу. Таким чином, штучне втручання у природні процеси шляхом днопоглиблювання почало обирати риси ергономічності. Запропоновано алгоритм лінеamentного аналізу структуроутворення земної поверхні за гіпотезою К.Ф. Тяпкіна. Як приклад реалізації алгоритму районування земної поверхні, включаючи суходіл і акваторію, запропоновано схему блокової подільності південно-східної частини Туреччини. Алгоритм картографування блокової подільності твердої оболонки Землі у спрощеному варіанті реалізовано для акваторії Дністровського лиману, як перспективного міжнародного водного шляху Дубосари – Білгород-Дністровський. Проаналізовано сучасні можливості програмного забезпечення з розпізнавання образів для автоматизації процесу вибору оптимальної траси судноплавного каналу за критерієм мінімізації замулювання. Вдосконалено ротаційну гіпотезу структуроутворення. На прикладі планетарної активізації процесу структуроутворення в період геодинамічної епохи 2005-2006 років показано, що змінення азимуту дії руйнівних припливних геодиформаций земної поверхні може відбуватися за стабільних ротаційних умов і без раптових змін нахилу вісі обертання Землі.

Ключові слова: суднопластво, морська навігація, логістика, судноплавні канали, днопоглиблювальні роботи, замулювання судноплавних каналів, флюїдодинаміка, структуроутворення літосфери.

Постановка проблеми

У роботах [1-8] розглянуто проблематику забезпечення навігації, вантажоперевезень морськими та річковими транспортними шляхами. Важливою складовою забезпечення навігації на річкових та морських транспортних шляхах є днопоглиблювальні роботи. В рамках підвищення ефективності проєктування днопоглиблювання розглянута проблема обрання оптимальних трас судноплавних каналів в районах алювіальних площин суходолу та мілководних районів акваторій з акумулятивним рельєфом морського дна. Критерієм обрання напрямку судноплавних каналів, які майже завжди є прямолінійними, зазвичай є мінімізація дистанції, як фактору мінімізації витрат на днопоглиблювальні роботи. Критерій замулюваності судноплавного каналу під час його експлуатації зазвичай враховується у другу чергу, бо на сучасному науковому рівні досі не існує чітких критеріїв визначення ступеню замулювання каналів. З отриманням нових знань в галузях флюїдодинаміки, структуроутворення літосфери, формування акумулятивного рельєфу морського дна з'явилася підґрунтя для розробки методики, алгоритмів та технічних рішень, що направлені на оптимізацію проєктування днопоглиблювання в районах акваторій і русел річок з метою зменшення сумарних затрат на побудову та обслуговування судноплавного каналу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В останні роки в Україні у галузі геодинаміки та гідрогеології опубліковані результати наукових досліджень, що мають пріоритетний характер і мають бути реалізовані на практиці у вигляді методичних рішень, наприклад, з оптимізації проєктування днопоглиблювання в районах акваторій і русел річок з метою зменшення сумарних затрат на побудову та обслуговування судноплавних каналів. Тобто, у напрямку морської та річкової навігації вже існує науково обґрунтована перспектива щодо формування нового методичного підходу до проєктування днопоглиблювальних робіт. У подальшому повинна змінитися і парадигма днопоглиблювальних робіт. Знання стосовно раніше невідомих особливостей процесів руслоутворення на суходолі та рельєфоутворення в акумулятивних (мілководних) районах акваторій сприяють тому, щоб штучне втручання у природні процеси шляхом виконання днопоглиблювальних робіт обрало риси ергономічності. Це стає реальним завдяки врахуванню того, що сучасні геодинамічні процеси діють у сукупності з гідрогеологічними процесами в рамках ендегенної флюїдодинамічної теорії безперервної трансформації річкової мережі на суходолі та мілководного рельєфу акваторій [3-5]. Флюїдодинамічні процеси найбільш суттєво впливають на трансформацію дельтових ділянок річкових русел. В монографії [1] нами узагальнені базові

положення ендегенної теорії рельєфоутворення. Під час написання монографії в першу чергу були враховані результати наукових досліджень, виконаних Інститутом геологічних наук НАНУ [9, 10], інших авторів [2-4, 11-14]. В останні роки, завдяки вагомому науковому внеску відомого українського вченого член-кореспондента НАНУ К.Ф. Тяпкіна [15, 16], створене підґрунтя для ревізії екзогенної гіпотези формування річкових русел на суходолі та жолобів в районах акваторій, що дозволить підвищити ефективність навігаційного забезпечення річкового та морського транспорту. К.Ф. Тяпкін на базі даних наукових досліджень емпіричного характеру, врахувавши теоретичні досягнення у напрямку досліджень ротаційних ефектів, висунув гіпотезу, що за сучасної орієнтації осі обертання Землі, реалізується процес структуроутворення поверхні Землі тектонічними блоками з орієнтацією 0° і 270° . У геологічному минулому, коли орієнтація осі обертання Землі неодноразово змінювалося, в рельєфі нашої планети були сформовані тектонічні блоки з іншими азимутами простягання: 17° і 287° ; 35° і 305° ; 45° і 315° ; 62° і 332° ; 77° і 347° . Результати геологічного картографування суходолу і акваторій показують, що підпорядкованість зазначених тектонічних блоків утворюється відповідно до теорії фракталів. Тобто утворення блокової будови літосфери у просторі відбувалося і відбувається дискретно. Базовий просторовий масштаб блокового структуроутворення відповідає розміру тектонічних блоків 140 ± 10 км. Однак слід нагадати, що ще у 50-ті роки ХХ сторіччя про фрактальний характер прояву планетарних розломів з азимутами простягання: 15° ; 30° ; 60° ; 75° було відомо [17] (рис. 1).

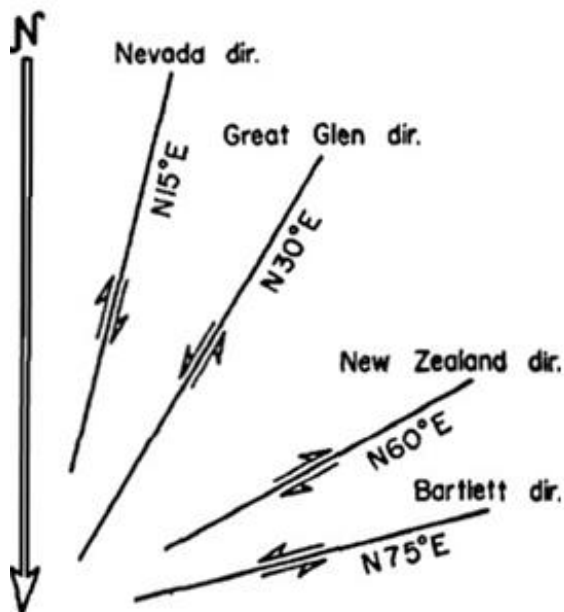


Рис. 1 – Схема планетарних розломів [17]

Згодом зазначені у публікації [17] азимуті 15° ; 30° ; 60° ; 75° були уточнені у теорії К.Ф. Тяпкіна і зараз відповідають значенням азимутів 17° ; 35° ; 62° ; 77° , відповідно. Важко переоцінити теоретичні та практичні наслідки впровадження ротаційної теорії структуроутворення, яка дозволяє з єдиної геодинамічної позиції показати причинно-наслідковий зв'язок між тектонікою та іншими процесами в твердій оболонці нашої планети, у тому числі з процесом руслоутворення річок, трансформації берегової смуги морів, акумулятивних форм мілководдя, у тому числі природних жолобів на морському дні. Завдяки новій гіпотезі структуроутворення, відкрилися можливості районування простору за ознакою блокової подільності Земної кори і перспективи діагностування сучасного стану та прогнозування тенденцій майбутніх трансформацій акумулятивного рельєфу морського дна та річкової мережі суходолу.

