УДК 556.166
КП ХХХХХХ
№ держреєстрації 0109U004793
Інв.№

Міністерство освіти і науки України
Одеський державний екологічний університет
(ОДЕКУ)
65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15
тел. (0482) 63-62-09

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. ректора ОДЕКУ

_____Сербов М.Г.
2009.12.01

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
ОЦІНКА НАПОВНЕННЯ ХАДЖИБЕЙСЬКОГО ЛИМАНУ ПОВЕРХНЕВИМИ ВОДАМИ ТА ДОВГОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ЙОГО СТАНУ У ВЕСНЯНИЙ ПЕРІОД РОКУ

(заключний)

Керівник НДР
д.г.н., проф.,
академік АН ВШ Гопченко Є.Д.

2009.12.01

2009

Рукопис закінчено 15 листопада 2009 р.
Результати цієї роботи розглянуто Науково-технічною радою ОДЕКУ
протокол від 2009.11.26 №4

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник доктор географічних наук, професор, академік АН Вищої школи	2009.12.01	Є.Гопченко (вступ, розд.2.1,2.2,6.1,6.2.1,7.2, висновки)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	2009.12.01	Ж. Шакірзанова (вступ, розд.1.5.1,3,5.5,5.6,6.2.2,6.2.3, 6.2.4, 6.4,6.5,7.1,висновки)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	2009.12.01	М. Сербов (розд.1.5)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	2009.12.01	О. Гриб (розд.1.4,1.5,4.1)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	2009.12.01	М. Романчук (розд.2.2.1,4.2,5.4,6.3)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	2009.12.01	Є. Бояринцев (розд.1.5)
Молодший науковий співробітник	2009.12.01	П. Терновий (розд.1.5)
Молодший науковий співробітник	2009.12.01	І. Будкіна (розд. 5.2, 5.3)
Молодший науковий співробітник	2009.12.01	Ю. Медведєва (розд.1.5.3,5.2,7.1.5,7.1.6)
Провідний інженер	2009.12.01	С. Павленко (розд.5.1)
Провідний інженер	2009.12.01	Л. Басанець (розд.1.1,1.2,1.3)
Нормоконтролер		О. Іванова

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 158с., 38 рис., 38 табл., 34 джерел.

Об’єкт дослідження – Хаджибейський лиман.

Мета роботи – розробити методику довгострокового прогнозування надходження води до Хаджибейського лиману у весняний період року.

Методи дослідження - теоретичний аналіз гідрологічних процесів і явищ, статистична обробка гідрологічних і метеорологічних характеристик, географічне узагальнення базових та прогнозних гідрометеорологічних величин.

Результати і новизна – вперше для лиману Хаджибей розроблена методика довгострокового прогнозування надходження тало-дощових вод у період весняного водопілля.

Основні конструкторські, технологічні і техніко-експлуатаційні характеристики і показники – вперше для Хаджибейського лиману обґрунтована і реалізована методика довгострокового прогнозування надходження поверхневих вод під час весняного водопілля, а також ймовірності повторюваності водопіль у багаторічному розрізі.

Ступінь впровадження - науково-обґрунтовані рекомендації щодо довгострокового прогнозування максимального стоку у весняний період року будуть надані замовнику - Біляївській державній районній адміністрації, Управлінню екології та природних ресурсів в Одеській області, а також до відділу гідрологічних прогнозів Гідрометцентру Чорного та Азовського морів з метою використання методики в оперативній практиці.

Зв'язок з іншими роботами - науково-методична база узагальнює наявний досвід Одеського державного екологічного університету в галузі розрахунків і прогнозів максимального стоку весняного водопілля річок.

Рекомендації по використанню результатів роботи - методика пропонується для практичного використання при складанні прогнозів підвищення рівнів води на Хаджибейському лимані та визначення їх забезпеченості у багаторічному розрізі.

Галузь використання – обслуговування господарських установ і органів регіонального самоврядування.

Значущість роботи і висновки - методика дає можливість визначити ступінь наповнення лиману Хаджибей поверхневими водами під час весняних водопіль на основі запропонованого методу територіального довгострокового прогнозу шарів стоку в басейні лиману.

Пропозиції щодо подальшого розвитку дослідження - Доцільним є проведення подальших досліджень. У зв’язку з припиненням скидів СБО «Північна» необхідно здійснити оцінку можливого стану водно-сольового режиму Хаджибейського лиману.

ВОДНИЙ БАЛАНС, ХАДЖИБЕЙСЬКИЙ ЛИМАН, РІВНІ ВОДИ, ВЕСНЯНЕ ВОДОПІЛЛЯ, ДОВГОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ

Умови отримання звіту: за договором. 67600, Одеська обл., м. Біляївка, пр. Жовтневої революції, 11, Біляївська районна державна адміністрація.

ЗМІСТ

Вступ..... 8

1 Коротка фізико-географічна характеристика басейну Хаджибейського лиману…… 11

1.1 Географічне положення, рельєф і морфометрична характеристика лиману……. 11

1.2 Ґрунтовий і рослинний покрив…… 12

1.3 Кліматична характеристика……. 13

1.4 Дослідження водного режиму Хаджибейського лиману……. 18

1.5 Експедиційні Хаджибейського лиману……. 22

1.5.1 Підготовка та виконання батиметричної зйомки…… 23

1.5.2 Камеральна обробка результатів батиметричної зйомки…….. 27

1.5.3 Короткі відомості про фізико-хімічні властивості водойми……. 35

2 Науково-методична база по розрахунках характеристик максимального стоку водопіль і паводків…….. 40

2.1 Нормативний документ СНіП 2.01.14-83…….. 40

2.2 Теоретичне обґрунтування бази для нормування характеристик максимального стоку паводків і водопіль…… 43

2.2.1 Визначення шарів стоку під час весняного водопілля…….. 44

2.2.2 Визначення шарів стоку дощових паводків……... 46

3 Науково-методична база складання довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля для оцінки наповнення Хаджибейського лиману……..... 49

