Для заказа доставки данной работы воспользуйтесь поиском на сайте по ссылке: <http://www.mydisser.com/search.html>

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ГЕОГРАФІЇ НАН УКРАЇНИ

#### Блінкова Ольга Андріївна

УДК 551.432:835

ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЛЬЄФУ МОРСЬКОГО ДНА (НА ПРИКЛАДІ ЗАХІДНО-КАВКАЗЬКОГО РАЙОНУ ЧОРНОГО МОРЯ)

11.00.04-геоморфологія та палеогеографія

#### Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата географічних наук

#### Київ 2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі географічного моніторингу і охорони природи Харківського національного університету імені Василя Назаровича Каразіна Міністерства освіти і науки України.

|  |  |
| --- | --- |
| Науковий керівник | Доктор технічних наук,професор  **Черваньов Ігор Григорович,**  Харківський національний університет імені Василя Назаровича Каразіна,завідувач кафедри |
| Офіційні опоненти | Доктор географічних наук,професор  **Шуйський Юрій Дмитрович,**  Одеський національний університет імені І.І. Мечнікова, завідувач кафедри  кандидат геолого-мінералогічних наук,  старший науковий співробітник  **Мельник Віктор Іванович,**  Інститут геологічних наук НАН України |
| Провідна установа | Київський національний університет імені Тараса Шевченка, географічний факультет, кафедра геоморфології та палеогеографії |

Захист відбудеться \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2004 року о \_\_\_\_годині на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 26.163.02 Інституту географії НАН України за адресою: 01034, м. Київ, вул. Володимирська, 44.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту географії НАН України за адресою: 01034, м. Київ, вул.Володимирська, 44.

Автореферат розісланий “ “\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2004 р.

|  |  |
| --- | --- |
| Вчений секретар спеціалізованої  вченої ради,  кандидат географічних наук,  старший науковий співробітник | В.І. Передерій |

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми**. Широкомасштабні дослідження рельєфу морського дна почались останнім часом у зв’язку з потребами активного господарчого освоєння морських ресурсів, появою сучасних технічних засобів і технологій вивчення морського дна (багатопроменевих ехолотів, гідролокаторів бокового обзору, космічних систем дистанційного зондування тощо), котрі дозволяють вивчати великі ділянки акваторій з високим ступенем детальності. Але проблемою лишається наявність алгоритмів і комп’ютерних програм, що дають можливість здійснювати аналіз і змістовну інтерпретацію зондувань. Це надає таким дослідженням не лише фундаментальної, але й значної практичної цінності.

Розвиток методів саме такого аналізу рельєфу дна морів досить важливий для України, оскільки дно Чорного та Азовського морів є для неї об’єктом стратегічного значення. Такі дослідження передбачають використання різноманітних методів, серед яких чільне місце належить сучасним ГІС-технологіям. У деяких випадках, зокрема у зв’язку з інженерно-геоморфологічним аналізом для розмішення підземних споруд, прокладанням нафтопроводів тощо виникла потреба запровадження до морської геоморфології методів структурного аналізу рельєфу, що добре показали себе при дослідженні рельєфу суходолу, але практично не використовуються у морській геоморфології. Отже, є проблема, що вимагає наукового обгрунтування, методичного забезпечення й автоматизації обробки величезних масивів даних.

Саме ціма обставинами визначається загальне спрямування й мета цієї роботи. Ці експериментальні матеріали було покладено в основу дисертаційного дослідження.

**Об`єктом** дослідження є морфосистема морського дна. **Предметом** дослідження виступає геоморфологічна будова ділянки, що охоплює декілька морфогенетично спряжених структурних елементів підводного рельєфу: шельф, материковий схил, материкове підніжжя та прилягаючий до них глибоководний каньйон. **Фактичний матеріал** здобуто у міжнародній експедиції з вивчення морського дна за трасою майбутнього нафтопроводу Джубга-Самсун у вигляді масиву первинних високоточних чисельних даних багатопроменевого ехолотування морського дна на глибинах до 2000 м.

**Метою** дисертаційного дослідження є розробка методу відображення й структурного аналізу морського дна, що недоступне для безпосереднього візуального спостереження, на тестовій ділянці материкового схилу між Туапсе-Джубга на основі комп’ютерної обробки вимірювань, здійснених багатопроменевим ехолотом.

**Задачі**, що безпосередньо вирішувались у дисертації, були такі:

* числова комп’ютерна обробка первинних даних для відтворення у вигляді цифрової моделі глибин морського дна;
* складання детальної батиметричної цифрової карти;
* розробка алгоритмів чисельного аналізу і спектральний анализ Фур’є масиву висот підводного рельєфу;
* автоматизований структурний аналіз рельєфу (за чисельними даними);
* геоморфологічна інтерпретація результатів структурного аналізу;
* узагальнення можливостей застосування запропонованого методичного апарату й змістовного аналізу результатів в інших випадках.

Дослідження дозволило виявити закономірності будови означеної ділянки дна, підтвердити певні гіпотези про геологічну будову й структуру рельєфу та висловити власне судження щодо новітньої історії розвитку її морфоструктури й морфоскульптури. Методичним результатом є відповідні формалізації задач, сукупність методів і ГІС технологій, придатних для аналізу схилу й підводних каньйонів у межах тестової ділянки,

Поряд із науковим інтересом, такі дослідження мають значну практичну цінність для господарства України, оскільки на шельфі Чорного моря виявлені певні запаси вуглеводневої сировини, а проектування і спорудження інфраструктури для її видобутку і транспортування вимагатиме детального аналізу рельєфу морського дна, для чого може бути використаний запропонований автором і апробований у дисертаційному дослідженні методичний апарат.