Результати наукових досліджень Інституту геологічних проблем НАН України [9,10] опосередковано підтверджують наукові висновки, опубліковані у наукових працях К.Ф. Тяпкіна, та зі свого боку об'єктивно обґрунтовують науковий напрям, що розглядає геофлюїдодинамічні структури, як канали вертикальної міграції пластових та глибинних флюїдів, які відіграють активну роль у формуванні річкової мережі. Фізична модель впливу геофлюїдодинамічних структур на формування рельєфу суходолу враховує, в першу чергу, процеси тектонічного розщільнення гірських порід [9, 10]. Слід розуміти, що прояви підземного живлення диференційовані у просторі і максимально помітні у зонах підвищеної проникності земної кори, тобто в межах геофлюїдодинамічних структур. Геофлюїдодинамічні структури суходолу проявлені процесами перезволоження ґрунтів. Активний прояв геофлюїдодинамічних структур зумовлює їх вплив практично на всі компоненти сучасних ландшафтів (рельєф, річкова гідромережа, конфігурація берегової смуги). Приналежність певних ділянок річкового русла до геофлюїдодинамічних структур літосфери обумовлює їх прямолінійність, схожість геометрії їх контурів та повторюваність напрямків, що характерні для зон розривних порушень земної кори. Для умов суходолу нами пропонується використовувати зазначені природні процеси для вдосконалення теорії руслоутворення та на її основі – розробки практичних методів підвищення ефективності днопоглиблювальних робіт.

Для районів акваторій нами сформульовано нову парадигму акумулятивного рельєфоутворення, в основі якої лежить ефект вертикальних потоків рідини в гідросфері над зонами розломів, що блокують процес відкладення наносів і, таким чином, сприяють формуванню жолобів [1]. Зазначена теорія формування жолобів та банок підтверджується результатами математичного гідродинамічного моделювання процесу відкладення наносів в районах флюїдодинамічних структур [3].

Наведені у роботах [6, 7] схеми районування територій за ознакою блокової подільності твердої оболонки Землі фактично є складовою частиною науково обґрунтованої методики прогнозування поточних змін русел річок в умовах сучасної епохи структуроутворення нашої планети. Тяпкін К.Ф. запропонував концепцію розвитку блокової подільності планети в різних геологічних епохах, що базується на ротаційній гіпотезі структуроутворення Земної поверхні [17]. Таким чином, у історичному минулому утворювалися мережі розломів різних порядків (рангів), орієнтованих у напрямку, перпендикулярному (ортогональному) до напрямку орієнтації осі обертання Землі. Мережа розломів утворювалася за фрактальним принципом у відповідності до принципу ізостазії. Слід враховувати, що напрямки руху припливів у твердій оболонці Землі призводять до виникнення мережі розломів меридіонального та широтного напрямку.

Відповідно до методичного рішення щодо районування суходолу за критерієм блокової подільності літосфери, наведеного у монографії [14] нами, в кордонах України було виконано районування Придунав'я [6] і Придніпров'я [7]. Досліджено, яким чином блокова подільність літосфери впливає на руслові процеси в районі алювіальної Кілійської дельти Дунаю та на процеси руслоутворення Дніпра, що знаходиться в принципово інших геологічних умовах – на площині кристалічного щита.

У монографії [1] нами розглядається процес рельєфоутворення у північно-західній частині Чорного моря, донні відкладення якої сформовані твердим стоком Дніпра, південного Бугу, Дністра та Дунаю і за таких умов рельєф морського дна повинен бути плоским.

Система з азимутом 62° і 332° , що формує структури Кримського півострову (піднятий блок 140×140 км) та Азовського моря (занурений блок 140×140 км), система з азимутом 17° і 287° представлена надводною акумулятивною формою – Тендрівська коса – о. Джарилгач, а сучасна система з азимутом 0° і 270° проявлена підняттям, що проявлений контуром ізобати 20 м на ділянці акваторії від Одеської до Каркініської заток. Слід підкреслити, що зазначена схема надає наукове обґрунтування для обрання ефективних рішень щодо днопоглиблювання у портах: Чорноморське (азимут 332°); Донузлав (азимут 62°); портах агломерації Севастополя (азимут 0° і 270°).

В аспекті забезпечення навігації у «вузкостях», найцікавішою є ділянка акваторії від дельти Дніпра до Одеської затоки, що у рельєфі дна представлена прямолінійною природною депресією, сформованою під кутом з азимутом 270° та довжиною приблизно 140 км, яка на сході є Дніпро-Бузьким лиманом, а на заході – жолобом між береговою смугою і Одеською Банкою з глибинами до 20 м і більше.

Наведені приклади наочно підтверджують суттєвий вплив на ефективність вантажоперевезення

річковим та морським шляхами блокової подільності земної кори.

Мета статті

Поглиблення теоретичних знань у напрямку флюїдодинаміки і структуроутворення для автоматизації процесу визначення місця прокладання траси підхідного каналу.

Виклад основного матеріалу

Науково доведено, що в сучасному історичному періоді відбувається перебудова 5-ти існуючих тектонічних структур минулих геологічних епох на сучасну з азимутами просторової орієнтації 0° і 270° . А невідомість полягає у тому, чи актуальною є перспектива виникнення нової тектонічної структури з новою просторовою орієнтацією та у який часовий термін це може відбутися.

У роботі [18] детально розглянуто питання планетарної тріщинуватості поверхні Землі та вплив ротаційних процесів на її формування. Головним наслідком цих процесів вважають виникнення в земній оболонці планетарної тріщинуватості, що має субвертикальне падіння. До цієї категорії автори монографії відносять густу систему спочатку субвертикальних тріщин глибиною до 1 км, у просторовому орієнтуванні яких виявляється зв'язок із положенням осі обертання Землі.

У монографії [13] вперше висловлено припущення про те, що зміни положення осі обертання Землі не обов'язкові для утворення існуючих систем блокової ділимості літосфери з азимутами 0° і 270° ; 17° і 287° ; 35° і 305° ; 45° і 315° ; 62° і 332° ; 77° і 347° . Ще в класичній мобілістській гіпотезі А. Вегенера у якості рушійної сили дрейфу твердої оболонки нашої планети розглядалося осьове обертання Землі. Найточніша модель кінематики твердої оболонки нашої планети з урахуванням ротаційного фактору запропонована А.А. Смітом та Ч. Левісом [13]. Аналіз змін координат географічного полюса за останні 110 років показує, що вимушений рух відбувається по еліпсу (велика піввісь 3,4-2,7 м, мала піввісь 2,5-1,8 м, ексцентриситет 0,15-0,46 м, а довгота великої півосі $205-145^\circ$ сх. д.).

При обертанні Землі навколо осі неминуче відбувається відставання літосфери від мантиї, океану від літосфери, атмосфери від літосфери і океану. Тверда оболонка нашої планети ковзає астеносферою в західному напрямку із середньою швидкістю 5 см/рік.

У роботі [13] обґрунтовано тезу про те, що точка, в якій вісь обертання перетинає земну поверхню і переміщується із заходу на схід, може відображати зсув земної кори щодо нерухомої осі обертання Землі. Встановлено, що протягом всього періоду спостережень північний полюс зміщувався зі швидкістю близько 10 см/рік за складною траєкторією з переважним напрямком у бік Північної Америки (меридіан 290° сх. д.). Таким чином, гіпотеза К.Ф. Тяпкіна про те, що основна причина деформацій літосфери – зміна форми

Землі внаслідок епізодичного зміщення її осі обертання, нині набула ширше розуміння процесу структуризації.

У монографії [13] наведено результати дослідження наслідків раптової зміни траєкторії руху точки, в якій вісь обертання перетинає земну поверхню, що відбулася у листопаді 2005-лютому 2006 рр., та часові зміни швидкості обертання Землі навколо своєї осі в зазначений проміжок часу (рис. 2). У цей період зафіксовано раптове безпрецедентне короткочасне реверсивне пересування Північного географічного полюсу Землі відносно літосфери у напрямку Північної Америки приблизно на 120 см.