3.1 Загальні положення про визначення припливу води до водоймищ.. 49

3.2 Метод довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля річок……. 50

3.2.1 Основні положення методу прогнозів шарів весняного стоку……. 50

3.2.2 Визначення прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля……. 52

3.2.3 Визначення забезпеченості прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля…… 52

3.2.4 Просторове представлення прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля…… 52

3.2.5 Оцінка якості методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля…….. 53

4 Збір та статистична обробка вихідної гідрометеорологічної інформації та її узагальнення по басейну Хаджибейського лиману……. 55

4.1 Склад і період спостережень ……. 55

4.2 Статистична обробка та узагальнення характеристик весняного водопілля…… 59

5 Розробка методики прогнозування шарів стоку весняного водопілля на річках Причорноморської низовини з використанням моделі дискримінантної функції…….. 66

5.1 Основні фактори весняного водопілля та їх визначення…….. 66
5.2 Побудова прогнозних залежностей шарів стоку водопілля на річках 72
5.3 Оцінка якості розробленої методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля…….. 79
5.4 Встановлення забезпеченості прогнозних величин шарів стоку водопілля…… 81
5.5 Просторове представлення модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля та ймовірності їх настання…… 83
5.5.1 Побудова карт модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля та їх забезпеченості при наявності гідрологічних спостережень у регіоні……. 83
5.5.2 Обґрунтування карт модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля та їх забезпеченості при недостатній кількості або відсутності гідрологічних спостережень у регіоні…….. 84
5.6 Адаптація прогнозної моделі для складання оперативних просторових довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля на річках Причорноморської низовини…….. 85
5.6.1 Аналіз умов формування весняного водопілля у 2006 р…….. 85
5.6.2 Складання бази даних при оперативному прогнозуванні шарів стоку весняного водопілля…….. 86
5.6.3. Оперативна практика складання просторових довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля при наявності та відсутності даних гідрометеорологічних спостережень на річках півдня України. 90
5.6.4 Схема складання прогнозу шарів стоку весняного водопілля при наявності карт очікуваних модульних коефіцієнтів шарів весняного стоку та їх ймовірності…….. 105
6 Розробка методики прогнозу строків проходження весняних водопіль в басейнах річок Причорноморської низовини……. 111
6.1 Сучасний стан прогнозування строків проходження водопілля …… 111
6.2 Метод територіального прогнозу строків весняного водопілля на основі метеорологічного прогнозу температури повітря…… 112
6.2.1 Науково-методичні основи методу прогнозу строків проходження весняного водопілля…….. 112
6.2.2 Методика встановлення забезпеченості очікуваних строків весняного водопілля…… 114
6.2.3 Форма представлення прогнозних дат проходження весняного водопілля……. 115
6.2.4 Оцінка методики прогнозу термінів проходження весняного водопілля…… 116
6.3 Статистична обробка рядів дат початку, максимальних витрат води водопілля та дат максимальних запасів води в сніговому покриві…….. 117
6.4 Розробка методики прогнозу строків проходження весняних водопіль в басейнах річок Причорноморської низовини…….. 118
6.4.1 Аналіз вихідної інформації для прогнозування строків проходження водопілля ……. 118

6.4.2 Прогноз дат початку весняного водопілля……. 118
6.4.3 Прогноз дат максимальних витрат води весняного водопілля …… 120
6.4.4 Оцінка методики прогнозу термінів проходження весняного водопілля…… 121
6.4.5 Встановлення забезпеченості очікуваних строків весняного водопілля та форма представлення прогнозних дат проходження весняного водопілля……. 125
6.5 Порядок складання прогнозу строків проходження весняного водопілля в басейні Хаджибейського лиману……. 125
6.5.1 Порядок складання прогнозу дат початку весняного водопілля…. 125
6.5.2 Порядок складання прогнозу дат проходження максимальних рівнів води весняного водопілля……... 130
7 Розробка розрахункової схеми для оцінки наповнення Хаджибейського лиману при прогнозуванні поверхневого припливу води в період весняного водопілля……. 134
7.1 Адаптація прогнозної моделі до умов функціонування Хаджибейського лиману при його наповненні у весняний період року…. 134
7.1.1 Створення бази вихідної інформації для басейну Хаджибейського лиману при розрахунку припливу весняних вод……. 135
7.1.2 Визначення тривалості проходження водопілля в лимані на основі прогнозних строків початку водопілля……. 136
7.1.3 Складання прогнозу шарів стоку весняного водопілля та ймовірності його настання для басейну лиману Хаджибей……. 137
7.1.4 Оцінка ймовірності настання (забезпеченості) прогнозних строків водопілля та шарів весняного стоку у багаторічному розрізі…… 138
7.1.5 Визначення припливу тало-дощових вод до Хаджибейського лиману у весняний період року…… 138
7.1.6 Визначення припливу тало-дощових вод до Хаджибейського лиману у весняний період року при роботі насосної станції каналу «лиман-море»……. 141
7.2 Метод визначення весняних водопіль і дощових паводків виняткової ймовірності перевищення…… 142
7.2.1 Розрахункові характеристики весняного водопілля забезпеченістю P=1%..... 142
7.2.2 Розрахункові характеристики дощових паводків забезпеченістю P=1%..... 146
Висновки…… 152
Перелік посилань……. 156

ВСТУП

Характерною особливістю останніх років у зв’язку з глобальним потеплінням клімату у різних частинах світу, у тому числі й в окремих регіонах України стають катастрофічно високі паводки дощового і змішаного походження. Велику загрозу поверхневий стік представляє для замкнених водойм, до категорії яких у межах м. Одеси відносяться лимани Хаджибей і Куяльник.