**Зв`язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційне дослідження є логічним продовженням науково-дослідницьких робот з чисельного моделювання й аналізу рельєфу, що тривалий час здійснюються на геолого-географічному факультеті Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна під науковим керівництвом проф. І.Г.Черваньова. Зокрема, здобувачка приймала участь у НДР “Розробка теорії й практичне застосування формалізованої мови структурного аналізу рельєфу” (1993 р., номер держреєстрації 0101U001043) і “Моделювання й системний аналіз рельєфу” (1997 р., номер держреєстрації 0198U007877).

**Методологічні основи та методи дослідження.** Основної методологічною базою роботи є праці О.В. Позднякова, І.Г. Черваньова, присвячені структурному аналізу рельєфу. Для впорядкування інформації використовувались ГІС-технології. Обробка даних для здійснення автоматизованого структурного аналізу грунтувалась на просторовій статистиці, авторегресійному аналізі, методах вищої математики, зокрема спектральному аналізі Фур`є та ін. Для аналізу мереж підводніх каньйонів було також застосовано методи аналізу флювіального рельєфу, яки були розроблені В.П. Філософовим, та американськими дослідниками А. Стралером, S.Schumm, M.Mosley, W.Weaver.

**Наукова новизна отриманих результатів**. В дисертаційній роботі вперше:

* сформульовано задачу геоморфологічного дослідження за даними дистанційного багатопроменевого ехолотування морського дна без відповідного візуального контролю результатів;
* застосовано методи структурного аналізу для вивчення числової моделі підводного рельєфу, зокрема карти моно- і полібазисних поверхонь, базисних і вершинних поверхонь різних порядків і типів і т.н.;
* розроблено алгоритм чисельного аналізу морських морфосистем, який дозволяє кількісно підтвердити висновки про будову каньйонів, зроблені в процесі якісного аналізу цифрової моделі рельєфу тестової ділянки
* реалізовано розроблений алгоритм і проведено його тестування на ділянці материкового схилу;
* проведена інтерпретація отриманих результатів, внаслідок якої було виявлено складну будову каньйонів, розташованих в межах тестової ділянки морського дна і встановлено їх полігенетичну природу;
* виділено транзитні зони руху пухких наносів.

Отримані в результаті роботи алгоритму висновки були співставлені з даними про геологічну будову тестової ділянки. Це дало змогу підтвердити й уточнити деякі гіпотези про походження і будову материкового схилу в цьому районі. Таким чином, в *теоретичному аспекті* доведено, що рельєф дна морфоструктурно подібний до флювіального рельєфу. Тому структурний аналіз, розроблений стосовно до наземного флювіального рельєфу, може бути використаний для вивчення підводного рельєфу. В *методичному плані* встановлено, як саме і в який послідовності повинні застосовуватися методи статистичного, спектрального і структурного аналізу в разі вивчення рельєфу морського дна за даними багатопроменевого ехолотування; в *регіональному аспекті* виявлено, що підводні каньйони, розташовані в Західно-Кавказькому районі Чорного моря, складаються з частин різного генезису.

**Практичне значення одержаних результатiв**. Результати, отримані в дисертаційній роботі, були передані пошуковій експедиції РАТ “Газпром”, у роботі якої здобувачка приймала безпосередню участь. Методика обробки інформації й морфологічних досліджень використовувані при розробці блоку геоморфологічного аналізу для геоінформаційних систем, які широко використовуються під час будівництва і експлуатації підводних технічних споруд: нафтопроводів, газопроводів, ліній зв’язку і таке інше. Оскільки рельєф дна є одним з ключових факторів, що впливають на спорудження й експлуатацію підводних технічних споруд, інженерно-геоморфологічний блок - необхідний компонент такої геоінформаційної системи. Комплексний алгоритм, розроблений в даній роботі, може бути прообразом і складовою частиною інженерно-геоморфологічного блоку геоінформаційної системи інженерного призначення.

**Особистий внесок здобувача.** Автором особисто:

* зібрано та оброблено великий обсяг інформації щодо рельєфу морського дна (понад 1 млн.од. первинних даних), отриманих за допомогою багатопроменевого ехолоту,
* розроблено алгоритм аналізу рельєфу морського дна; складено програму на мові математичніх обчислювать MatLab;
* виконані розрахунки за алгоритмом;
* зроблено змістовну інтерпретацію даних структурного аналізу і
* отримані висновки щодо будови тестової ділянки морського дна.

Також за допомогою алгоритма та програми комплексного аналізу показано, що каньйони мають складну будову, і розроблено схему геоморфологічного зонування в межах тестової ділянки.

**Апробація результатів дисертації**. Матеріали досліджень доповідались і обговорювались на науково-теоретичних семінарах викладачів геолого-географічного факультету і географічного моніторингу і охорони природи, де безпосередньо виконувалось дисертаційне дослідження. Основні результати використовувались у практичній частині курсу Вступ до Інтернету, що викладається здобувачкою з 1998 р., і включено до навчального посібника (2000) і підручника „Інтернет для географів” (2003). Основні результати доповідались на численних міжнародних ГІС-конференціях. Серед них: міжнародні конференції „Регіони України: пошук стратегії сталого розвитку” (1996) та “Людина у ландшафті 21 століття: гуманізація географії. Проблема постнекласичних методологій” (Київ, 1998); міжнародна науково-практична конференція “Геоморфологічні дослідження в Україні: минуле, сучасне, майбутнє”, присвячена 50-річчю кафедри геоморфології Львівського національного університету ім. Івана Франка (Львів, 2000); міжнародна конференція Remote Sensing for Marine and Coastal Environments (Чарльстон, США, 2000).

**Публікації**. За темою дисертації опубліковано 9 робіт загальним обсягом 2,4 д.а., в тому числі 7 у періодичних виданнях і збірниках наукових праць, з них 3 у виданнях за переліком ВАК України, решта – у матеріалах і тезах конференцій.

