

УДК 551.465:551.506.3:509.3

на правах рукопису

Макаринський Олег Миколайович

МОДЕЛЮВАННЯ ЦИРКУЛЯЦІЇ ВОД МІЛКОГО МОРЯ ПРИ
ІМОВІРНІСТНО-СТАТИСТИЧНОМУ ОПИСІ ВІТРОВИХ УМОВ

11.00.08 - океанологія

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата географічних наук

Макаринський

ОДЕСА - 1996

Дисертація у вигляді рукопису.

Роботу виконано у Одеському гідрометеорологічному інституті.

Наукові керівники: кандидат фізико-математичних наук, п.н.с.
Матигін Олександр Сергійович

кандидат біологічних наук, п.н.с.
Базелян Василь Лаврентійович

Офіційні споненти:

доктор географічних наук, професор
Тарнопольський Анатолій Григорович

кандидат фізико-математичних наук, с.н.с.
Міхалечко Орій Охимович

Головна організація: Морський гідрофізичний інститут,
АН України, м. Одеса

Захист дисертації відбудеться 27 червня 1996 р. о 13
годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.02.01
при Одеському гідрометеорологічному інституті за адресою:
270016, м.Одеса, вул.Львівська, 15, ОГІМІ.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ОГІМІ.

Автореферат розіслано 24 травня 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Н.С.Лобода

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00777007 (S)

Стефа
України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Як відомо, в сучасності широко практикується умисне скидання продуктів господарчої діяльності людини в різні акваторії Світового океану з метою їх природної утилізації. Причому найбільшого антропогенного впливу зазнає прибережна зона морів та океанів, яка приймає забруднюючі речовини у складі річкових вод, промислових й побутових стоків і безпосередньо з атмосфери. Це призводить до порушення природної екологічної рівноваги, яка існувала у Світовому океані на протязі багатьох тисячоліть. У той же час треба враховувати, що саме прибережні й шельфові райони є найпродуктивнішими зонами Світового океану і містять значну кількість біологічних, енергетичних, мінеральних ресурсів, а також часто є важливими рекреаційними регіонами. Саме тому важливим є вирішення проблеми охорони водних ресурсів від антропогенного забруднення.

Проте в найближчий час скидання стоків у водоймища не може бути припинено. Тому необхідно мати уяву про дію різного роду забруднюючих речовин на оточуюче середовище та виробляти практичні рекомендації по мінімізації збитків, які завдаються природі. Ця актуальна задача може бути вирішена при умові достатньої вивченості процесів функціонування екосистем досліджуваної акваторії моря, що, в свою чергу, передбачає знання динаміки вод, тому що течії є одним із важливих екологічних факторів, які формують середовище проживання рослинного та тваринного світу, через те що з переносом вод пов'язаний перерозподіл енергії та речовини.

У наш час найбільше розповсюдження здобули два основних підходи до дослідження течій: натурні спостереження з подальшим аналізом отриманих даних і математичне моделювання.

Як показують результати досліджень, на основі математичного моделювання цілком можливо проводити вивчення поведінки складних морських систем. Якщо при дослідженні течій ми йдемо саме цим шляхом, то постає питання про сили, що справляють на товщу вод дію, яка є достатньою для того, щоб викликати та підтримувати у ній переміщення водних мас. Як було виявлено при проведенні ряду робіт, визначаючий вплив

на формування течій у мілководних акваторіях, і, зокрема, в північно-західній частині Чорного моря, справляє вітровий вплив на поверхню моря. З чого випливає, що для коректного моделювання динаміки вод у першу чергу необхідно задавати близькі до реальних вітрові умови в найближчому до поверхні водійшого шарі повітря.

Незважаючи на значну різноманітність моделей, які дозволяють отримувати приповерхневі значення швидкості й напрямку вітру, в океанології вони практично не використовуються внаслідок деяких складностей при їх використанні разом із гідродинамічними моделями.

Тому дуже актуальним в розумінні моделювання вітру представляється застосування ймовірнісно-статистичних методів, в першу чергу тому, що вони дозволяють імітувати такі поля вітру та їх мінливість, які по своїм статистичним характеристикам близькі до реальних вітрових умов, що спостерігаються понад конкретною акваторією, і, отже, дають можливість відтворювати модельні гідродинамічні поля ближче до дійсності - порівняльно з тими способами завдання вітру, які використовуються у теперешній час.