У зв'язку з суттєвим підвищенням рівнів води у Хаджибейському лимані в періоди весняних водопіль постає загроза переливу тало-дощової складової через дамбу, яка відокремлює лиман від моря, і затоплення населення і підприємств значної частини м. Одеси - району Пересипу весняними водами, особливо у багатоводні роки, зокрема, як це було навесні 2003 р. Тому взагалі для лиманів замкненого типу Одеської області розрахунки і прогнози характеристик весняного водопілля мають винятково важливе значення. Однак, в межах області практично відсутня гідрологічна мережа спостережень, тому методична база прогнозування елементів весняного водопілля недостатньо розроблена. Не здійснюється також і оцінка повторюваності прогнозних величин у багаторічному розрізі.

Об’єкти дослідження та стан проблеми. Хаджибейський лиман – найбільш великий із закритих одеських лиманів, який утворився в результаті затоплення морем гирлової ділянки річки Малий Куяльник при опусканні приморської полоси суші. Подальші геоморфологічні процеси, пов’язані з вдовж-береговими потоками наносів, вітряно - хвильовою діяльністю, призвели до відокремлення лиману від моря широкою чотирикілометровим піщаним пересипом, по якому прокладений канал для скидання води в море. Рівні води в лимані на той час, відповідали рівню моря через наявність гідравлічного зв’язку лиману з морем.

У зв’язку з інтенсивним скиданням трансформованих стічних вод зі станції біологічного очищення «Північна» м. Одеси рівень води у лимані досяг критичної позначки, яка на 2.2 м перевищила рівень моря.

Території, які прилягають до лиману (за стометровою охоронною межею), зайняті сільськогосподарськими угіддями, населеними пунктами, промисловими об’єктами; транспортна магістраль розташована у безпосередній близькості до берегової лінії. Тому ситуація створює небезпеку переливу води через дамбу, яка знаходиться у небезпечному стані, та затоплення цих територій.

Можливості каналу «лиман –море», який прокладений в тілі дамби, регулювати рівневий режим, обмежені у зв’язку з тим, що не вирішене питання постійного виводу стічних вод СБО «Північна» м. Одеси у море, відповідно до санітарних норм і правил. Для усунення загрози затоплення Пересипу в Укр-Південгіпроводгоспі розроблений проект реконструкції дамби-дороги Хаджибейського лиману, що передбачає зниження рівня води, у тому числі й за рахунок повного припинення скидів стічних вод м. Одеси до лиману. Але до сьогодні рівні води в лимані залишаються на високих позначках і майже щовесни

ситуація на Хаджибейському лимані стає предметом особливої уваги одеської влади й засобів масової інформації.

Мета дослідження. Розробити методику можливого наповнення Хаджибейського лиману у весняний період року на основі довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля в басейні лиману. Це дасть можливість об‘єктивно оцінити ступінь регулювання поверхневих вод ємністю водойми лиману Хаджибей, особливо під час проходження катастрофічно високих весняних водопіль на річках басейну лиману.

Вихідні матеріали. Для розробки методики прогнозу шарів стоку весняного водопілля необхідно здійснити збір вихідної гідрометеорологічної інформації в басейнах річок всього причорноморського регіону. Це дані про характеристики весняного водопілля **(**тут слід зауважити, що стокові ряди річок Причорноморської низовини неповні та обмежуються 1986-1988 роками, а на р. Малий Куяльник спостереження за гідрологічним режимом зовсім не відбуваються), а також метеорологічні та агрометеорологічні дані про снігозапаси, опади, глибини промерзання та вологість ґрунтів, температури повітря осінньозимового та весняного періодів.

По отриманих середньобагаторічних гідрометеорологічних даних, а також морфометричних та басейнових характеристиках складено таблицю базової вихідної інформації для розробки методики прогнозу максимального стоку весняного водопілля в басейнах річок Причорноморської низовини. За отриманою вихідною інформацією було створено комп’ютерну базу вихідних даних, яку покладено в основу розробки методики прогнозу шарів стоку весняного водопілля в межах розглядуваної території.

З метою обґрунтування розрахункової схеми наповнення Хаджибейського лиману весняними водами в межах науково-дослідної розробки виконані також експедиційні дослідження для оцінки сучасного стану морфометричних характеристик чаші водойми лиману Хаджибей.

Методи досліджень. Використано теоретичний аналіз гідрологічних процесів і явищ, статистична обробка гідрологічних характеристик, географічне узагальнення гідрометеорологічних величин.

Розробка наукової методики прогнозу шарів стоку весняного водопілля обґрунтована по даних багаторічних стокових і метеорологічних спостережень у басейнах річок, в даному випадку - річок Причорноморської низовини, в межах якої розташований басейн Хаджибейського лиману. Так як для річок Причорноморської низовини стокові ряди спостережень часто не повні і обмежені за періодом, для розробки методики прогнозування шарів весняного стоку були залучені і деякі річки, розташовані на території півдня України, які мають тривалі стокові ряди вимірювань. Просторове узагальнення прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля, яке входить складовою частиною до прогнозної схеми, дозволить отримувати очікувані величини шарів весняного припливу води, у тому числі й у басейні лиману Хаджибей.

Крім того, не менш важливою задачею при оцінці наповнення водойми і можливого переливу у багатоводні весни дамби Хаджибейського лиману є про-

гноз строків початку розвитку весняного припливу тало-дощових вод до річкової мережі і проходження максимальних рівнів води під час весняного періоду.

Автори проекту виражають подяку директору інституту «Укрпівдендіпроводгосп» Миколі Федоровичу Решетнікову за надані консультації по питаннях сучасного стану водного режиму і ступеня господарського використання Хаджибейського лиману.

1 КОРОТКА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ ХАДЖИБЕЙСЬКОГО ЛИМАНУ

1.1 Географічне положення, рельєф і морфометрична характеристика лиману

Хаджибейський лиман належить до найбільш великих водойм Північного Причорномор'я (рис. 1.1). Він розташований на Одеській рівнині, в межах Одеського приморського району південної степової підзони, відповідно до фізико-географічного районування [1]. По характеру рельєфу район має плоску, слабко розчленовану хвилясту поверхню, яка понижується в сторону моря. Глибина яружної мережі не перевищує 50 м, густота 0.25-0.5 км на 1 км^2. Плоскі лесові тераси, розташовані в межах водозбору лиману представлені іноді подами і степовими блюдцями. Акумулятивні форми рельєфу розвинені лише в місцях впадіння річкових долин у море, які утворюють характерні лиманно-морські акумуляційні формування – пересипі і коси [2]. Тут розвинута еолова морфоструктура у вигляді дюн (кучугурів), дефляційними котловинами.