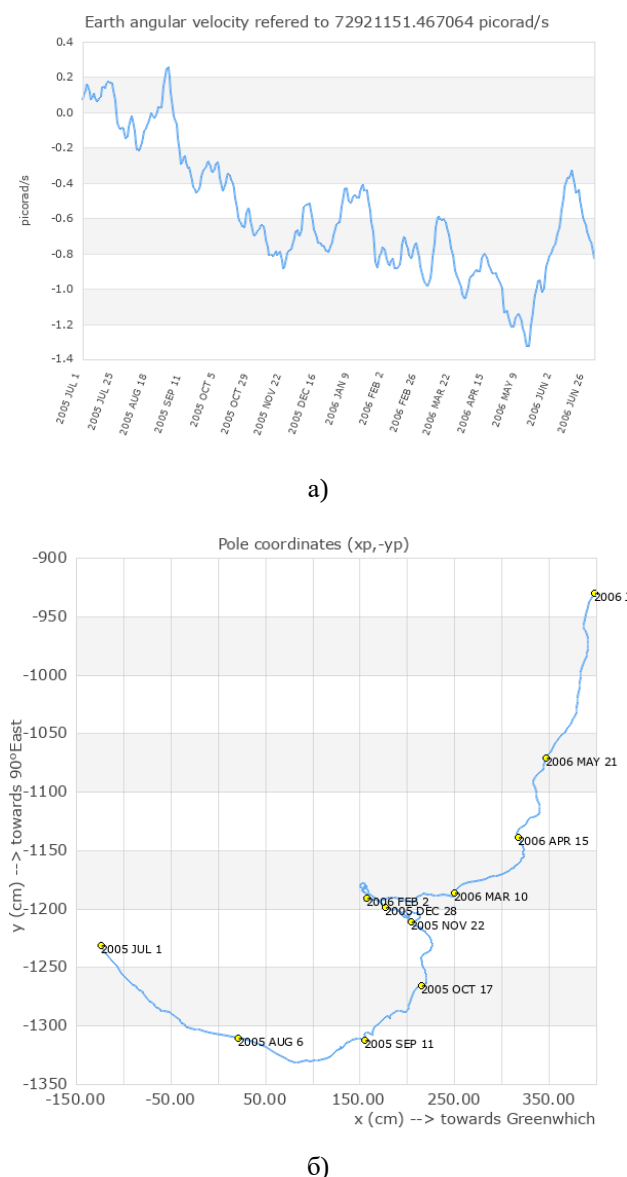


Рис. 2 – Часові зміни: а) траєкторії руху точки, в якій вісь обертання перетинає Земну поверхню; б) кутової швидкості обертання Землі навколо своєї осі у 2005-2006 рр. [13]

Звернемо увагу на те, що відхилення проекції географічного полюсу на земну поверхню відбувалося приблизно в 4 рази повільніше у порівнянні з зворотнім рухом.

Вважається, що ротаційні ефекти (зміна нахилу осі обертання Землі) тотожні змінам форми Землі і повинні бути проявлені зміною швидкості обертання Землі. На рис. 2а наведено графік часових змін аномалій швидкості обертання Землі з липня 2005 до липня 2006 р. Згідно наведеному графіку, у термін з листопада 2005 до березня 2006 суттєвих змін швидкості обертання Землі не було зафіксовано. Тобто процес, що відбувся у термін з листопада 2005 до березня 2006 р. і проілюстрований на рис. 2б, відбувався в умовах стабільної швидкості обертання Землі. Згадаємо що за умов від'ємної аномалії швидкості обертання, наша планета знаходиться у формі, більш близької до еліпсоїду обертання, ніж до сфероїду. За таких умов розломи у твердій оболонці Землі стають ширшими. У роботі [13] було визначено, що процес відносного зсуву географічного полюсу відносно рухомої твердого оболонки Землі супроводжувався:

розростанням рифту у Каліфорнійській затоці 31.08.2005-02.09.2005 р. (за умов максимуму швидкості обертання Землі зсув літосфери по астеносфері раптово припинився);

зсувом Північної півкулі відносно Південної вздовж трансформного розлому екваторіальної зони (09.09.2005 - 02.10.2005)

асейсмічним розростанням Східно-Африканського рифту на ширину 8 м на довжині 60 км Східно-Африканського рифту (вересень 2005 р.);

розростання Тихоокеанського, Атлантичного, Індоканського рифтів (осінь 2005 - весна 2006 р.);

безпрецедентне зростання амплітуди руйнівних асейсмічних геодеформацій (збільшення у 5 разів кількості руйнувань інженерних споруд);

реверсивним вертикальним рухом морського дна Північного моря 24-26 листопада 2005 р., що супроводжувалося регіональними змінами форми геоїду (траєкторія зсуву літосфери на астеносфері повернулася по колу).

Також відбулися раптові зміни і у гідросфері. Так у жовтні 2005 р. найпотужніша річка у світі, що тече вздовж екватору, маєть на увазі Амазонка, практично обміліла, а у лютому 2006 р. на ній відбулася найпотужніша повінь.

Виконаємо аналіз подій, що відбулися. Відповідно до гіпотези К.Ф. Тяпкіна, у сучасну геодинамічну епоху перебудова блокової структури твердого оболонки Землі відбувається вздовж розломів, що зорієнтовані за широтою та довготою.

• Русло річки Амазонка зорієнтовано вздовж екватору (азимут 270°), тобто тектонічні процеси, з якими пов'язана посуха у жовтні 2005 р. і повінь у лютому 2006 р., відбулися вздовж розломів з відповідним азимутом просторової орієнтації.

- Зсуви північної півкулі відносно південної відбувалися вздовж екваторіальних трансформних розломів (азимут 270°).

- Розростання рифту у Каліфорнійській затоці та Східно-Африканського рифту відбулося у напрямку південь-північ, тобто вздовж розломів з азимутом протягання 0° .

Таким чином, виконаний аналіз дає підстави для підтвердження тези стосовно того, що структуроутворення нашої планети відбувається і за умов раптових

зсувів твердої оболонки Землі навколо осі обертання, яка може залишатися нерухомою. Тобто, фрактальна зміна орієнтації блокової подільності може генеруватися під час раптового зсуву твердої оболонки нашої планети. Сили, що формують нову структуру твердої оболонки, представлені припливоутворюючими силами (рис. 3), що безперервно деформують нашу планету у напрямку широт (секторіальні (півдобові) та тесеральні (добові) припливи) та довгот (зональні двотижневі та піврічні припливи).

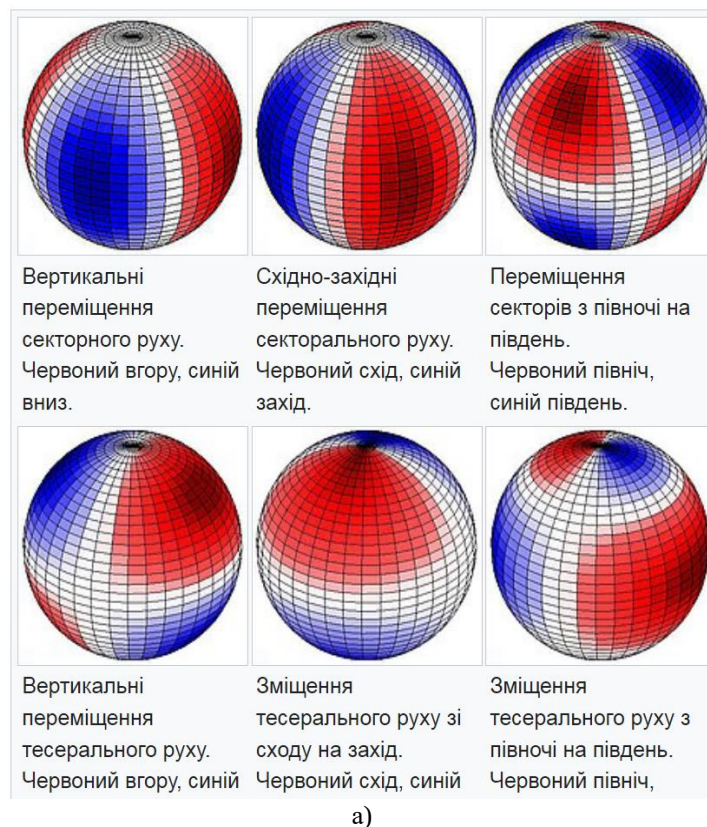


Рис. 3 – Схематичне зображення припливів у тілі Землі: а) секторіальні та тесеральні, б) зональні припливи [19]

Геодинамічні події, що відбулися у 2005-2006 роках, свідчать про актуальність проблеми перебудови структури нашої планети у сучасний історичний період в наслідок вірогідного зсуву твердої оболонки відповідно схемі, що зображена на рис. 2а.