Таким чином, метов дисертації є:

розробка ймовірнісно-статистичного метода імітації мінливості полів вітру та дослідження доцільності його застосування для розрахунку режимних гідродинамічних характеристик при вирішенні прикладних задач океанології (на прикладі Одеської затоки й суміжних районів моря). У відповідності до поставленої мети вирішуються такі задачі:

- розробка алгоритму моделювання вітрового режиму за допомогою метода Монте-Карло з використанням архіва режимних характеристик вітру;
- адаптація математичної моделі полів течій і домішку до умов північно-західної частини Чорного моря;
- проведення натурних експериментів з вільно плаваючими індикаторами для параметризації підсіткових гідродинамічних процесів;
- проведення модельних експериментів по розрахунку гідродинамічних полів і полів забруднювача з використанням

режимних характеристик вітру та при завданні мінливості вітрових умов понад північно-західною частиною Чорного моря ймовірно-статистичним методом.

Теоретична і практична цінність. Цінність роботи полягає у створенні архівного масива даних про вітер та його статистики; у можливості розрахунку по згенерованим полям вітру модельним шляхом гідродинамічних полів та полів домішки, а також режимних гідрологічних характеристик у будь-якій точці досліджуваної акваторії; у підвищенні точності при складанні екологічного прогнозу по такому напрямку як якість морських вод в межах регіону досліджень.

Наукова новизна. Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у тому, що: запропонований спосіб ймовірно-статистичного моделювання вітрового режиму, який дозволяє генерувати вітрові умови понад досліджуваною акваторією з використанням статистичних характеристик реального вітру; по результатам натурних експериментів з вільно плаваючими індикаторами уточнений порядок коефіцієнтів вертикального та горизонтального турбулентного обміну.

Апробація роботи. Основні результати роботи докладались на науковій конференції Одеського гідрометеорологічного інституту (1995 р.), наукових семінарах сектора екології Одеського державного університету (1996 р.), Українського наукового центру екології моря (1996 р.), Бюро погоди Чорного та Азовського морів (1996 р.). Повністю дисертаційна робота обговорювалась на розширеному семінарі кафедри океанології ОГМІ, що проводився за участю спеціалістів УкрНЦЕМ, ОДУ та Інституту біології південних морів (1996 р.).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 5 статей.

Обсяг та структура роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновку, списку літератури, та додатку. Загальний обсяг роботи складає 129 сторінок, включаючи 20 малюнків і 7 таблиць. Список літератури на 13 сторінках містить 124 найменування, з яких 30 закордонних. Додаток включає 12 таблиць.

Конкретний особистий внесок дисертанта у розробку наукових результатів, що виносяться на захист. Для акваторії

Одеської затоки та суміжних районів моря автором було розроблено :

методику й алгоритм обробки метеорологічної інформації (спостережень за вітром);

алгоритм моделювання вітрових умов з використанням метода Монте-Карло;

адаптовано модель течій та поширення домішки до умов північно-західної частини Чорного моря.

Методологія та методи досліджень. Використовувалися методи натурних експериментів по визначенню деяких океанологічних параметрів за допомогою вільно плаваючих індикаторів у 1992 році на базі НДС "Прибої" та апарат математичного моделювання вітрових умов, полів течій та домішки.

Зміст роботи

У вступі обгрунтована актуальність дисертації та сформульовані її мета й задачі, наукова новизна й практичне значення. Перелічені отримані результати, які виносяться на закист.

У розділі I розглянуті деякі роботи, які дозволяють отримати загальне уявлення про синоптичний режим Чорного моря та, зокрема, понад його північно-західною частиною. Відмічено, що використовувати наведені у цих роботах дані про вітровий режим у практичному моделюванні можливо лише у вигляді загальних схем. Цим була викликана необхідність доповнення стандартної методики статистичної обробки спостережень за швидкістю та напрямком вітру розрахунком деяких характеристик. Наведені й проаналізовані статистики, отримані за шостирічний період спостережень (1986-1991 рр.) у стандартні строки на метеорологічних станціях "Порт Кужий", "Одеса-Порт" й "Порт Ільчівськ".