Хаджибейський лиман є замкненою водоймою. Час відділення лиману від моря відноситься до кінця XIX ст. Лиман розташований у районі м.Одеси (долина р. Малий Куяльник). Довжина його за даними різних джерел [3, 4, 5] складає 33-40 км, ширина 0.5 – 3.5 км, середня глибина – близько 4-5 м, максимальна – до 13-17 м в середній частині лиману. Площа водного дзеркала змінюється в широких межах, середнє її значення близько до 86 км^2, об'єм води при цьому становить близько 750 млн.м^3, площа водозбору – близько 2.5 – 2.7 тис. км^2. Водойма витягнута у північно-західному напрямку при перпендикулярності вісі лиману до берегової лінії моря. Лиман має звивистість берегової лінії, невелику ширину відносно його довжини, крутий правий берег і більш пологий - лівий, велику кількість кос, балок, ярів. Північна частина його найбільш мілководна і поступово переходить у долину річки; у міру наближення до моря глибина у водоймі зростає [2, 3].

Від моря Хаджибейський лиман відділений пересипом шириною близько 4.5 км, а довжиною – 7 км [2,3]. «Наявність дамби в південній частині лиману забезпечує підтримку його рівня вище рівня моря, у результаті чого відбувається постійна фільтрація лиманних вод через пересип і підтоплення земель за межами дамби» [3].

Дно лиману представлено пісками, які розташовані у верхів'ях і вузькою смугою вздовж берегів та заповнене багатометровою товщею відкладень у вигляді піщаних і глинистих ілів по направленню до глибоководних ділянок. Останні зустрічається й до найбільших глибин, і, звичайно, в різній мірі мають запах сірководню.

Більшість річок Причорноморської низовини, в межах якої велася розробка методики довгострокового прогнозування шарів стоку весняного водопілля, і ти, що живлять лиман, мають добре розроблені й глибоко врізані в корінні породи долини, у своїй нижній течії заповнені солоними озерами - лиманами.

Рисунок 1.1 – Географічне положення Хаджибейського лиману

Річки відрізняються малою звивистістю, у верхів'ях V - образні, шириною 0.5 - 1 км. Характерною рисою є яскраво виражена асиметрія схилів. Правий берег завжди вище (50 - 90 м) і крутіше, чим лівий, уздовж якого розташовуються тераси. Більше високий схил відрізняється більшою ізрізаністю численними короткими ярами. Уздовж корінних берегів річок спостерігаються тераси, що займають верхню частину схилів долини шириною до 1.5 км. Поверхня їх рівна, згладжена. Особливо добре вони виражені на правих берегах Тилігула та Малого Куяльнику [6].

1.2 Ґрунтовий і рослинний покрив

У районі Хаджибейського лиману поширені чорноземи південні малогумусові й південні солонцюваті. Вміст гумусу в цих ґрунтах незначний і не пе-

ревищує 3.7-3.9 % при міцності гумусового горизонту 55-75 см. Залишкова фізична солонцюватість обумовлює послаблення аерації, зниження водопроникності, утворення кірки, ущільнення в сухому стані й набрякання у вологому, що утрудняє обробку ґрунту [1].

Уздовж узбережжя моря вузьку смугу займають темно-каштанові ґрунти. Вони сформувалися під незамкнутою рослинністю сухого степу в умовах жаркого літа, сухої теплої осені й помірно теплої вологої зими. Основну частину темно-каштанових ґрунтів становлять слабко- й середньосолонцюваті на лесах, незначну - солонцюваті ґрунти на глинах. У солонцюватих ґрунтах поглинений натрій утримується в незначній кількості, що говорить про реліктову солонцюватість цих ґрунтів. Міцність їхнього гумусового шару складає 50-65 см при вмісті гумусу 2.1-3.5 %. Ці ґрунти мають розпиленість верхніх горизонтів і щільність середніх, що призводить до їх набрякання при підвищенні вологості і сильному розтріскуванні у сухому стані.

Долина самого лиману складена неогеновими і четвертинними відкладеннями, а схили її зайняті вапняковими, глинистими і піщано-глинистими відкладеннями.

Рослинний покрив району досліджень, розташований в межах південного степу, в минулому був представлений типчаково-ковильними видами травостою та степних кущів [1]. Ще на початку 20-х рр. минулого сторіччя на схилах Хаджибейського лиману були розповсюджені чагарникові види клена татарського, дикої груші, береста.

У теперішній час при розвитку землеробства, більша частина територій розорана. Степова рослинність зустрічається у вигляді типчака і овсяниці, а з різнотрав'я панує полинь австрійська, молочай Сегюєра, ромашник, деревій, жовтець, цикорій, дельфиніум, люцерна жовта та ін. Подекуди зустрічаються кущі шипшини, дерези й бобовника. Такі рослини, як леонтиця Одеська, горицвіт весняний, пролісок звичайний, дикі тюльпани, шафран сітчастий та ін., а також всі види ковилів занесені до «Червоної книги» Одеської області.

З метою захисту земель від ерозії, суховіїв, а доріг від снігових заносів, а також для рекреації в межах Одеси та області широко розвинені заходи по насадженню лісосмуг та деревостою у вигляді гаїв та парків, які представлені різними видами дубу, клену, ясенем, в’язом, грецьким горіхом, плодовими та деякими породами кущів [1].