**Обсяг і структура роботи.** Дисертацію викладено на 146 сторінках комп’ютерного тексту, її ілюстровано 76 рисунками та 18 таблицями. Робота складається із вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатку. Загальний обсяг дисертації складає 160 сторінок.

### Основний зміст роботи

1. **Теоретичні засади структурного аналізу і історія вивчення підводного рельєфу.** Застосування математичних методів для дослідження підводного рельєфу, розпочате О.М.Ласточкіним, стримувалось відсутністю відповідних даних, поява яких пов’язана з новітнім технічним прогресом в області розвитку технологій вивчення дна океанів. Такою технологією, що дала змогу використати методи ціфрової комп’ютерної картографії і математичних методів, стало багатопроменеве ехолотування. Отримані з його допомогою батиметричні дані дозволили створити чисельну модель рельєфу, яка, в свою чергу, дала змогу використати методи структурного, спектрального і статистичного аналізу для дослідження геоморфологічної будови морських морфосистем. Поєднанная дистанційних методов з математичніми є, на погляд автора, єдиною можливістю для проведення структурного аналізу мезо- и мегарельєфу у випадку, коли рельєф не підлягає беспосередньому спостереженню, як це притаманне дну морів і океанів.

Вивчення морських морфосистем в ході роботи проводилось згідно розробленого автором алгоритму, який тестувався на ділянці материкового схилу, розташованій у Західно-Кавказькій акваторії (регіоні) Чорного моря. Цей регіон порівняно добре вивчений на регіональному рівні, хоча вихідним матеріалом для геологів і геоморфологів були, до появи даної роботи, лише розпорошені точкові проби грунту і профілі, отримані з використанням вузькопроменевого ехолота. У ході даної роботи були застосовані вперше для геоморфологічного аналізу дані, які дозволяють побудувати чисельну модель рельєфу цієї ділянки морського дна, провести її структурний аналіз і зробити висновки про геоморфологічну будову,

Геологічні та геоморфологічні дослідження будови дна Західно-Кавказького регіону Чорного моря проводились В.П. Гончаровим, В.П. Зенковичем, В.П. Карою, О.К. Леонтьєвим, О.П. Лісіциним, Я.П. Маловицьким, Є.Є. Милановським, Ю.П. Непрочновим, К.М. Шимкусом та іншими вченими. Як відмічається багатьма з цих авторів, в районі материкового схилу однією з найбільш характерних геоморфологічних структур є підводні каньйони, систематизація знань і уявлень про які проводились О.К. Леонтьєвим і Ф. Шепардом. Вони описали декілька теорій їх походження і розвитку. Згідно цих авторів, теорії походження підводних каньйонів поділяються на тектонічні (Н.В. Кльонова, Є.Є. Мілановський, Ю.П. Непрочнов, К.М. Шимкус) та ерозійні (Ф. Шепард, П. К’юнен, Р. Делі), або є їх комбінацією (гіпотеза про тектоніко-ерозійне походження каньйонів О.К. Леонтьєва).

З практичної точки зору, вивчення підводного рельєфу важливе при проектуванні та будівництві підводних лінейних геотехнічних споруд – таких, як газо- й нафтопроводи і лінії зв’зку. В цьому випадку інженерам-проектувальникам потрібно знати ступінь інтенсивності літодинамічних процесів в районі будівництва, який, в свою чергу, залежить від нахилів тальвегів та вододілів, ступеня їх гладкості та рівня вертикального розчленування. Всі ці показники можуть бути оцінені із застосуванням чисельного аналізу рельєфу. Нормативи спорудження лінійної геотехнологічної споруди вимагають уникати ділянок з тектонічними порушеннями, нестабільніми грунтами або ж мінімізувати їх. Тож, геоморфологічний аналіз морського дна в місці будівництва є необхідним етапом передпроектної проробки траси.

**Розташування тестової ділянки дна Чорного моря.** Тестову ділянку обрано на стику зовнішнього шельфу, материкового схилу і його підніжжя на глибинах від 200 до 2000 м. Площа ділянки становить біля 200 км2, лінійні розміри –приблизно 10 х 20 км (довжина упоперек берега). Вихідні дані являють собою виміри глибин у вузлах нерегулярної сітки. Виміри глибин виконані за допомогою багатопроменевого ехолота Konsberg Simrad EM-12 і представлені в форматі XYZ (широта, довгота, глибина) в ASCII-кодах. За цими первинними чисельними даними автором була побудована чисельна модель рельєфу тестової ділянки, яка використовувалась для проведення структурного аналізу морського дна.

**2. Методологія чисельного геоморфологічного аналізу рельєфу.** У роботі для чисельного аналізу рельєфу материкового схилу використовувалися, головним чином, методи аналізу флювіального рельєфу. Основою для такого використання є наступні факти:

1. наявність в тестовій зоні каламуттєвих потоків і дані про результати пробовідбору, згідно яких матеріал, з якого складена верхня частина материкового схилу, являє собою глину, яка переходить в мул. Ці матеріали легко еродуються, що дозволяє припустити, що каламуттєві потоки діють подібно потокам води на суходолі та відіграють на материковому схилі значну рельєфоутворюючу роль;
2. візуальний аналіз чисельної моделі рельєфу тестової ділянки морського дна показує, що поверхня тестової ділянки має будову, яка подібна до флювіального рельєфу, розташованого на суходолі;
3. аналіз результатів статистичного аналізу мереж тальвегів і вододілів, виділених в межах тестової ділянки, показує, що для цих мереж повторюються основні статистичні закономірності, розраховані для флювіального рельєфу і наведені, зокрема, в роботі Experimental Fluvial Geomorphology(Schumm S.A., Mosley M.P., Weaver W.E.). Цей факт підтверджує справедливість застосування методів аналізу флювіального рельєфу для аналізу материкового схилу, розташованого в Західно-Кавказькому районі Чорного моря.