Виходячи з загальноприйнятих уявлень про мінливість вітру та приймаючи до уваги відносно невеликі відстані між станціями, треба було б чекати, що різниця поміж значеннями статистичних характеристик, і, отже, різниця у вітрових умовах на цих станціях, будуть незначними. Це підтвердило б правильність припущень, які використовувалися при моделюван-

ні гідродинамічних полів раніше, та дозволило б задавати вітер у межах району, що розглядається, одним вектором. Але, із результатів проведеного дослідження видно, що це не зовсім коректно, тому що в трикутнику Ільчівськ - Одеса - Іжний різниця у вітрових умовах, які спостерігалися на про тяжі періода досліджень, виявилася суттєвою, що проявилось у значеннях усіх режимних характеристик (різниця між значеннями повторюваностей напрямків вітру - до п'яти, між значеннями перехідних ймовірностей напрямків вітру - до двадцяти відсотків). Це викликано взаємодією великомаштабних баричних утворень з орографією району та напрямком бризової циркуляції на різних ділянках узбережжя. При проведенні у прибережній смузі моря досліджень, пов'язаних з вирішенням прикладних задач екології, такого рода інформація набуває важливого змісту.

У сезонному ході режимних характеристик виявлено загальні закономірності, які дозволяють провести розмежування року по вітровим умовам, що спостерігаються, по-перше, на теплу (березень - вересень) та холодну (жовтень - лютий) частини по величинам перехідних ймовірностей, і, по-друге, на п'ять періодів, які, судячи з величини повторюваностей вітрових ситуацій, значно відрізняються один від одного: зимовий - грудень-січень, перехідний від зими до весни - лютий-березень, весняний - квітень-червень, літній - липень-вересень, осінній - жовтень-листопад. Такий поділ стає можливим завдяки особливостям атмосферної циркуляції, які є характерними для кожного з періодів.

У розділі II на базі розрахованих режимних характеристик - повторюваності, перехідної ймовірності, середньої та максимальної безперервної тривалості дії типів вітру по місяцях, стає можливим моделювання змін вітрових умов у часі. У запропонованому способі порядок чередування метеорологічних ситуацій на кожній зі станцій визначається методом Монте-Карло у відповідності з таблицями режимних характеристик. Для моделювання використовується архів вітрових ситуацій, який розглядається як сукупність випадкових величин. Кожний елемент архіву j поданий двозначним кодовим чис-

лом, в якому перша цифра визначає градацію напрямку, а друга - градацію швидкості вітру. Далі, за допомогою метода Монте-Карло послідовно реалізуються два основних етапи: визначення номеру типу вітру й визначення часу дії обраного типу. Кожному елементу масива, який вміщує кодові числа, присвоюється номер від одиниці до N , де N - загальне число типів, на відміну від кодового, воно названо порядковим номером типу. Таблиці повторюваності та перехідної ймовірності складені так, що сума елементів кожного рядка дорівнює одиниці. Елементи рядка обозначаються як p_i , де $i=1, \dots, N$ - порядковий номер типової ситуації. P_i розглядається в якості ймовірності появи у даному місяці ситуації з номером i .

Для визначення номера типу вітру необхідно за допомогою процедури, генеруючої рівномірно розподілені на відрізку $[0,1]$ випадкові числа, отримати число α , потім з нерівності

$$\sum_{k=1}^{i-1} p_k < \alpha \leq \sum_{k=1}^i p_k \quad \text{или} \quad 0 < \alpha - \sum_{k=1}^{i-1} p_k \leq p_i \quad (1)$$

вирахувати порядковий номер типу i , з якого потім визначити код типу.

Після того, як вітрова ситуація обрана, необхідно визначити тривалість її дії. Таблиця тривалості включає для кожної типової ситуації дві характеристики: середню тривалість b та максимальну c . Приймаючи, що тривалість дії метеорологічної ситуації також випадкова величина, процедура її моделювання зводиться до наступного:

$$x = \begin{cases} \sqrt{abc} & , \text{ при } \alpha \leq \frac{b}{c} \\ c - \sqrt{(1-\alpha)(c-b)c} & , \text{ при } \alpha > \frac{b}{c} \end{cases} \quad (2)$$

Розрахована таким чином величина x являє собою безперервну тривалість дії типу вітру у годинах.