1.3 Кліматична характеристика

На формування типових рис клімату розглядуваної території північного Причорномор’я, в межах якої знаходиться басейн Хаджибейського лиману, впливають сонячна радіація, циркуляція атмосфери та місцеві фізико-географічні умови. Так, безпосередня близькість Чорного моря обумовлює утворення помірно континентального клімату з недостатнім зволоженням, короткою м’якою зимою і тривалим літнім періодом з жаркою і сухою погодою. Слід зазначити, що на місцевий клімат впливають крім моря, ще й лимани та

дельти річок. У прибережній смузі, межі якої для лиманів проходять на відстані 0.2-0.5 км від берегу, зменшуються добові й річні амплітуди коливань температури, хмарності й кількості опадів. При цьому спостерігається збільшення вологості повітря, число годин сонячного сяйва, сумарної радіації [2].

Температурний режим у холодний період року обумовлений характером загальної циркуляції атмосфери, у теплий період – місцевої циркуляції і радіаційного балансу.

Величини сумарної радіації за рік становлять порядку 4900 мДж/м^2 на півдні району, а на півночі – близько 4200 мДж/м^2. Спостерігаються сезонні зміни сумарної сонячної радіації при максимумі у червні - липні (2000 – 2100 мДж/м^2), а мінімумі - у грудні (близько 80 мДж/м^2). Радіаційний баланс протягом року позитивний і становить улітку 950-1150 мДж/м^2, а взимку - 0 – 50 мДж/м^2 [2].

З атмосферними фронтами пов'язана циклонічна і антициклонічна діяльність. Вона залежить від різниці термічних умов між сушею і морем та має чітко виражений сезонний характер. Так, циклони приносять хмарну погоду, дощову прохолодну влітку і більш теплу і сніжну - узимку. При надходженні антициклонів на території встановлюється ясна, бездощова і тепла погода, іноді спекотна влітку.

У холодний період року істотну роль відіграють циркуляційні процеси. У результаті циркуляції відбувається часта зміна повітряних мас, внаслідок чого температура холодного сезону відрізняється значною нестійкістю. У літній період циклонічна діяльність загасає, температура стає більше стійкою.

Середньомісячні температури повітря восени на 20-25% вище весняних. Середні літні температури складають 22.2 – 23.7 °С, а максимум може досягати 36 °С у липні-серпні. Самий холодний місяць року - січень.

Зима на розглядуваній території не холодна та відзначається нестійкою погодою. Початок зими пов'язаний зі стійким переходом середньодобової температури повітря нижче 0 ^{0}С – наприкінці листопада - початку грудня. Відмінною рисою зимового періоду є часті відлиги. Число днів з відлигою тут становить 56-60 днів.

Для характеристики процесів весняного сніготанення й умов формування водного режиму велике значення мають строки початку весняного періоду. Весна починається з переходом температури повітря через 0 °С і руйнуванням стійкого снігового покриву – наприкінці лютого або у першій половині березня. Для весни характерна нестійка погода – в березні іноді повертається холод (до -5 ^{0}С), який змінюється потеплінням, що впливає на хід сніготанення.

Літо наступає в другій, третій декаді травня. Осінній перехід середньої добової температури повітря через 5 °С відбувається в першій декаді листопада. Ця пора року відзначається нестійкою погодою. Перша половина осені характеризується ясною та теплою погодою, невеликою кількістю опадів, в другій половині переважає хмарна та прохолодна погода з великою кількістю атмосферних опадів. Найбільш різке зниження температури відбувається у грудні.

В роботі оцінена багаторічна зміна характеристик зимово-весняного сезону – середньомісячних температур повітря лютого і березня у зв’язку з загаль-

ною тенденцією підвищення глобальної і регіональної температури повітря у останні роки. За даними метеорологічної станції Любашівка, яка є близько розташованою до басейну р. Малий Куяльник і відповідно впливає на режим Хаджибейського лиману, були побудовані хронологічні графіки у вигляді трирічних ковзних середньомісячних температур повітря у лютому (рис.1.2) та березні (рис.1.3) за багаторічний період спостережень (1947-2009 рр.). Графіки показують наявність позитивної тенденції до підвищення середніх за місяць температур повітря в лютому та березні.

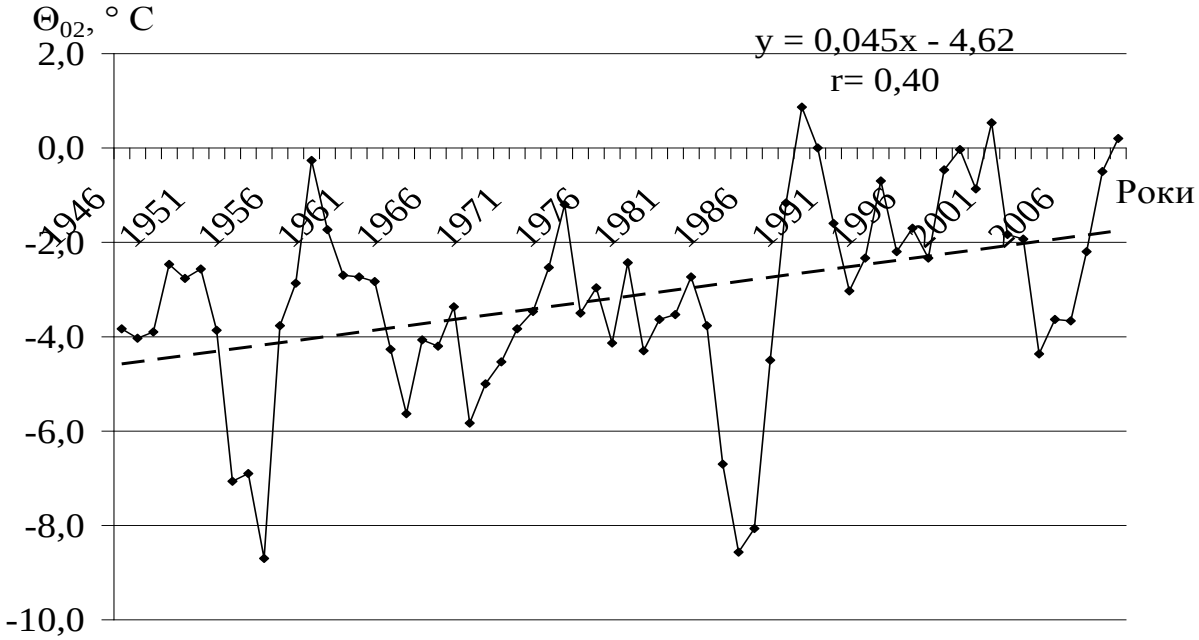


Рисунок 1.2 – Хронологічний багаторічний хід (у вигляді трирічних ковзних) середньомісячних температур повітря у лютому місяці (ст. Любашівка)