В даній роботі для аналізу морського дна в рамках загальної методології структурного аналізу рельєфу, сформульованої І.Г. Черваньовим, був розроблений алгоритм чисельного аналізу морських морфосистем, який складається з сукупності методів статистичного, спектрального і структурного аналізу чисельних моделей рельєфу, котрий дозволив, зокрема:

1. виділити структурні лінії в межах тестової ділянки рельєфу. Інформація про структурні лінії рельєфу зберігалася у вигляді набору таблиць, сукупность яких містила всю інформацію про лінії тальвегів і вододілів, необхідну для аналізу їх характеристик;
2. скласти комп’ютерні карти структурних поверхонь (моно-і полібазисних і вершинних, моно-і полірельєфів 1-3 порядків);
3. визначити метричні характеристики ліній тальвегів і вододілів - їх мінімальні, максимальні, середні довжини, середньоквадратичні відхилення і розподілення довжин;
4. отримати розподілення глибин вздовж ліній тальвегів і вододілів різних порядків;
5. визначити значення мінімальних, максимальних і середніх кутів нахилу вздовж ліній тальвегів і вододілів різних порядків і побудувати їх розподіл;
6. дослідити спектральні характеристики флуктуацій глибини (нерівності) профілів тальвегів і вододілів відносно їх середніх уклонів. Оцінити характерні періоди нерівностей і співставити можливі механізми їх виникнення для різних зон морського дна;
7. оцінити потужність високочастотних складових в спектрах нерівностей (гладкість структурних ліній), яка характеризує наявність в рельєфі уступів, піків, ущелин та інших елементів, котрі можуть привести до виникнення додаткових напружень і деформацій в підводних кабелях і трубопроводах;
8. побудувати і проаналізувати структуру вершинних і базисних моноповерхонь всіх порядків і відповідних їм матриць уклонів;
9. оцінити статистичні характеристики глибин ерозійного розчленування морського дна.

Для виділення структурних ліній використано метод “стікаючої краплі”. Сутність методу полягає в математичному моделюванні процесу руху крапель рідини по поверхні рельєфу, що досліджується, і фіксація траєкторій їх руху. Число крапель, шо протекли через кожну точку поверхні, можно розглядати як показник належності точки до структурної лінії. Цей алгоритм є фізично обгрунтованим і дає добре контрольовані результати. В роботі описано алгоритм цього методу, реалізований за допомогою системи матричного аналізу MatLab. Контроль правильності виділення структурних ліній рельєфу здійснювався за допомогою аналізу похідних функції рельєфу.

Дані про структурні лінії рельєфу були впорядковані й записані в таблиці зі спеціальною структурою, що дозволяє легко і швидко знаходити інформацію про різні дерева тальвегів і вододілів і їх вузлові точки. Дані було упорядковано у формі стовпчиків матриці, кожний з яких відповідає одній структурній лінії і має такі дані: тип лінії (тальвег чи вододіл), порядок лінії, число елементів в структурі лінії, номер дерева, до якого належить лінія, номер гілки дерева та елементи лінії, записані в форматі XYZ (у відносних координатах).

В розділі 2 також наведено методологію вивчення метричних характеристик структурних ліній, зокрема, розподіл довжин, глибин і кутів нахилу структурних ліній в залежності від їх порядку, а також статистичних властивостей профілів структурних ліній в залежності від їх порядку і розташування. Також застосовані методи спектрального оцінювання методом швидкого перетворення Фур’є, що дозволяє визначити закономірності зміни глибин уздовж профілю структурної лініі, виявити шаруватість поверхні еродування, а також встановити наявність гребенів та розщелин. Структурні лінії різняться за структурою спекту Фур’є. Спектральний аналіз дозволяє також виявити амплітуди та характерні періоди неоднорідностей рельєфу. Для виключення впливу на спектр профілю середніх уклінів структурних ліній, для аналізу було використано не самі значення глибин, а їхні відхилення від лінії тренду равномірного схилу. Відхилення визначалися як результат вирішення задачі апроксімації профілю структурної лінії за критерієм мінімуму середнього квадратичного відхилення. Таким чином, в дисертації було використано дискретне перетворення Фур’є вектору флуктуацій глибин. Результатом перетворення є вектор комплексних спектральних коєфіціентів флуктуацій рельєфу. В роботі для проведення спектрального перетворення Фур’є було взято лінію довжиною 32 елементи, для оцінки випадкових неоднорідностей типу гребенів та ущелин було використано суму 8 останніх спектральних коефіцієнтів.

Для аналізу профілів структурних ліній було застосовано також спектральне оцінювання методом авторегресії. Цей метод дає найточніші дані у випадку, коли рядок даних має невелику довжину. В цьому оцінюванні також було використано не самі абсолютні значення глибин, а їх відхилення від лінії тренду середнього укліну, визначені за методом мінімуму середнього квадратичного укліну.

Статистичні характеристики морфологічних груп ліній (тальвегів і вододілів) в даній роботі включають оцінки розподілу (гістограми) їх довжин і уклінів, а також їх максимальні, мінімальні та середні значення. Окрім того, аналізувалися гістограми розподілу глибин уздовж структурних ліній. Серед перерахованих характеристик можна виділити залежність середньої довжини і уклінів структурних ліній від іх порядку, котрі в сукупності дають інтегральну оцінку властивостей рельєфу з точки зору вирішення інженерних задач.

Інтегральні властивості рельєфу можуть вивчатися також за допомогою структурних поверхонь, які натягнуті на каркас із структурних ліній певних типів і порядків, та задовольняють деяким додатковим обмеженням. Вивчення рельєфу шляхом дослідження структурних поверхонь має два етапи: на першому проходить вибір критеріїв та механізмів синтезу структурних поверхонь, а на другому – аналіз їх характеристик. Задача синтезу структурних поверхонь може бути зведена до пошуку моделі поверхні, що проходить через певні точки вектора S (*задача інтерполяції*), або найкращим шляхом наближується до них (*задача апроксімації*), і водночас задовольняє певному крітерію фізічності або крітерію інформативності. Згідно з останнім, серед усіх вірогідних випадкових поверхонь вибірається та, комбінаторна вірогідність утворення якої найбільша. У даній роботі було використано методи лінійної інтерполяції, мультиквадрикової інтерполяції та інтерполяція бігармонічними функціями Гріна.