Отримані результати

Нами було запатентовано спосіб [8], у якому науково обґрунтовано алгоритм оптимізації траси судноплавних каналів з урахуванням блокової подільності земної кори, що проявлена флюїдодинамічними структурами. Для автоматичного виявлення лінійних структур на топографічних картах, супутникових знімках, інших картографічних матеріалах використовуються методи розпізнавання образів (комп'ютерного аналізу лінеаментів) – LESSA, Rockworks, ERDAS IMAGINE, ENVI та інші. Так, у роботі [20] пропонується застосовувати лінеаментний аналіз багатоспектральних та гіперспектральних супутникових зображень для виявлення флюїдодинамічних структур шляхом фіксації прямолінійних зон «вертикального руху пластів флюїдів».

Спрощена схема алгоритму полягає у тому, що для кожної суміжної пари пікселів зображення обраховується певна статистична оцінка і приймається рішення – чи визнається зазначений відрізок зображення лінеаментом. Приклад результату покрокової реалізації алгоритму лінеаментного аналізу показано на рис. 4.

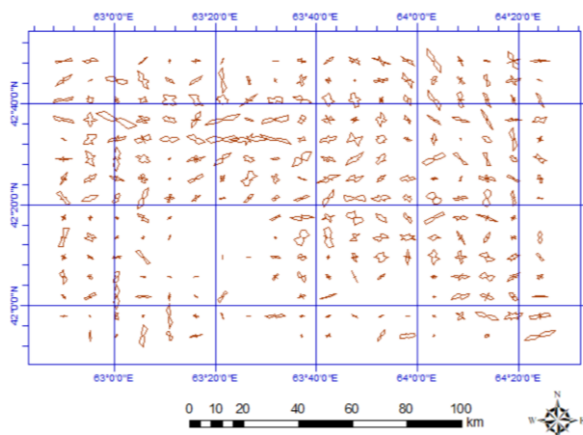


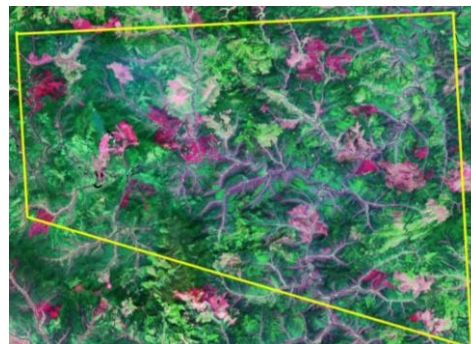
Рис. 4 – Схематичне зображення лінеаментного аналізу на етапі попередньої обробки даних [20]

За результатами попередньої обробки вхідних даних визначені лінеаменти об'єднуються у прямолінійні відрізки.

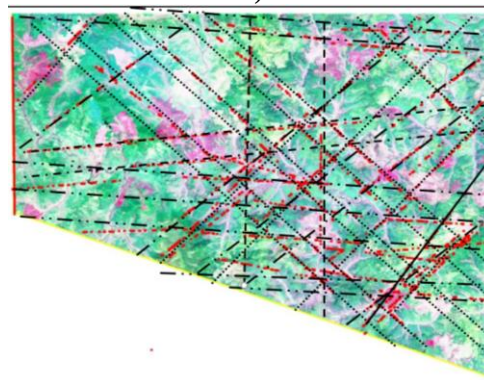
На рис. 5 показано приклад практичної реалізації ПЗ LESSA для виявлення лінеаментів в рельєфі суходолу.

За вхідними даними супутникового зображення (рис. 5а) будується карто-схема з виявленими прямолінійними відрізками 5б. Враховуючи базові принципи гіпотези К.Ф. Тяпкіна нами виконано об'єднання фрагментів одного азимуту в систему. Визначено 5 з шести

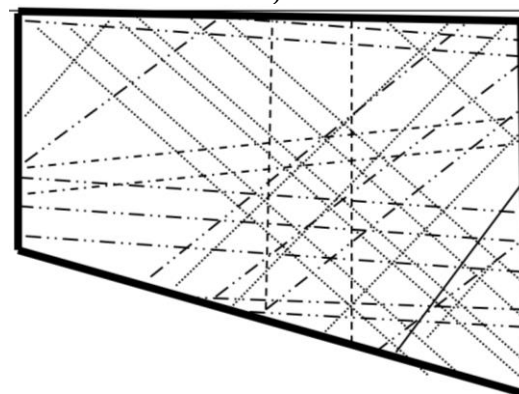
існуючих азимутів блокової подільності (рис. 5в). Далі, система блокової подільності обраної ділянки суходолу виділяється окремо, як базова схема для побудови загальної схеми за 6-ма відомими напрямками блокової подільності.



а)



б)



в)

Рис. 5 – Карти-схеми: а) супутниковий знімок ділянки суходолу; б) лінеаментів (червоний колір), що були закартографовані шляхом застосування ПЗ LESSA; в) скорегованих нами лінеаментів за критерієм азимуту простягання

Результати лінеаментного аналізу, наведені на рис. 5а, нами були доопрацьовані відповідно до базових положень ротаційної теорії К.Ф. Тяпкіна, яка передбачає безперервність у просторі блокової подільності твердої оболонки Землі. Як результат, ми отримали 4 типи мереж з різними азимутами блокової подільності. Зазначений результат не відповідає вимогам до

схем блокової подільності, якими оперують послідовники К.Ф. Тяпкіна. Тобто, доопрацьована нами (рис. 5в) схема комп'ютерного розпізнання образів не є бездоганною, тобто алгоритм ПЗ лінеamentного аналізу не передбачає визначення фрагменти всіх шести існуючих геодинамічних структур твердої оболонки нашої планети.

Алгоритм лінеamentного аналізу структуроутворення за гіпотезою К.Ф. Тяпкіна

Крок 1. У картографічній програмі Google Earth обирається ділянка земної поверхні з таким розміром (масштабом), щоб кривизна широт і довгот на її кордонах не досягала похибки 2.5° у порівнянні з її середньою частиною.

Крок 2. З використанням спеціального програмного забезпечення з лінеamentного аналізу в автоматичному режимі, тобто об'єктивно, виявляється базова лінія для кожного азимуту блокової подільності, як це показано на рис. 5.

Крок 3. Для кожного з напрямків окремо за даними лінеamentного аналізу виявляється фрагмент блокової подільності з базовим просторовим масштабом $145 \times 145 \text{ км} \pm 5 \text{ км}$.

Крок 4. Для кожного з напрямків окремо, до виявленого фрагменту блокової подільності з базовим просторовим масштабом $145 \times 145 \text{ км} \pm 5 \text{ км}$ добудовуються блоки аналогічного розміру. Таким чином отримуються 6 мереж базового просторового масштабу.

Крок 5. Для кожної з 6-ти мереж базового просторового масштабу за ознакою висот визначаються підняті та занурені блоки.

Крок 6. Для кожної з 6-ти мереж базового просторового масштабу за ознакою висот визначаються нахили блоків.

Крок 7. Кожна з 6-ти мереж базового просторового масштабу $145 \times 145 \text{ км} \pm 5 \text{ км}$ ієрархічно ділиться на блоки: $70 \times 70 \pm 2,5 \text{ км}$; $35 \times 35 \pm 1,25 \text{ км}$; $17,5 \times 17,5 \pm 0,62 \text{ км}$; $8,75 \times 8,75 \pm 0,32 \text{ км}$; $4,37 \times 4,37 \pm 0,176 \text{ км}$; $2,18 \times 2,18 \pm 0,09 \text{ км}$.

Як приклад районування земної поверхні, включаючи акваторію, пропонуємо розглянути схему блокової подільності південно-східної частини Туреччини, яка охоплює затоку Юмурталик на північному-сході Середземного моря (рис. 6).