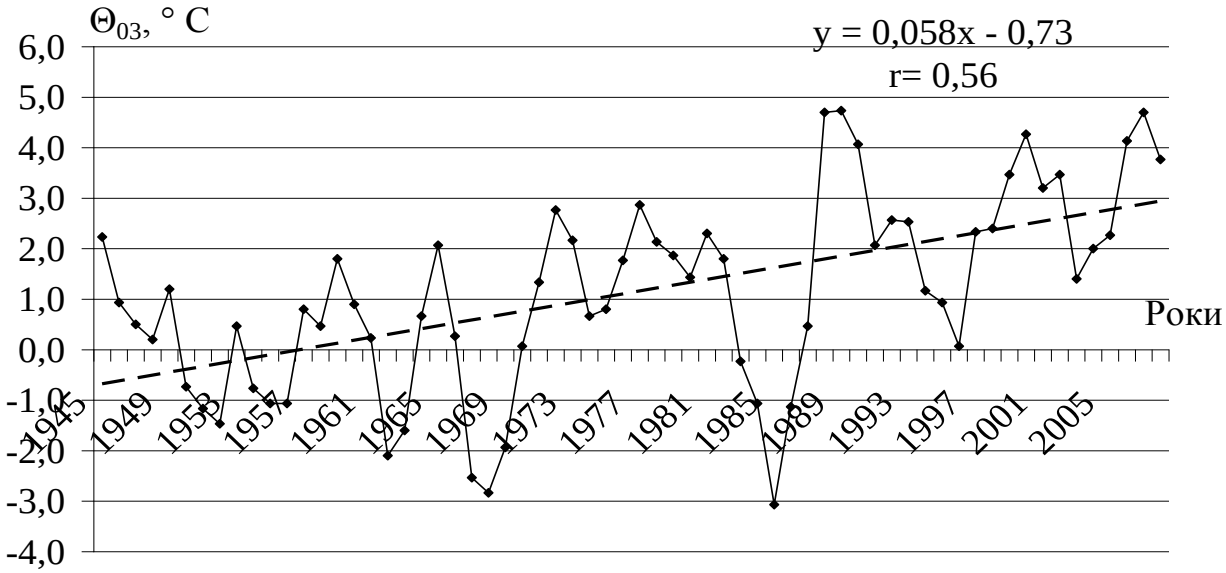


Рисунок 1.3 – Хронологічний багаторічний хід (у вигляді трирічних ковзних) середньомісячних температур повітря у березні місяці (ст. Любашівка)

Одним з найважливіших елементів формування гідрологічного режиму є опади. Опадів у регіоні випадає порівняно небагато (320 – 500 мм). Найменші їх значення спостерігаються в районах, близьких до моря – 125 мм в холодний і до 250 мм - у теплий період року. Багаторічний хід річних сум опадів по метеостанції Одеса вказує на наявність тенденції до збільшення опадів за період до 2008 р.(рис.1.4)

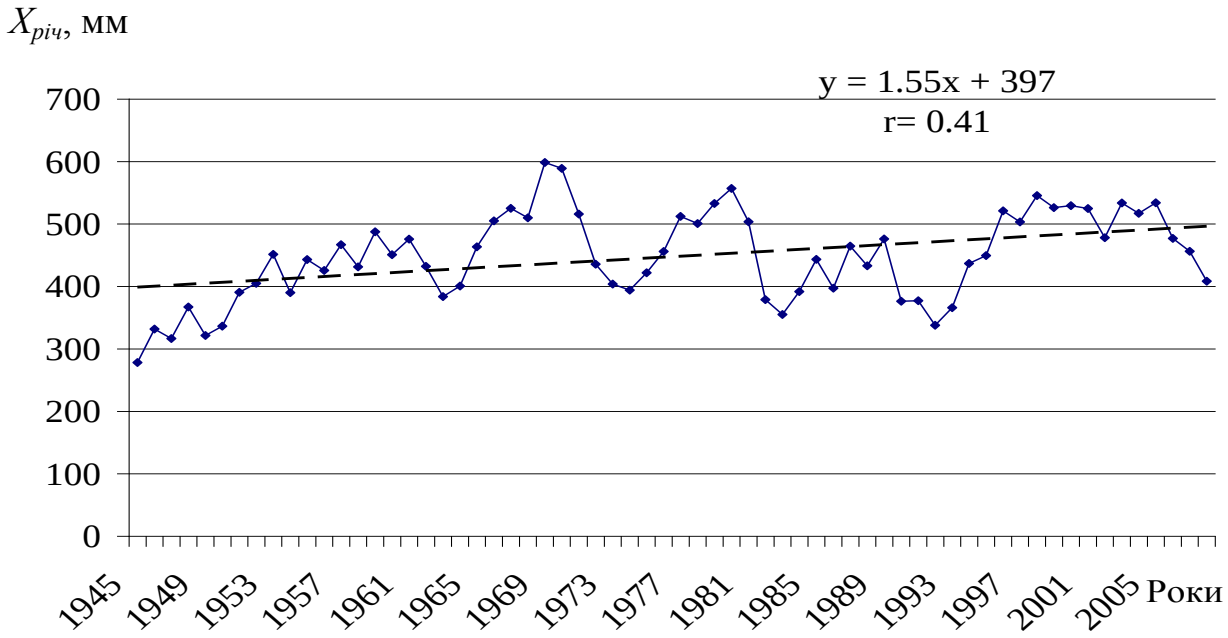


Рисунок 1.4 – Хронологічний багаторічний хід (у вигляді трирічних ковзних) річних сум опадів (ст. Одеса)