Для аналізу властивостей структурних поверхонь і їх комбінацій використовувались такі параметри та характеристики: середня глибина поверхні, середньоквардатичне відхилення глибин поверхні, оцінка форми розподілення (гістограма) глибин, поверхня уклінів, середньоквадратичні відхилення значень уклінів і оцінки розподілення їх значень і напрямків векторів. Також були обчислені сумісні характеристики моноповерхонь, зокрема, глибина розчленування, що є різницею між двох моноповерхонь – вершинної і базисної.

В цілому, розділ 2 дисертаційної роботи присвячений обгрунтуванню використаних математичних методів - статистичного, спектрального і структурного аналізу і методів інтерполяції при створенні чисельної моделі рельєфу.

3. **Структурний, статистичний і спектральний анализ рельєфу тестової ділянки морського дна.** В рельєфі тестової ділянки були виділені лінії тальвегів і вододілів, які сформували так звані “дерева”. В результаті класифікації структурних ліній за методом Філософова-Стралера (за незалежною схемою) встановлено, що максимальний порядок структурних ліній в деревах тальвегів дорівнює 3 (всього виділено 73 структурні лініі тальвегів в 6 деревах). Максимальний порядок структурних ліній вододілів – 4 (всього видилено 71 лінія в 10 деревах), однак оскільки вододіли 4-го порядку представлені тільки двома елементами, то для проведення аналізу використовувались тальвеги і вододіли до 3-го порядку включно.

Результати статистичного, спектрального і структурного аналізу, проведеного в межах тестової ділянки, свідчать, що ділянці притаманна суттєва неоднорідність і що в її межах можуть бути виділені зони з різними морфометричними характеристиками.

Таблиця 1. Середні морфометричні показники структурних ліній (середні довжини у м)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 порядок | | 2 порядок | | 3 порядок | |
| тальвеги | вододіли | тальвеги | вододіли | тальвеги | вододіли |
| 1825 | 1525 | 3100 | 3045 | 8930 | 7140 |

Встановлено, що довжина тальвегів і вододілів зростає майже вдвічі з переходом до кожного старшого порядку. Це дозволяє припустити, що залежність середньої довжини структурної лінії на цієї ділянці від її порядку є ступеневою. Близькість середніх довжин тальвегів і вододілів відповідних порядків між собою можно пояснити тим, що їх дерева є взаємно вкладеними структурами, що розташовані на компактній ділянці. Середньоквадратичне відхилення довжини також зростає із ростом порядку.

Розподіл кутів нахилу ліній тальвегів і вододілів різних порядків являє собою суперпозицію декількох розподілів. На розподілі кутів нахилу тальвегів 1-го порядку можно чітко виділіти 3 моди, на розподілі кутів нахилу вододілів 1-го порядку моди трохи менш очевидні. На розподілі кутів нахилу тальвегів 2-го порядку і вододілів 2-го порядку можно чітко виділіти 2 моди, у вододілів 3-го порядку можно чітко бачити 3 моди, у тальвегів 3-го порядку наявність мод менш очевидна. Таким чином, характер розподілу уклонів тальвегів і вододілів приблизно однаковий, що свідчить про наявність в межах материкового схилу ділянок з різними уклонами, і число ціх зон - щонайменше три. Середнє значення укліну тальвегів 1-го порядку становить 6,30 , 2-го порядку – 3,70, а 3-го – 2,50 . Для вододілів значення уклонів становить відповідно 7,2, 4,4 та 4,3.

Результатом гармонійного аналізу була можливість отримати параметр, який характеризує гладкість структурної лінії - тобто наявність дрібномасштабних елементів профілю типу уступів, піків, горбів, ущелин і таке інше. Був зроблений висновок про наявність статистичного зв’язку між середніми уклінами тальвегів і їх гладкістю: для тальвегів, розташованих в межах тестової ділянки, значення коефіцієнту кореляції між значеннями середніх хилів тальвегів і амплитудами випадкових нерівностей їх профілів виявився рівним 0,85. Був розрахований коефіцієнт кореляції між порядком тальвега і гладкістю його профілю. Для тальвегів, що розглядалися, він дорівнює мінус 0,81. Тобто залежність ступеня гладкості ліній тальвегів від їх порядку також існує, але має зворотний характер.

Показано, що на відміну від тальвегів, коефіцієнт кореляції між значеннями середніх уклінів вододілів і їх гладкістю дорівнює 0,20, тобто статистичного зв’язку між гладкістю і уклінами вододілів не виявлено. Також не пов’язані між собою порядок структурної лінії вододілу і гладкість її профілю - коефіцієнт кореляції в цьому випадку дорівнює 0,21. Отримані значення добре узгоджуються із значеннями, отриманими раніше для флювіального рельєфу суходолу.

У розділі 3 також розглядаються базисні та вершинні поверхні з першого по третій порядок включно, побудовані для тестової ділянки морського дна. Для аналізу рельєфу були розраховані матриці уклонів моноповерхонь обох типів 1-го, 2-го і 3-го порядків. Результати аналізу структури моноповерхонь тестової ділянки дозволяють зробити висновок, що в цих поверхнях більш чітко в порівнянні з вихідним рельєфом проявляються такі інтегральні характеристики рельєфу, як будова вихідної поверхні еродування материкового схилу. Так, на базісній моноповерхні 1-го порядку можно чітко бачити три різні зони с уклонами 2,3; 4,6; 9,10, а на вершинній моноповерхні також можно виділити три зони. На базисних і вершинних моноповерхнях 2-го і 3-го порядків також виділено зони з різними уклонами.