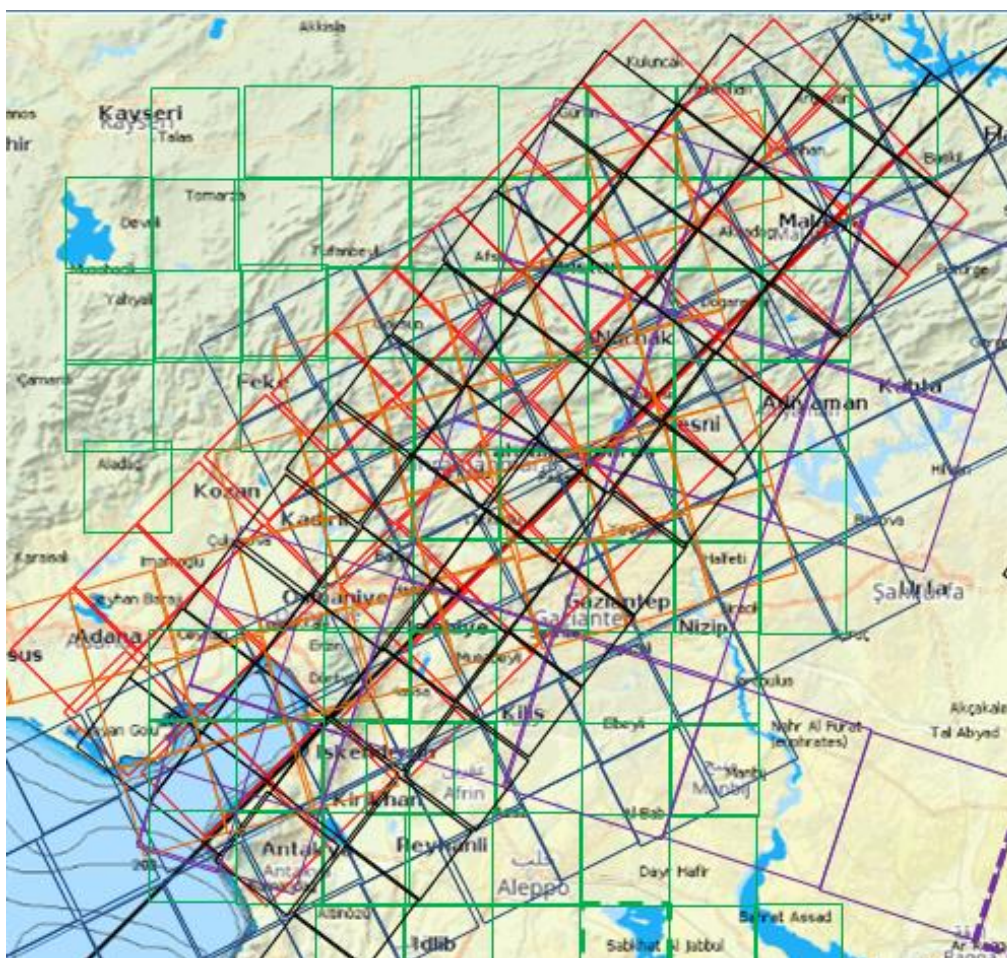


Рис. 6 – Схема блокової подільності південно-східної частини Туреччини з масштабом $35 \times 35 \text{ км}$: 0° і 270° (зелений); 17° і 287° (фіолетовий); 35° і 305° (чорний); 45° і 315° (червоний), 62° і 332° (синій); 77° і 347° (коричневий)

На зазначений схемі показані усі шість орієнтацій блокової подільності, які емпіричним шляхом були виявлені К.Ф. Тяпкіним. Найбільша площа, що охоплена районуванням, відповідає сучасній системі, що зорієнтована за азимутами 0° і 270° та виділена зеленим кольором.

Алгоритм картографування блокової подільності твердої оболонки Землі у спрощеному варіанті спробуємо реалізувати для акваторії Дністровського лиману з метою навігаційного забезпечення водного шляху міжнародного значення Дубосари - Білгород-Дністровський. Спрощеність завдання обумовлена тим, що рельєф суходолу в районі Дністровського лиману безальтернативно наслідуює блокову подільність з азимутом 35° і 305° , тобто як і русло річки Дніпро.

У 1997 році Молдова ратифікувала Європейську угоду про внутрішні водні шляхи міжнародного значення. У цьому документі річка Прут (від Унген до естуарію – впадання в Чорне море) та річка Дністер (від Бендер до українського Білгород-Дністровська) визнані водними шляхами міжнародного значення, які мають бути відкриті для судноплавства. У Міністерстві інфраструктури України у 2018 р. було запропоновано ухвалити рішення про відкриття пункту пропуску на річці Дністер на кордоні між Україною та Молдовою в районі населеного пункту Паланка. Визначено пункти, які доцільно з'єднати Дністровським лиманом в рамках задекларованого міжнародного транспортного шляху Прутом та Дністром. Крім цього, актуальна оптимізація логістики портів Південний, Одеса,

Чорноморськ через канал Овідіополь – Білгород-Дністровський. Слід зазначити, що від Цареградського гирла лиману до Білгород-Дністровська прокладений судноплавний канал, що з'єднує лиман з Чорним морем.

Напрямки з'єднання лиманом: Паланка – Білгород-Дністровський; Овідіополь – Білгород-Дністровський; Маяки – Білгород-Дністровський (оперативний рівень). Стратегічні напрямки – це з'єднання судноплавними каналами Паланки та Овідіополя з Білгород-Дністровським. До напрямків тактичного рівня слід віднести з'єднання судноплавними каналами Маяк з Білгород-Дністровським.

У монографії [18] наведено тектонічну схему блокової будови північно-західного Причорномор'я, як основи моделювання можливих подальших змін берегової зони Чорного моря від дельти Дунаю до Одеської затоки. У цій монографії вперше запропоновано та застосовано принципи геоморфологічного районування територій з урахуванням блокової будови земної кори за К.Ф. Тяпкіним. Вирішення поставленої задачі потребує обрання лише двох базових ліній. Це стара мережа 35° і 305° і сучасна мережа 0° і 270° .

За базову лінію старої мережі прийнято просторове положення пересипу коса Бугаз, а сучасної мережі – східний кордон узбережжя Кілійської дельти, сформований у 1700 році.

На рис. 7 наведена схема блокової подільності твердої оболонки Землі в акваторії Дністровського лиману за старим (35° і 305°) і сучасним (перспективним, 0° і 270°) азимутами блокової подільності.

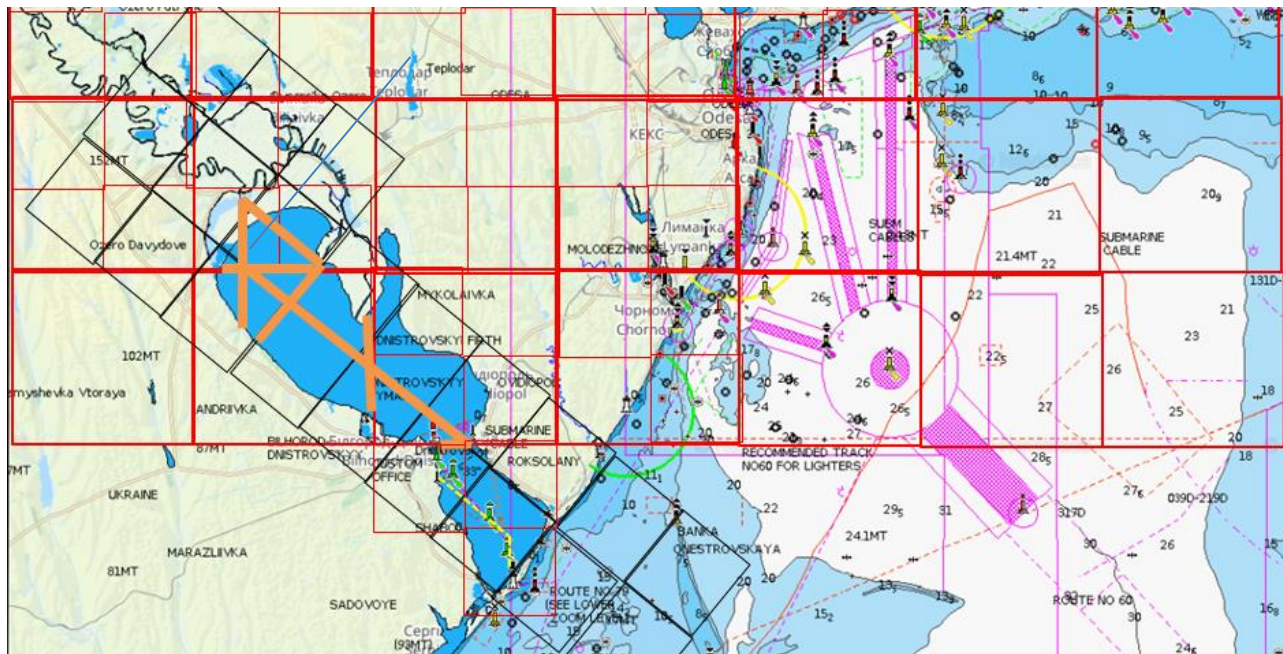


Рис. 7 – Мережі флюїдодинамічних структур з масштабом 8,5х8,5 км та 17х17 км та азимутами 35° і 305° (чорний колір) і 0° і 270° (червоний колір); структури, які доцільно використати для оптимізації судноплавних шляхів, представлені помаранчевим кольором

Побудова судноплавних каналів повинна враховувати ранг флюїдодинамічних структур, бо структури більшого рангу мають більшу ширину та більший дебіт підземного живлення, що запобігає замулюванню каналу під час експлуатації. Оптимальним рішенням визнано варіант, наведений на рис. 8.