Подальше моделювання виконується при допомозі таблиці ймовірностей переходу одного типу в інший. Алгоритм розрахунку номеру нової ситуації використовує процедуру, описану нерівністю (1).

Але, слід відзначити, що використання цієї процедури призводить до того, що частота появи ситуацій з великими значеннями перехідних ймовірностей значно вище частоти гене-

рування ситуацій з малими значеннями цієї величини, які з'являються дуже рідко. У зв'язку з цим, у моделювання зводиться процедура ранжування рядка імовірностей переходу від мінімальних величин до максимальних. Якщо α менша від визначеної експериментальним шляхом величини p_m , яка є деяким порогом малості генерованих випадкових величин, то порядковий номер вітрової ситуації l буде визначатися по співвідношенням

$\alpha \leq p_l, l=1, \dots, N$ при $p_l = p_{min}, \dots, p_{max}$ если $\alpha \leq p_m$, і далі з рівняння $p_l \leq p_l$ визначаємо номер вітрової ситуації l , і далі тип ситуації j .

У відповідності до таблиці перехідних імовірностей можливо повторення номера вже діючого типу. В цьому разі при розрахунку безперервної тривалості враховується весь інтервал часу, за який не змінювався номер типу. Для вітрової ситуації переривається по закінченні інтервалу максимальної безперервної тривалості і подальший номер ситуації знову розраховується з таблиці перехідних імовірностей.

Вищеописані операції виконуються для кожної з обраних метеостанцій у такій послідовності:

- моделюється ситуація j_b на базовій станції B ;
- аналогічна процедура виконується для станції M з отриманням ситуації j_m ;
- з використанням формального параметру K_z визначається можливість появи ситуації j_m на станції M при наявності ситуації j_b на базовій станції; якщо ймовірність такої комбінації більша від нуля ($K_z > 0$), то виконується генерація ситуації для станції $M+1$, якщо $K_z = 0$, то обирається інша j_m .

При виконанні цих дій по вихідним даним для кожної із станцій, у кожний момент часу отримуємо набір векторів вітру, який змінюється у просторі. При необхідності з використанням різноманітних методів екстра- та інтерполяції можливо відновити модельне поле вітру понад районом досліджень.

Так як повторюваність і імовірності переходу вітру були основними вихідними даними при імітації мінливості вітрового режиму описаним способом, то верифікація моделі виконувалася саме по цим параметрам. При верифікації моделі було

з'ясовано, що розподіл цих статистичних характеристик на протязі року й по місяцях відображається моделлю досить близько до реальності (різниця між режимними характеристиками реального та модельного вітру складає у більшості випадків величину до 5%). Іншими словами, при багаторазовому використанні процедури моделювання вітрових ситуацій відновлюється статистична структура, яка закладена у таблицях режимних характеристик. Це, в свою чергу, дозволяє стверджувати, що описаний метод імітації вітрових умов цілком може бути використаний для отримання змінних у часі й неоднорідних у просторі полів вітру при моделюванні полів течій, тому що цей метод дозволяє врахувати основні риси кліматичного режиму та характерних вітрових ситуацій над об'єктом досліджень.

У той же час відомо, що у багатьох випадках при моделюванні течій необхідно апріорно задавати не тільки вітрові умови понад досліджуваною акваторією, але й деяким чином параметризувати коефіцієнти турбулентного обміну. Для отримання достовірних оцінок їх величини у акваторіях, які відзначаються складністю фізико-географічних умов, необхідно використовувати дані натурних експериментів з вимірювання течій. В цьому випадку важливим питанням є планування експерименту. Тому у розділі III наведена розроблена автором комплексна програма, спрямована на дослідження полів течій при допомозі вільно плаваючих індикаторів у мілководних акваторіях, за основу якої прийнята класична схема виконання дифузійного експеримента у прибережній зоні моря, запропонована А.Окубо. У світлі реалізації початкового етапу здійснення цієї програми, влітку та восени 1992 року були виконані експериментальні роботи з вимірів швидкості течій за допомогою вільно плаваючих індикаторів. Роботи виконувалися у Одеській затоці в районі колектора станції очистки вод "Северная" з борту НДС "Прибой" Українського наукового центру екології моря. Автор приймав в цих роботах безпосередню участь. По результатам експериментів було визначено, що:

- 1) оцінки швидкостей течій при швидкостях вітру від 0 до 5 м/с на горизонті один метр змінюються в межах від 4 до 19

см/с, на придонному горизонті від 2 до 6 см/с та в значній мірі визначаються швидкістю вітру й гідрологічною ситуацією в районі робіт. Із зростанням глибини спостерігається правий поворот вектора течії;

2) значення коефіцієнтів вертикального турбулентного обміну по даним спостережень змінюються в межах $10^{-4} - 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$;

3) значення коефіцієнтів горизонтального турбулентного обміну, які оцінювалися за допомогою двох різноманітних підходів у схожих гідрометеорологічних умовах, мають один порядок величини $10^1 \text{ м}^2/\text{с}$.

Таким чином, була підготована необхідна база для реалізації гідродинамічної моделі й виникла проблема обрання такої моделі, яка найкращим чином відповідає б меті дослідження. У розділі IV визначені головні критерії, яким повинна відповідати модель. Це можливість її застосування до фізико-географічних умов району; можливість завдання в якості граничних умов на поверхні моря змінного в часі та неоднорідного в просторі вітру; отримання з її допомогою результатів, які легко інтерпретувати.

Для мілководних Одеської затоки й суміжних акваторій, де руху води носять, в основному, горизонтальний характер, для моделювання полів течій, які виникають при нестационарному вітровому впливі у прибережній зоні, можуть бути використані рівняння теорії мілкої води в двувимірному наближенні. Обрання цих рівнянь відповідає й другій вимозі - наочності отриманих результатів, тому що до розгляду приймається інтегральні потоки рідини, які переносять рівномірно розподілений у товщі води від поверхні до дна консервативний і пасивний домішок нейтральної плавучості. Це дозволяє при досить довгому періоді інтегрування - у нашому випадку 31 доба - отримати результуючі поля забруднюючої речовини. Обриси цих полів, в кінцевому рахунку, визначаються інтегральною циркуляцією, а не різноспрямованими в кожний окремий момент часу у різних шарах рідини векторами швидкостей течій.

Виходячи з вищевикладеного, для проведення чисельних експериментів була використана модель, побудована на основі

рівнянь теорії мілкої води у двувимірному наближенні й доповнена рівнянням переносу консервативних субстанцій:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} = \frac{1}{\rho_w H} (\tau_{ax} - \tau_{bx}), \quad (4)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + fU + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} = \frac{1}{\rho_w H} (\tau_{ay} - \tau_{by}), \quad (5)$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial (HU)}{\partial x} + \frac{\partial (HV)}{\partial y} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial (HC_i)}{\partial t} + \frac{\partial (HC_i)}{\partial x} + \frac{\partial (HC_i)}{\partial y} - K_L \left\{ \frac{\partial (H(\partial C_i / \partial x))}{\partial x} + \frac{\partial (H(\partial C_i / \partial y))}{\partial y} \right\} = 0 \quad (7)$$

де U, V - компоненти вектора \vec{V} середньої по вертикалі швидкості течії по осям x та y ; $H = h + \zeta$ - повна глибина; h - глибина на незбуреній воді; ζ - перевищення рівневої поверхні понад незбуренню; ρ_w - щільність води; $\vec{\tau}_a, \vec{\tau}_b$ - вектори дотичних напруг поверхневого та донного тертя, відповідно; $f = 2\omega \sin\phi$ - параметр Коріоліса; ω - вертикальна складова вектора кутового обертання Землі; ϕ - широта місця; t - час; C_i - концентрація i -го виду забруднювача; K_L - коефіцієнт горизонтального турбулентного обміну, що приймається постійним та, виходячи з результатів досліджень, наведених у розділі III, рівним $10 \text{ м}^2/\text{с}$. Вектор дотичної напруги тертя вітру визначається з формули $\vec{\tau}_a = \rho_a C_d |\vec{W}_a| \vec{W}_a$, де ρ_a - щільність повітря ($\rho_a = 1.25 \text{ кг/м}^3$); \vec{W}_a - вектор швидкості вітру;

$$C_d = \begin{cases} 1.1 \cdot 10^{-3} & \text{при } |\vec{W}_a| \leq 6 \text{ м/с} \\ 10^{-3} (0.61 + 0.063 |\vec{W}_a|) & \text{при } 6 < |\vec{W}_a| < 22 \text{ м/с.} \end{cases}$$

Вектор дотичної напруги донного тертя визначається квадратичним законом опору $\vec{\tau}_b = \rho_w C_H |\vec{V}| \vec{V}$, де $C_H = 2.6 \cdot 10^{-3}$ - коефіцієнт донного тертя.