Запас води у сніговому покриві в основному визначає запаси води в басейнах річок і майбутній об'єм весняного водопілля. Дата появи снігового покриву припадає на кінець листопада – середину грудня. Тривалість снігового покриву становить 1 – 1.5 місяці. Висота його розподілена нерівномірно. При просуванні до півдня зменшується від 30 до 10 см. До початку весняного сніготанення найбільша висота на півдні становить 3 - 5 см. Тривалість сніготанення на півдні степу дорівнює 15 - 20 днів, на узбережжі Чорного моря – 10 - 15 днів. Середній з максимальних снігозапасів відмічається наприкінці лютого і складає на досліджуваній території 20-30 мм.

Сніговий покрив із-за частих відлиг нестійкий. Відлиги супроводжуються сніготаненням, випадінням дощу та снігу, туманами, ожеледицею і призводять до перерозподілу снігу на водозборах. Іноді відлиги бувають настільки тривалими й інтенсивними, що приводять до повного сходу снігового покриву.

За часовими рядами даних (1945-2009 рр.) про максимальні снігозапаси побудовані хронологічні графіки у вигляді трирічних ковзних (рис.1.5) по станції Любашівка. Виявлено, що при глобальному підвищенні температури повітря, яке припадає на 80-ті роки минулого сторіччя та особливо відчутне в зимово-весняні місяці [7], максимальні запаси води в сніговому покриві не мають будь-якої відчутної тенденції до їх зміни за багаторічний період.

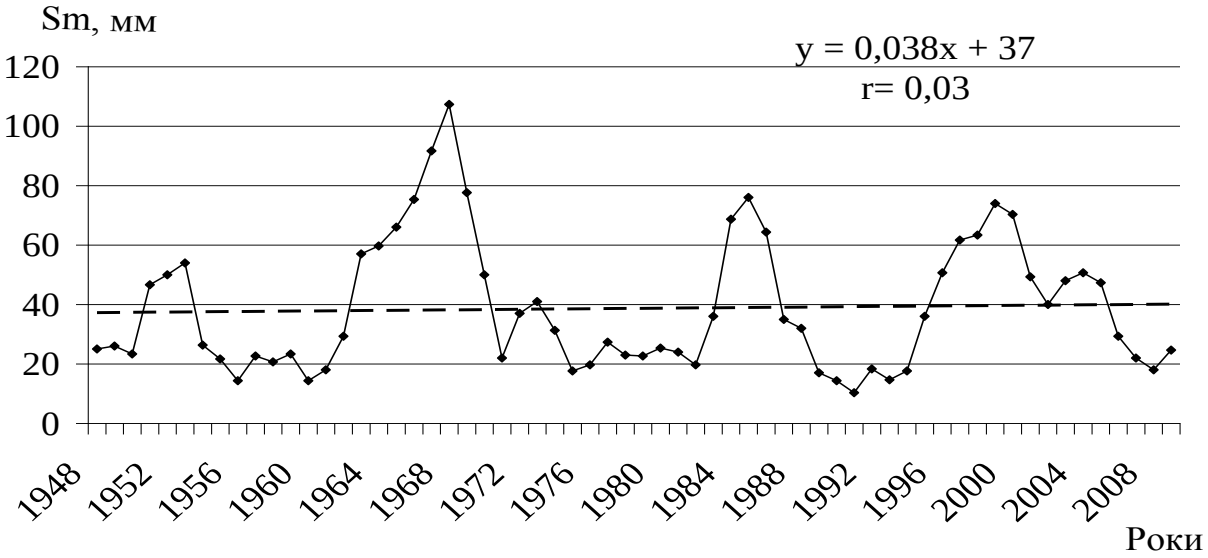


Рисунок 1.5 – Хронологічний багаторічний хід (у вигляді трирічних ковзних) значень максимальних запасів води в сніговому покриві (ст. Любашівка)

Глибина промерзання ґрунтів є одним з показників інфільтраційної спроможності ґрунтів під час формування і розвитку весняного водопілля. Глибина промерзання визначається тривалістю морозного періоду і мінімальними негативними значеннями температури. На розглядуваній території промерзання можливе вже в листопаді. У січні й лютому середня глибина промерзання досягає найбільших значень – в середньому 30-35 см, при максимумі - до 70 см. Відтавання найчастіше починається в березні, після сходу снігового покриву.

При глобальному підвищенні температури повітря змінюється і глибина промерзання ґрунтів. Отримані хронологічні графіки максимальних, перед весною глибин промерзання ґрунтів (у вигляді трирічних ковзних), за даними багаторічних спостережень (1958-2010 рр.) на станції Любашівка (рис.1.6). Графіки показують наявність тенденції до зменшення за багаторічний період максимальних глибин промерзання ґрунтів на водозборах.