Головним елементом лінеamentного аналізу може вважатися динамічна дельта Дністра, що формує два рукави, один з яких має напрямок 35° , а інший 0° . Важливо відмітити, що схема оптимізації судноплавних каналів лише у одному випадку передбачає найкоротший прямолінійний шлях – це судноплавний канал Овідіополь – Білгород-Дністровський. Канал у напрямку на Паланку передбачає днопоглиблювальні роботи вздовж флюїдодинамічної структури найвищого рангу, бо вона у напрямку на південний-схід формує берегову смугу.

На нашу думку, доцільним є реаналіз наукової обґрунтованості траєкторії існуючого судноплавного каналу Білгород-Дністровський – Цареградське гирло, показаного на рис. 7 жовтим кольором. В результаті виконаного аналізу було встановлено, що він не є прямолінійним, а складається з двох прямолінійних ділянок. Найдовша прямолінійна ділянка каналу (8,5 км) прокладена у напрямку з азимутом приблизно 305° , інша ділянка вдвічі коротша і прокладена у напрямку з азимутом приблизно 347° . Місце зміни кута ділянки судноплавного каналу, прокладеного у напрямку з

азимутом 305° на напрямок 347° обрано таким чином, нібито автори проекту зазначеного судноплавного каналу були обізнані з новою гіпотезою структуроутворення К.Ф. Тяпкіна, оприлюдненою лише у 1998 році. На рис. 9 наведено результати застосування алгоритму врахування гіпотези структуроутворення К.Ф. Тяпкіна для оптимізації проектування днопоглиблювання, з урахуванням фактору замулювання, для структур з азимутом 77° і 347° та просторовим масштабом 17×17 км та $8,5 \times 8,5$ км в районі судноплавного каналу Білгород-Дністровський.

Відповідно до наведеної схеми, ділянка судноплавного каналу Білгород-Дністровський – Цареградське гирло, побудована відповідно азимуту 347° , у повній мірі відповідає новій гіпотезі структуроутворення К.Ф. Тяпкіна.

На схемі (рис. 10б) показано, що на виході з Цареградського гирла у море існує жолоб природного походження, що відповідає сучасній схемі блокової подільності твердої оболонки Землі з азимутом 0° і 270° [7]. В гирловій частині Дністровського лиману ця система чітко проявлена у рельєфі дна, що свідчить про активність флюїдодинамічних процесів вздовж системи 0° і 270° . Враховуючи те, що система 0° і 270° є сучаснішою, нами на рис. 10б пунктирними лініями показані перспективні напрямки майбутньої перебудови судноплавного каналу, що відповідають схемі, що наведена на рис. 7.

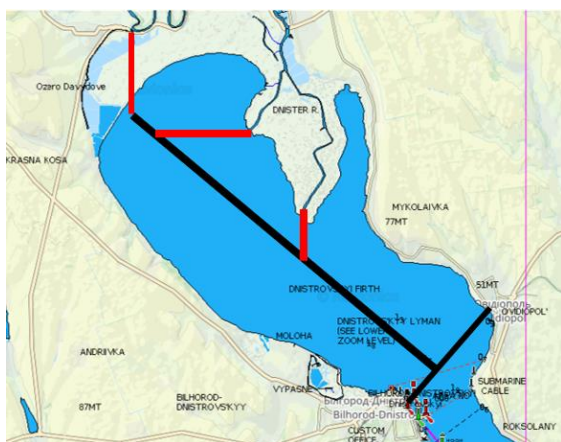


Рис. 8 – Схема з'єднання Дністровським лиманом (в рамках міжнародного транспортного шляху Прут – Дністер) річки Дністер з Чорним морем, з урахуванням флюїдодинамічних структур: азимути 35° і 305° (чорний колір) і 0° і 270° (червоний колір)

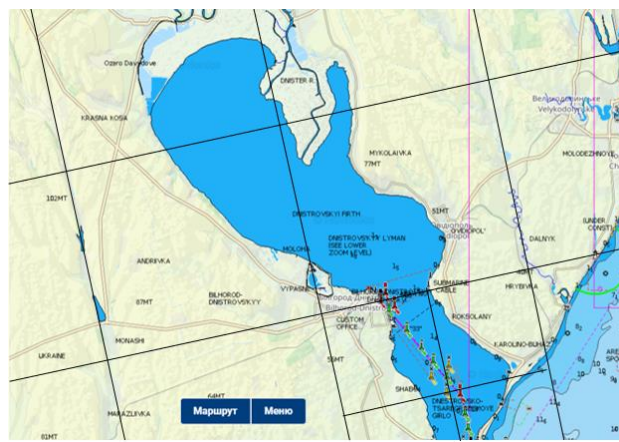


Рис. 9 – Схематичне зображення флюїдодинамічних структур з азимутом 77° і 347° та просторовим масштабом 17×17 км та $8,5 \times 8,5$ км в районі судноплавного каналу Білгород-Дністровський – Цареградське гирло

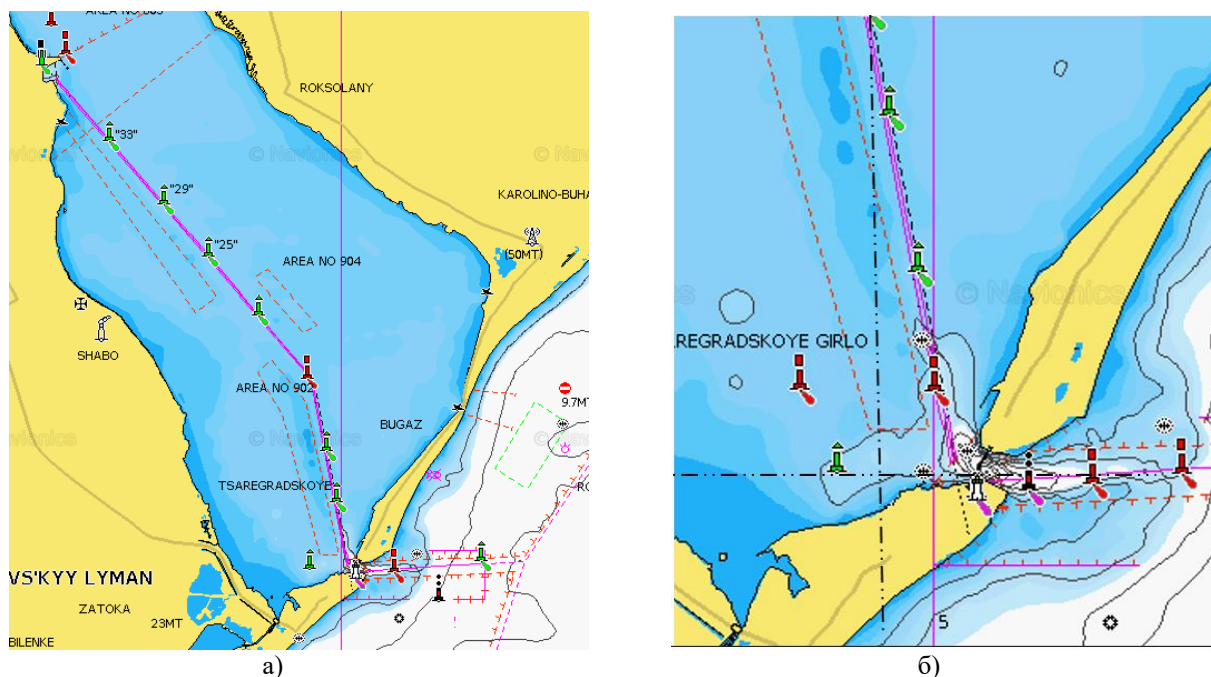


Рис. 10 – Схеми: а) судноплавного каналу Білгород-Дністровський – Цареградське гирло; б) південної ділянки зазначеного каналу

Висновки

Розглянута проблема обрання оптимальних трас судноплавних каналів в районах алювіальних площин суходолу та районах акваторій з акумулятивним рельєфом морського дна. Критерієм обрання трас судноплавних каналів є мінімізація витрат на днопоглиблювальні роботи в процесі побудови каналу, що зазвичай досягається мінімізацією довжини каналу. Критерій замулювання зазвичай враховується у другу чергу, бо на сучасному науково-технічному рівні визначення замулювання майбутнього каналу не є досконалими. Проаналізовано результати впровадження на практиці нових знань в галузях флюїдодинаміки, структуроутворення літосфери з метою оптимізації проектування днопоглиблювання на Дунаї та Дніпрі вже з урахуванням фактору замулювання. За рахунок цього, штучне втручання у природні процеси шляхом днопоглиблювання почало обирати риси ергономічності.