В якості граничних умов на твердих границях $\Gamma_{ТВ}$ для системи (4-6) ставилася умова непротікання, на рідких границях - умова випромінювання $U_n = \zeta \sqrt{g/H}, \frac{\partial U_t}{\partial z} = 0$. Тут U_n и U_t - відповідно нормальна й тангенціальна до границі складова ве-

ктора швидкості течії, n - одинична зовнішня нормаль до рідкого контуру $\Gamma_{\text{ж}}$. Для рівняння (7) на $\Gamma_{\text{ТВ}}$ задавалася умова відсутності потоку забруднюючої речовини, на $\Gamma_{\text{ж}}$ - адвективно-дифузійний потік домішки, який виноситься через рідку границю $U_n C_i + A_L \partial C / \partial n = Q_0$, й відповідаючий умові $\frac{\partial^2 C}{\partial n^2} = 0$. В початковий момент часу $V(x, y, t_0)$ и $C(x, y, t_0)$ приймалися рівними нулю. У місцях скидання забруднюючої речовини - аванпорти Одеса, Ільчівськ, Іжний - концентрація задавалася незмінною й рівною 1 умовній одиниці. Крок у просторі $\Delta x = \Delta y = 750$ м, у часі $\Delta t = 10$ с. Розміри розрахункової області: 38 км у широтному напрямку (51 вузол сітки), 45 км у меридіональному напрямку (60 вузлів сітки).

Проведено дві серії чисельних експериментів. В першій серії вітер вважався постійним у часі й однорідним у просторі. Розрахунок проводився до моменту встановлення рівноважного режиму для циркуляції й домішки при вітрах трьох градацій по силі (0-5, 5-10, 10-15 м/с) й п'яти градацій по напрямку (ПН, С, ПД, З, ПЗ). В результаті досить тривалої дії вітру (трьох-четверо діб) проходило формування усталених полів течії та домішки. В другій серії чисельних експериментів мінливість полів вітру понад досліджувану акваторію імітувалася з використанням імовірно-статистичного методу, як це описано в розділі II.

Результуючі поля, отримані при використанні відмінних способів завдання вітрового режиму, значно відрізняються як по своїй просторовій структурі, так й по рівню вмісту забруднюючої речовини. Відмічено, що при вирішенні природоскопних задач, наприклад, задач прикладної екології, велике значення має точність прогнозу максимально можливого вмісту забруднюючої речовини на визначених ділянках акваторії. Оскільки при використанні імовірно-статистичного методу завдання вітрового режиму розраховані концентрації забруднювача у окремих точках простору в кілька разів перевищують величини, отримані з використанням традиційного способу розрахунку характерних концентраційних полів, то визначення метода завдання вітру може мати вирішальне значення для результатів екологічної експертизи.

Висновки. При виконанні роботи були отримані такі практичні результати:

1. Проведено дослідження просторової мінливості режимних характеристик вітру за шостирічний період по даним спостережень на прибережних метеорологічних станціях в районі Одеської затоки й прилеглих акваторій моря.

2. Розроблено комплексну програму дослідження течій за допомогою вільно плаваючих індикаторів у прибережній зоні моря. При проведенні в рамках названої програми натурних експериментів у Одеській затоці, на базі оцінок швидкостей руху вільно плаваючих індикаторів параметризовані коефіцієнти вертикального й горизонтального турбулентного обміну.

3. Реалізована й адаптована до умов північно-західної частини Чорного моря гідродинамічна модель.

В ході аналізу отриманих результатів зроблено такі висновки:

1. Розроблено й реалізовано імовіротно-статистичну модель для імітації вітрових умов по даним спостережень на прибережних метеорологічних станціях в межах північно-західної частини Чорного моря.