4. **Глибина ерозійного розчленування рельєфу.** Базисні та вершинні моноповерхні є основою для побудови такої важливої інтегральної характеристики підводного рельєфу, як глибина ерозійного розчленування різних порядків. Для обчислення глибини розчленування рельєфу провадився аналіз структури різницевих поверхнь відповідних порядків. Зокрема, інтегральна глибина розчленування k-го порядку дорівнює середньому значенню всіх елементів різницевої поверхні між базисною і вершинною поверхнями того ж таки k-го порядку. Середня глибина розчленування 1-го порядку для тестової ділянки дорівнює 34 м, 2-го порядку – 129 м, 3-го – 177 м.

У розділі розглянуто механізми, що призводять до штучного виникнення підвищення базисної поверхні над вершинною. Перший механізм пов’язаний з особливостями класифікації порядків тальвегів і вододілів за методом Філософова-Стралера (за незалежною схемою), а другий – з недосконалими методиками інтерполяції. Площа такого підвищення для поверхонь 1-го порядку склала 4,5%, для 2-го – 0,13%, для 3-го таких штучних особливостей виявлено не було.

5. **Геоморфологічна будова тестової ділянки морського дна.** Візуальний, статистичний, спектральний і структурний аналіз, проведений в межах тестової ділянки морського рельєфу, показує, що досліджена ділянка морського дна може бути поділена на декілька геоморфологічних зон (рис. 1):

1. зону столоподібного шельфу (занурена окраїна материка), розташовану на глибині до 120 м (зона 1);
2. верхню частину материкового схилу (до глибини приблизно 820 м), створену річковою ерозією в геологічному минулому, котра стала підводною в результаті евстатичних коливань океану і зниження суходолу (зона 2);
3. середню частину материкового схилу зі складками тектонічного походження, формуючу каньйони, які простягаються до глибин біля 1450 метрів (зона 4);
4. широку долину біля підніжжя материкового схилу, покраяну каналами суспензійних потоків, виритих в товщі пухких морських відкладів (зона 6);
5. оточуючий вал, сформований осадочним матеріалом, що перенесений суспензійими потоками (зона 7).

Крім названих основних зон, можно виділити дві транзитні зони:

а) ділянка між зоною флювіального зануреного рельєфу і зоною тектонічних каньйонів. Тут розташований давній занурений шельф (зона 3). У зоні давнього зануреного шельфа глибина розчленування 1-го порядку значно перевищує значення глибини розчленування того ж порядку оточуючих зон;

б) ділянка, розташована біля самого підніжжя материкового схилу між зоною тектонічних складок і ерозійною долиною (зона 5), в межах якої глибина розчленування першого порядку також значно перевищує значення глибини розчленування першого порядку оточуючих зон.

Підвищена глибина розчленування в цих транзитних зонах може бути пояснена накопиченням в них товстого шару осадів і, одночасно, наявністю еродуючих потоків. Іншими словами, саме в цих транзитних зонах літодинамічні процеси, мабуть, відбуваються найбільш інтенсивно.

Верхній столоподібний шельф являє собою практично гладку поверхню (зона 1). Межа між подводною окраїною материка і зоною материкового схилу чітко виражена. Значення 120 м дещо перевищує значення глибини зовнішнього краю обмілини, обчислене для всього Чорного моря, яке дорівнює трохи більше за 100 м. Отримане в ході даної роботи значення добре узгоджується з середнім для Світового океану значенням (132 м).

На глибинах від 120-820 м розташована зона, створена річковою ерозією в геологічному минулому, яка пізніше була занурена нижче рівня моря (зона 2). Флювіальна мережа цієї зони має низку особливостей. Тут переважає «гострокутний» характер зчленування притоків (такий тип зчленування характерний для ерозійних систем, закладених на крутих схилах) і “паралельний” тип малюнку ерозійної мережі.

Зона 3 являє собою давній шельф, розташований поміж зоною зануреного флювіального рельєфу і зоною тектонічних каньйонів. Поява глибоких ерозійних долин в зоні давнього шельфа відбувалася, вірогідно, в геологічному минулому в результаті протікання двох взаємодіючих процесів - накопичення матеріалу, винесеного ріками, і прорізання в ньому каньйонів. Зараз давній шельф продовжує розмиватися суспензійними потоками. Ця зона тестової ділянки дна характеризується підвищеною глибиною розчленування.

В зоні тектонічного рельєфу (зона 4) каньйони, створені річковою ерозією, зчленовані зі складками тектонічного походження, які формують кілеві лінії схилу, котрі простягаються до глибини біля 1450 м. В цій зоні переважає “прямокутний” характер зчленування притоків. Тип малюнка ерозійних систем при переході від флювіального до тектонічного рельєфу змінюється з “паралельного” на “перистий”. Структурні лінії в цій зоні мають різний напрямок: лінії вищих порядків спрямовані на південний схід, лінії першого порядку - на схід.

Можно припустити, що каньйони в зоні 4 сформовані тектонічними складками. В цій зоні виділяються три великих хребти. Поперечні профілі складок симетричні - їх лівий та правий схили мають приблизно однакові середні кути нахилу (біля 16°), однак структура поверхні схилів різна. Схили, орієнтовані на південний схід, мають гладку поверхню, а схили, орієнтовані на північний захід, пронизані великою кількістю тальвегів, паралельних один одному. Ця особливість рельєфу показує, що схили, обернені на північний захід, складаються з породи стійкої до розмиву, а на північно-східних схилах на поверхню виходять породи, які більше піддаються ерозії. На поверхні, що еродується, тальвеги 1-го порядку починаються дуже близько від вододілів вищих порядків.