З урахуванням фактору замулювання представлені результати оптимізації проектування днопоглиблювання в районах портів північно-західної частини Чорного моря.

У якості проблемного питання, розглянуто невідомість сучасного стану блокової подільності твердої оболонки Землі, яке полягає у тому, чи актуальною є перспектива виникнення нової тектонічної структури з новою просторовою орієнтацією та у який часовий термін це може відбутися. В рамках зазначеного питання представлені результати дослідження геодинамічної епохи 2002-2005 рр., визначеної в роботі [13] як такої, що в результаті рухів твердої оболонки Землі по астеносфері наслідки набули катастрофічного

характеру. У якості результату запропоновано шляхи розв'язання проблемних питань щодо ротаційної гіпотези структуроутворення.

Проаналізовано сучасні можливості програмного забезпечення з розпізнавання образів для автоматизації процесу обрання оптимальної (за критерієм мінімізації замулювання) траси судноплавного каналу. Запропоновано алгоритм врахування гіпотези структуроутворення К.Ф. Тяпкіна для оптимізації проектування днопоглиблювання в районах акваторій і на суходолі, але вже з урахуванням фактору замулювання. Апробація запропонованого алгоритму виконана на прикладі вирішення задачі з практичної реалізації Європейської угоди про внутрішні водні шляхи міжнародного значення (забезпечення навігації від Унген на річці Прут до Чорного моря) на ділянці від Бендер (річка Дністер) до Білгород-Дністровська.

Перелік використаних джерел

- [1] Нова парадигма акумулятивного рельєфоутворення у мілководних районах океанів та морів: монографія / Гладких І.І., Капочкіна М.Б., Кучеренко Н.В., Капочкін Б.Б. Одеса: НУ «ОМА», 2021. 199 с.
- [2] Перспективи розвитку оперативної океанографії в Україні: монографія / І.І. Гладких та ін. Одеса: Астропринт, 2017. 115 с.
- [3] Kapochkin B., Kucherenko N., Kapochkina M. Regularities in the transformation of coastal and accumulative forms of sea bottom relief, with application for water management. *Meteorology Hydrology and*

- Water Management*. 2014. Vol. 2(2). Pp. 43-48. DOI: <https://doi.org/10.26491/mhwm/36422>.
- [4] Floods and droughts as a result of deformability of the geological environment / Kapochkin A., Kapochkin B., Kucherenko N., Uchytel I. *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2015. Vol. 3(2). Pp. 3-7. DOI: <https://doi.org/10.26491/mhwm/58810>.
- [5] Михайлов В.И., Капочкина А.Б., Капочкин Б.Б. Взаимодействие в системе «Литосфера – гидросфера»: монография. Одесса: Астропринт, 2010. 154 с.
- [6] Науменко А.В., Капочкіна М.Б. Теорія і практика оптимізації проектування морських днопоглиблювальних робіт. *Водний транспорт*. 2025. Вип. 1 (42). С. 210-226. DOI: doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.24.
- [7] Науменко А.В., Капочкіна М.Б. Теорія і практика оптимізації проектування днопоглиблювальних робіт у руслах річок. *Водний транспорт*. 2025. Вип. 2 (43). С. 31-47. DOI: <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2025.2.43.03>.
- [8] Спосіб визначення місця прокладання траси підхідного каналу: пат. 158155 Україна: МПК E02B5/04. № u202303072; заявл. 23.06.23; опубл. 08.01.25, Бюл. № 2. 2 с.
- [9] Перерва В.М., Лялько В.И., Шпак П.Ф. Новые данные о разломно-блоковой структуре северо-западного шельфа Чорного моря по данным аэрокосмических исследований (в связи с нефтегазоносностью). *Геологический Журнал*. 1994. № 4. С. 78-84.
- [10] Перерва В.М., Лялько В.И. Об эндогенной составляющей в температурной дифференциации поверхности Чорного моря. *Геологический журнал*. 1996. № 3/4. С. 123-128.
- [11] Учитель И.Л., Капочкин Б.Б. Смена парадигм современной геодинамики и сейсмотектоники: монография. Lap LAMBERT Academic Publishing, 2014. 74 с.
- [12] Геодинамика. Основы динамической геодезии: монография / Учитель И.Л., Дорофеев В.С., Ярошенко В.Н., Капочкин Б.Б. Одесса: Астропринт, 2008. 311 с.
- [13] Геодинамика. Основы кинематической геодезии: монография / Войтенко С.П., Учитель И.Л., Ярошенко В.Н., Капочкин Б.Б. Одесса: Астропринт, 2008. 264 с.
- [14] Современные изменения уровня Чорного моря как основа стратегии строительного освоения побережий: монография / В.И. Михайлов и др. Одесса: Астропринт, 2010. 165 с.
- [15] Тяпкин К.Ф. Блоки земной коры с позиций новой гипотезы структурообразования. *Геологический журнал*. 1993. № 4. С. 10-20.
- [16] Довбнич М.М., Тяпкин К.Ф. Новая ротационная гипотеза структурообразования и ее роль в развитии наук о Земле: учебник. Донецк: Издание, 2009. 339 с.
- [17] Prucha J.J. Moody and Hill System of Wrench Fault Tectonics: discussion. *AAPG Bulletin*. 1964. Vol. 48(1). Pp. 106-111. DOI: <https://doi.org/10.1306/BC743BCF-16BE-11D7-8645000102C1865D>.
- [18] Старостенко В.И., Гинтов О.Б. Очерки геодинамики Украины: монография; под ред. акад. НАН Украины. Київ, 2018. 465 с.
- [19] Earth tide. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Earth_tide (дата звернення 20.04.2025).
- [20] Асадов А.Р. Автоматизированный линеаментный анализ радарных снимков с применением программы LESSA (на примере Букантаусских гор). *So'ngi ilmiy tadqiqotlar nazariyasi*. 2023. Том 6, вип. 12. С. 239-245.

METHODOLOGICAL BASIS FOR THE OPTIMIZATION OF THE DESIGN OF BOTTOM DEEPENING IN AQUATORIAL AND DRYLAND REGIONS

- | | |
|----------------------|--|
| Naumenko A. | postgraduate student, Odessa National Maritime University, Odessa, ORCID: https://orcid.org/0009-0000-8025-2790 , e-mail: captainnaumenko@gmail.com ; |
| Kapochkina M. | PhD (Engineering), associate professor, Odessa National Maritime University, Odessa, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4893-2523 , e-mail: kapochkinamargarita@gmail.com |

The problem of choosing the optimal routes of navigable channels in areas of alluvial plains of land and areas of water areas with the accumulative relief of the seabed. The criterion for the selection of routes of navigable channels is to minimize the cost of dredging work at the canal construction stage. This is usually achieved by minimizing distance. The criterion for sketching the channel during operation is usually taken into account in the second place, because at the modern scientific and technical level the criteria for determining the sketching of the channels are not perfect. With the acquisition of new knowledge in the fields of fluid dynamics, the structure of the lithosphere was created a scientific basis for optimization, already taking into account the factor of slicing, projection of the route of the navigable canal. Thus, artificial intervention in natural processes through dredging, began to choose the features of ergonomics. An algorithm for lineament analysis of the structure formation of the earth's surface is proposed according to the hypothesis of K.F.