2. У результаті верифікації імовіротно-статистичної моделі імітації вітрових умов встановлено, що при багаторазовому використанні процедури генерації вітрових ситуацій відновлюється статистична структура, яка закладена у таблицях режимних характеристик. Таким чином, модель дозволяє врахувати основні риси кліматичного режиму й характерних вітрових ситуацій над об'єктом досліджень.

3. Час встановлення типових полів течій у північно-західній частині Чорного моря при однородному вітрі значно перевищує тривалість дії як реальних, так і імітованих імовіротно-статистичним методом вітрових ситуацій. Внаслідок цього поля течій мають вигляд перехідних й розповсюдження домішки у межах досліджуваної акваторії носить випадковий характер.

4. У результаті проведених досліджень встановлено, що при гідродинамічному моделюванні завдання мінливості вітрових умов імовіротно-статистичним методом, а також па-

раметризація підсіткових процесів по даним натурних експериментів, значно впливають на якість екологічного прогноза.

По темі дисертації надруковано такі наукові роботи:

1. Кисиль С.В., Макаринский О.Н., Сурдяев А.И. Оценки коэффициентов горизонтального турбулентного обмена в северо-восточной части экваториально-тропической зоны Тихого океана // *Метеорология, климатология и гидрология*, Т 29. Киев: Лыбидь, 1993. С.24-32.
2. Макаринский О.Н., Кисиль С.В. Комплексный подход к исследованию динамики вод в районе Одесского залива - Деп. в ГНТЕ Украины 21.06.94, Т1217-УК94. 1994. 19с.
3. Макаринский О.Н., Кисиль С.В. К вопросу исследования динамики вод на мелководных акваториях // *Метеорология, климатология и гидрология*, Т 32. Одесса: Мидина, 1995. С.194-207.
4. Макаринский О.Н. К вопросу о статистическом моделировании ветровых ситуаций // *Метеорология, климатология и гидрология*, Т 32. Одесса: Мидина, 1995. С.37-50.
5. Макаринский О.Н., Тучковенко Ю.С. К вопросу об использовании вероятностно-статистического метода имитации изменчивости ветровых условий в задачах прикладной экологии // *Метеорология, климатология и гидрология*, Т 32. Одесса: Мидина, 1995. С.215-224.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

А Н О Т А Ц І Я

Макаринский Олег Николаевич.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД МЕЛКОГО МОРЯ ПРИ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ВЕТРОВЫХ УСЛОВИЙ

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 11.00.08 "океанология". Одесский гидрометеорологический институт. Одесса, 1996.

Предложена вероятностно-статистическая модель, позволяющая имитировать ветровые условия над районом исследований с использованием режимных характеристик реального ветра. Разработана и частично реализована программа проведения комплексного эксперимента по измерению течений и параметризации турбулентных процессов. Продемонстрированы отличия в результирующих полях течений и концентрации загрязняющего вещества при задании ветровых условий на поверхности водоема различными способами.

Mackarinskiy Oleg Nikolaevich

MODELING OF THE SHALLOW SEA WATER CIRCULATION WITH PROBABILICO-STATISTICAL DESCRIPTION OF WIND'S CONDITIONS

The manuscript of the dissertation for the search of the academic degree of geographic sciences the speciality of 11.00.08 "oceanology". Odessa Hydrometeorological Institute. Odessa 1996.

The probabilico-statistical model proposed that imitate wind's conditions over research region with use of real wind regim characteristics. The programme of carrying out complex experiment for measuring of currents and parametrization of turbulent processes worked out and partially realized. Differences in resulting field's of currents and pollutants demonstrated with set of wind's condition on reservoir's surfase different ways.

Ключові слова: імовірностно-статистичний, моделювання, імітація, вітер, турбулентність, течія, забруднюючий, домішок.

Подп.к печати 23.05.96г. Формат 60x84 1/16.

Об"ем 0,7уч.изд.л. 1, Оп.л. Заказ N 358 2.Тираж 100экз.

Гортипография Одесского управления по печати.цехN3.

Ришельевская49.

SEE H&A

11/17/11

AB 34.993

AB 34.993