Долина в центрі між складками має виположену форму, що свідчить про накопичення в цій зоні осадових матеріалів, які легко розмиваються (нижня частина зони 4). Долини в цій зоні мають яскраво виражений V-подібний профіль, що може свідчити про прохождення там час від часу каламутних потоків, які видаляють з цих тальвегів пухкий осадовий матеріал.

В нижній частині материкового підніжжя, яке переходить в морське ложе (на глибинах до 1600 метров), розташовані конуси виносу з каналами суспензійних потоків, виритих в товщі пухких морських відкладів (зона 5). Ця зона характеризується підвищеною глибиною розчленування, що, вірогідно, говорить про високу інтенсивність літодинамічних процесів в цій зоні.

Біля материкового підніжжя розташована долина, дно якої знаходиться на 170 метрів нижче рівня вершин оточуючих дамб (зона 7). Дерево тальвегів і вододілів ерозійних каналів має інсеквентний тип розчленування поверхні.

Зона 8 являє собою вал, оточуючий ерозійну долину. Він має походження подібне до прируслового валу річки. Суспензійні потоки, що пройшли в каньйонах, поза ними знижують швидкість свого руху і матеріал, який ними переноситься, осідає.

В кожній із перелічених вище зон якісні і кількісні характеристики рельєфу мають помітні відміни, таким чином, каньйони можуть бути класифіковані в залежності від морфометричних показників і інтегральних характеристик рельєфу. Очевидно, що жоден із показників не може бути застосований як єдиний індикатор, тож для аналізу має бути використана така сукупність характеристик: характер зчленування притоків; тип малюнку ерозійної системи; глибина розташування каньйону; середній уклін поверхні, де розташований каньйон; характер базисних та вершинних поверхонь найвищих порядків в зоні розташування каньйону; глибина ерозійного розчленування в цієї зоні; напрямок структурних ліній; профілі тальвегів та їх спектри; гладкість структурних ліній.

Можно побачити, що в різних геоморфологічних зонах тестової ділянки ці характеристики мають суттєво різний характер. Так, середний уклін тальвегів в межах 2-го зони становить 7,3 град, 4-ої зони – 6,1 град, а 6-ої – 2,8 град. Ще більш інформативним показником є співвідношення між середніми уклонами тальвегів 1-го порядку і тальвегів 2-го порядку і вище. Для 2-ої зони цей показник дорівнює 1,5, для 4-ої – 2,8 и для 6-ої – 4,25. Та ж закономірність зберігається для вододілів: співвідношення між середнім уклоном вододілів 1-го порядку і вододілів 2-го порядку і вище дорівнює 1,3 для 2-ої зони, 2,1 – для 4-ої, та 3 – для 6-ої. Так як вододіли, в загальному випадку, належать до вихідної поверхні еродування, то це доводить, що вихідні поверхні еродування в зонах 2, 4 та 6 мають істотно різний характер.

Типи розподілів довжин тальвегів в зонах 2, 4 та 6 одномодальні і подібні один до одного, що свідчить про те, що усі тальвеги 1-го порядку в межах тестової ділянки мають ерозійне походження. Розподіли довжин вододілів мають зовсім инший малюнок, розподіл в зоні 2 є тримодальним, в зоні 4 – двомодальним, в зоні 6 – одномодальний. Спектральний аналіз структурних ліній в межах різних зон також свідчить про істотні відмінності в геоморфологічній будові зон – в зонах 2 і 6 гармоніки з довджиной хвилі 2-3 та 6 км мають велику амплітуду, а в зоні 4 спектр має майже рівномірний вигляд.

Надзвичайно чітко різні зони виділяються на вершинних і базісних моноповерхнях різних порядків, зокрема на базисной і вершинній поверхнях 1-го і вершинній моноповерхні 2-го порядку.

### ВИСНОВКИ

1. Експериментально доведена морфоструктурна подібність підводного рельєфу трьох гіпсометричних рівнів – шельфу, материкового схилу й підніжжя – до до флювіального рельєфу суходолу.
2. Встановлено полі генетичну природу каньйонів. Великі каньйони вищих порядків в середній та нижній частинах материкового схилу (на глибинах від 820 до 1450 метрів) мають тектонічне походження і являють собою складчасту надвигову структуру. Нижні частини каньйонів (глибше 1450 метрів) являють собою канали суспензійних потоків, виритих в товщі пухких морських відкладів. Ці каньйони цілком сформовані в підводних умовах.
3. Малі каньйони в тій же зоні створені ерозійними суспензійними потоками осадових порід, які накопичуються на схилах, і еродуванням відкритих на схилах тектонічних складок корінних порід.
4. Експериментально встановлено, що для аналізу рельєфу підводніх каньйонів, розташованих на материковому схилі, можуть бути застосовані методи, які традиційно використовуються для аналізу флювіального рельєфу.
5. Шляхом спектрального аналізу Фур’є встановлені характерні спектри структурних ліній і перевірена можливість їх використання з діагностичною метою.
6. Розроблений алгоритм аналізу морських морфосистем, який складається з сукупності методів статистичного, спектрального і структурного аналізів, може використовуватись для дослідження материкового схилу з розташованими на ньому каньйонами різного генезису.
7. Показана можливість зестосування комп’ютерного структурного аналізу підводного рельєфу для інженерно-геоморфологічного оцінювання умов спорудження підводних споруд і прокдадання трас трубопроводів.