Tyapkin is proposed. As an example of implementing the algorithm for zoning the Earth's surface, including land and water area, a block division scheme for the southeastern part of Turkey is proposed. The algorithm for mapping the block division of the Earth's solid shell in a simplified version is implemented for the water area of the Dniester estuary, as a promising international waterway Dubosary – Bilhorod-Dniestrovskiy. The modern capabilities of pattern recognition software for automating the process of selecting the optimal route of a shipping channel based on the silting minimization criterion have been analyzed. The rotational hypothesis of structure formation has been improved. Using the example of the planetary activation of the structure formation process during the geodynamic epoch of 2005-2006, it is shown that a change in the azimuth of the action of destructive tidal geodeformations of the Earth's surface can occur under stable rotational conditions and without sudden changes in the inclination of the Earth's axis of rotation.

Keywords: navigation, maritime navigation, logistics, navigation channels, dredging work, siltation of navigable channels, fluidodinamica, structure of the lithosphere.

References

- [1] I.I. Hladkykh, M.B. Kapochkina, N.V. Kucherenko, and B.B. Kapochkin, *Nova paradyhma akumulatyvnoho reliefoutvorennia u milkovodnykh raionakh okeaniv ta moriv: monohrafiia* [A new paradigm of accumulative relief formation in shallow areas of oceans and seas: monograph]. Odesa, Ukraine: NU «OMA» Publ., 2021. (Ukr.)
- [2] I.I. Hladkykh, S.V. Symonenko, V.I. Mykhailov, N.V. Kucherenko, M.B. Kapochkina, *Perspektyvy rozvytku operatyvnoi okeanohrafii v Ukraini: monohrafiia* [Prospects for the development of operational oceanography in Ukraine: monograph]. Odesa, Ukraine: Astroprynt Publ., 2017. (Ukr.)
- [3] B. Kapochkin, N. Kucherenko, and M. Kapochkina, «Regularities in the transformation of coastal and accumulative forms of sea bottom relief, with application for water management», *Meteorology Hydrology and Water Management*, vol. 2(2), pp. 43-48, 2014. doi: 10.26491/mhwm/36422.
- [4] A. Kapochkin, B. Kapochkin, N. Kucherenko, and I. Uchytel, «Floods and droughts as a result of deformability of the geological environment», *Meteorology Hydrology and Water Management*, vol. 3(2), pp. 3-7, 2015. doi: 10.26491/mhwm/58810.
- [5] V.Y. Mykhailov, A.B. Kapochkina, and B.B. Kapochkin, *Vzaymodeistvie v systeme «Litosfera – hydrosfera»: monohrafiia* [Interaction in the system «Lithosphere – hydrosphere»: monograph]. Odesa, Ukraine: Astroprynt Publ., 2010. (Rus.)
- [6] A.V. Naumenko, and M.B. Kapochkina, «Teoriia i praktyka optymizatsii proektuvannia morskykh dnohybliuvalnykh robot» [«Theory and practice of optimization of the design of marine works on dredging the bottom»], *Vodnyi transport – Water transport*, vol. 1 (42), pp. 210-226, 2025. doi: 10.33298/2226-8553.2025.1.42.24. (Ukr.)
- [7] A.V. Naumenko, and M.B. Kapochkina, «Teoriia i praktyka optymizatsii proektuvannia dnohybliuvalnykh robot u ruslakh richok» [«Theory and practice of optimization of design of dredging robots in the channels of the river»], *Vodnyi transport – Water transport*, vol. 2 (43), pp. 31-47, 2025. doi: 10.33298/2226-8553.2025.2.43.03. (Ukr.)
- [8] A.V. Naumenko, Ye.V. Kalinichenko, and M.B. Kapochkina, «Sposib vyznachennia mistia prokladannia trasy pidkhidnoho kanalu» [«Method for determining the location of the approach channel route»], *UA Patent 158155*, Jan. 08, 2025. (Ukr.)
- [9] V.M. Pererva, V.Y. Lialko, and P.F. Shpak, «Novie dannie o razlomno-blokovoi strukture severo-zapadnoho shelfa Chornoho moria po dannim aerokosmicheskikh yssledovaniy (v svyazy s neftehozoznositel'nykh)» [«New data on the fault-block structure of the northwestern shelf of the Black Sea based on aerospace research (in connection with oil and gas potential)»], *Geologicheskii Zhurnal – Geological Journal*, № 4, pp. 78-84, 1994. (Rus.)
- [10] Pererva V.M., and V.Y. Lialko, «Ob endogennoi sostavliaiushchei v temperaturnoi differentsiatsii poverkhnosti Chernoho moria» [«On the endogenous component in the temperature differentiation of the Black Sea surface»], *Geologicheskii Zhurnal – Geological Journal*, № 3/4, pp. 123-128, 1996.
- [11] Y.L. Uchytel, and B.B. Kapochkin, *Smena paradyhmi sovremennoi geodynamiki y seismotektoniki: monohrafiia* [Paradigm shift in modern geodynamics and seismotectonics: monograph]. Lap LAMBERT Academic Publishing, 2014. (Rus.)
- [12] Y.L. Uchytel, V.S. Dorofeev, V.N. Yaroshenko, and B.B. Kapochkin, *Geodynamika. Osnovi dynamicheskoi geodezii: monohrafiia* [Geodynamics. Fundamentals of dynamic geodesy: monograph]. Odesa, Ukraine: Astroprynt Publ., 2008. (Rus.)
- [13] S.P. Voitenko, Y.L. Uchytel, V.N. Yaroshenko, B.B. Kapochkin, *Geodynamika. Osnovi kinematicheskoi geodezii: monohrafiia* [Geodynamics. Fundamentals of kinematic geodesy: monograph]. Odesa, Ukraine: Astroprynt Publ., 2008. (Rus.)
- [14] V.Y. Mykhailov, V.S. Dorofeev, V.N. Yaroshenko, B.B. Kapochkin, and N.V. Kucherenko, *Sovremennye izmeneniya urovnia Chernoho moria kak osnova strategii stroitel'nogo osvoeniya pribrezh'ia: monohrafiia* [Modern Changes in the Black Sea Level as a Basis for the Strategy of Coastal Construction Development: Monograph]. Odesa, Ukraine: Astroprynt Publ., 2010. (Rus.)
- [15] K.F. Tiapkyn, «Bloky zemnoi kori s pozitsiyi novoi hipotezi strukturoobrazovaniya» [«Blocks of the Earth's Crust from the Position of the New Hypothesis

- of Structure Formation»], *Geologicheskii zhurnal – Geological journal*, № 4, pp. 10-20, 1993. (Rus.)
- [16] M.M. Dovbnych, and K.F. Tiapkyn, *Novaia rotatsionnaia hypoteza strukturoobrazovaniia y ee rol v razvytyi nauk o Zemle: uchebnyk* [New rotational hypothesis of structure formation and its role in the development of Earth sciences: textbook]. Donetsk, Ukraine: Yzdanye Publ., 2009. (Rus.)
- [17] J.J. Prucha, «Moody and Hill System of Wrench Fault Tectonics: discussion», *AAPG Bulletin*, vol. 48(1), pp. 106-111, 1964. doi: **10.1306/BC743BCF-16BE-11D7-8645000102C1865D**.
- [18] V.Y. Starostenko, and O.B. Hyntov, *Ocherky heodynamiyky Ukraini: monohrafiya* [Essays on Geodynamics of Ukraine: Monograph]. Kyiv, Ukraine, 2018. (Rus.)
- [19] Earth tide. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Earth_tide. Accessed on: 20.04.2025.
- [20] A.R. Asadov, «Avtomatyzyrovannii lyneamentnii analiz radarnikh snymkov s prymerenyem prohrammi LESSA (na prymere Bukantavskikh gor)» [«Automated lineament analysis of radar images using the LESSA program (using the Bukantav Mountains as an example)»], *So'ngi ilmiy tadqiqotlar nazariyasi – Recent scientific research theory*, vol. 6, iss. 12, pp. 239-245, 2023. (Rus.)
- Стаття надійшла 05.05.2025
Стаття прийнята 08.06.2025
Стаття опублікована 30.06.2025

Цитуйте цю статтю як: Науменко А.В., Капочкіна М.Б. Методичне підґрунтя оптимізації проєктування днопоглиблення в районах акваторій і суходолу. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Вип. 50. С. 264-276. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.50.2025.336447>.