**Публікації за темою дисертації:**

##### Статті

1. Блинкова О.А. О некоторых особенностях изучения подводного рельефа // Вестник Харьковского университета, 1998, №402, серия “География-геология-экология”, С. 114-115.
2. Блинкова О.А. Морфология подводных каньонов Западно-Кавказского района Черного моря // Геоморфология, 2001, № 4, С. 51-58.
3. Блiнкова О.А. Методологiя чисельного аналiзу рельєфу для вивчення будови та походження пiдводных каньйонів у Чорному морi // Український географічний журнал, 2001, №2, С. 61-64
4. Блiнкова О.А. Вивчення будови та походження підводних каньйонів у Західно-Кавказському районi Чорного моря // Вісник Харківського університету, 2001, №521, серія “Географія. Геологія. Екологія”. С. 162-166.
5. Блинкова О.А. Геоморфологический анализ участка материкового склона в северо-западной части дна Черного моря по данным многолучевого эхолотирования //Культура народов Причерноморья, 2000, № 15, С. 11.
6. Блинкова О.А. “3С” алгоритм геоморфологического анализа морского дна // ”ГИС-Обозрение”, 2000, №1, С. 38-41
7. Блинкова О.А. Черное море – перспективная зона международных коммуникационных систем // ”Бизнес-информ”, 1998, № 8, С. 25-26.

###### Тези

1. Olga Blinkova. Mathematical Methods Reveal the Origin of Submarine Canyons in the East Part of the Black Sea // Sixth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Charleston, 1-3 May, 2000, pp. 288-295
2. Блинкова О.А. Географические исследования в XXI веке: акцент на изучение мирового океана // Человек в ландшафте 21 века: проблемы постнеклассических методологий, Киев 1998, С. 159-161

### АНОТАЦІЯ

Блінкова О.А. Чисельний аналіз рельєфу морського дна (на прикладі Західно-Кавказького регыону Чорного моря). – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук зі спеціальності 11.00.04 – геоморфологія і палеогеографія. – Інститут географії НАН України, Київ, 2004.

Об’єктом дослідження, проведеного в дисертаційній роботі, є рельєф материкового схилу, розташованого в Західно-Кавказькому районі Чорного моря. Материковий схил в цьому районі порізаний численними підводними каньйонами. Дослідження рельєфу проводилось за допомогою методів структурного аналізу, які традиційно вікористовуються для аналізу флювіального рельєфу, що був алгоритмізований і автоматизований. Геоморфологічний аналіз проводився згідно складеного в ході даної роботи алгоритму аналізу морських морфосистем, який поєднує методи структурного, статистичного і спектрального аналізу. Була обгрунтована й емпірично перевірена правомірність використання подібних методів.

Аналіз каньйонів, розташованих на материковому схилі, дозволив показати їх композитну будову (і, як наслідок, неоднорідну будову рельєфу материкового схилу) і вказати точні глибини розташування зон різного похождення. В межах кожної геоморфологічної зони були уточнені всі названі морфометрічні характеристики рельєфу і розглянуті особливості їх будови. Показано, що аналіз вершинних і базисних моноповерхонь різних порядків, в комбинації з методами візуального, статистичного і спектрального аналізу, можуть бути використані для аналізу будови каньйонів. Сукупність запропонованих алгоритмів аналізу рельєфу дна має важливе значення для проектування підводних геотехнічних споруд - трубопроводів, ліній зв’язку, об’єктів облаштування морських нафтогазоносних родовищ.

**Ключовi слова:** материковий схил, підводнi каньйони, структурний аналіз, статистичний аналіз, спектральний аналіз, геоморфологічні зони.

### АННОТАЦИЯ

Блинкова О.А.Численный анализ рельефа морского дна (на примере Западно-Кавказского района Черного моря). – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 11.00.04 – геоморфология и палеогеография. – Институт географии НАН Украины, Киев, 2004.

Объектом исследования, проведенного в настоящей диссертационной работе, является рельеф материкового склона, расположенный в западно-кавказском районе Черного моря. Материковый склон в этом районе изрезан многочисленными подводными каньонами. Исследования рельефа проводились с помощью методов, традиционно использовавшихся для анализа флювиального рельефа: изучение производилось согласно составленному в ходе настоящей работы алгоритму анализа морских морфосистем, объединяющему методы структурного, статистического и спектрального анализа. Была обоснована правомерность использования подобных методов.

Анализ каньонов, расположенных на материковом склоне, позволил показать их композитное строение (и, как следствие, неоднородное строение рельефа материкового склона) и указать точные глубины расположения зон различного происхождения.

Совокупность предложенных алгоритмов анализа рельефа дна имеет важное значение для проектирования подводных геотехнических сооружений - трубопроводов, линий связи, объектов обустройства морских нефтегазоносных месторождений.

Ключевые слова: материковый склон, подводные каньйоны, структурный анализ, статистический анализ, спектральный анализ.

**SUMMARY**

O.А. Blinkova. Numerical analysis of seafloor relief (on the sample of W.-Caucasian region of the Black Sea). – Manuscript.

Candidate dissertation on speciality 11.00.04 – geomorphology and paleogeography. – Institute of Geography at National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2003.

There are several theories about the origin of submarine canyons. Some of them says canyons are mostly tectonic, some says they are caused by erosion in the geological past and then become submerged. Another theories assert canyons are made by turbidity currents.

The study area of submarine canyons locates mostly on the continental slope near Russian towns Djubga and Tuapse. The seabed sediments on the study area consist of clay nearshore, grading to silt offshore. Visual analysis of study area, statistical and spectral analysis of longitudinal profiles of structure lines (both thalvegs and watersheds), and analysis of structure surfaces show that the study area can be divided into five basic geomorphic zones.

There are differences in qualitative and quantitative characteristics of relief in the different geomorphic zones.

All these results of numerical geomorphic analysis show that canyons, situated on the Black Sea continental slope near Djubga and Tuapse towns have three distinctive parts: 1) canyons, made by sub-aerial fluvial erosion and afterwards submerged; 2) tectonic folds; 3) channels made by turbidity currents in sediments near the base of the continental slope. This fact could not be revealed without the use of this set of mathematical methods.

Keywords**:** continental slope, subsea canyons, structure analysis, statistical analysis, spectral analysis.

воспользуйтесь поиском на сайте по ссылке: <http://www.mydisser.com/search.html>