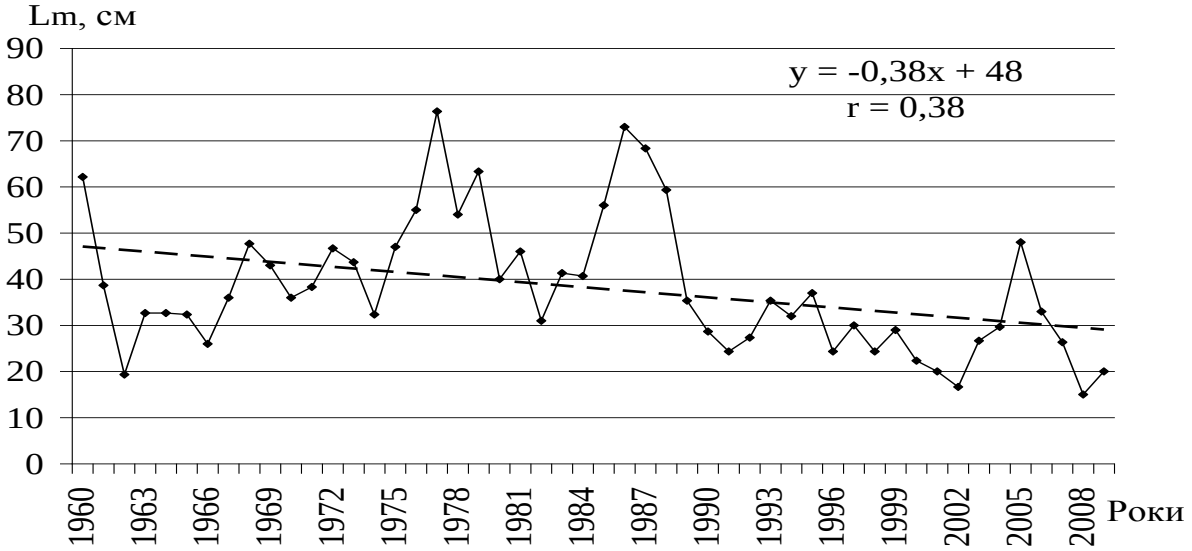


Рисунок 1.6 – Хронологічний багаторічний хід (у вигляді трирічних ковзних) значень максимальних глибин промерзання ґрунтів (ст. Любашівка)

Вітровий режим визначається умовами загальної циркуляції атмосфери й особливостями рельєфу. На розглядуваній території часто повторюється вітер північного й північно-західного напрямків. Середньорічні швидкості вітру коливаються від 3 до 4.9 м/с. Мінімальні середньомісячні швидкості спостерігаються у вересні й становлять 2.0 – 3.9 м/с. У періоди теплого півріччя нерідкі сухові - сильні вітри при низькій вологості, що іноді супроводжуються температурою повітря вище 25 °С [6,7].

Вологість повітря і її розподіл залежать від температурних і циркуляційних особливостей. Найбільша відносна вологість відзначається в листопаді-лютому, з максимумом - у грудні. Навесні відносна вологість інтенсивно зменшується. Мінімальні їх значення спостерігаються в липні. З настанням осені відносна вологість зростає. Середня відносна вологість за рік становить 58-64 % [6].

Для замкнених водойм, якою є Хаджибейський лиман, важливою характеристикою є величина випаровування з водної поверхні. За даними станції Болград були досліджені багаторічні ряди річного випаровування у вигляді хронологічних графіків (рис.1.7). Будь-якої тенденції не спостерігається, але з 2006 р. величини випаровування помітно почали зростати.

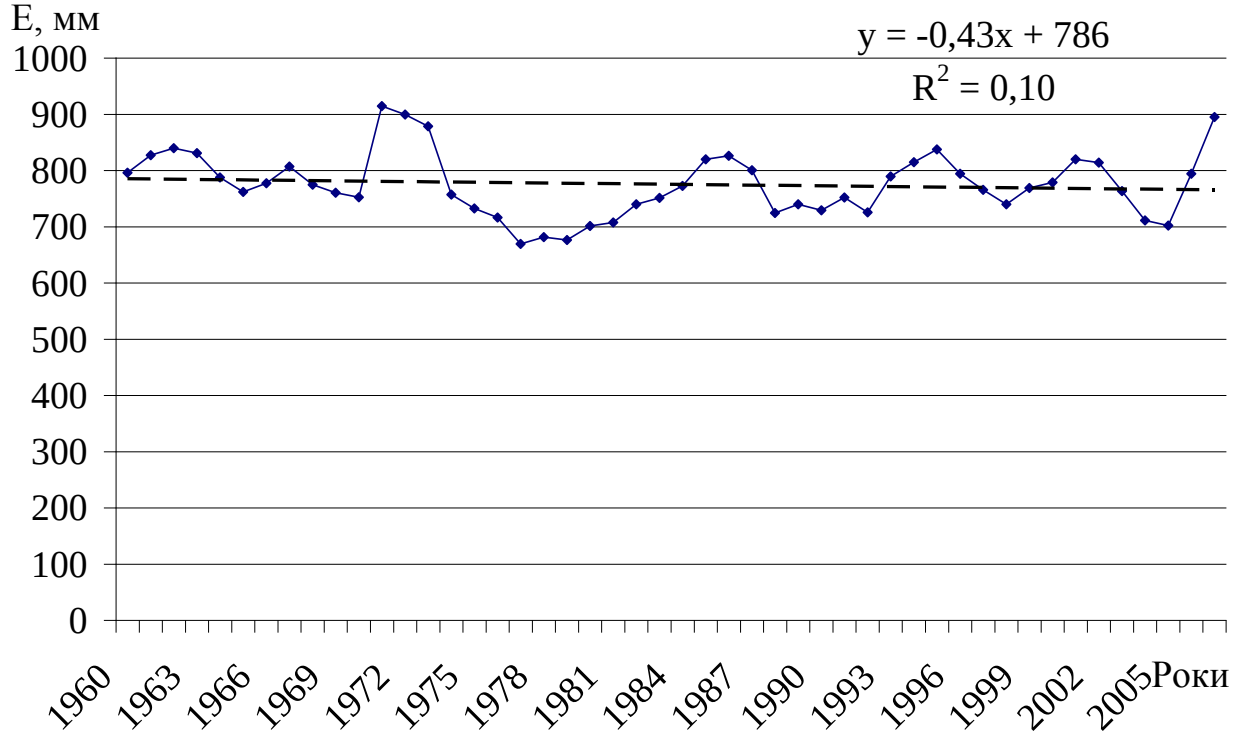


Рисунок 1.7 – Хронологічний багаторічний хід (у вигляді трирічних ковзних) значень річних сум випаровування (ст. Болград)

1.4 Дослідження водного режиму Хаджибейского лиману

Стаціонарні спостереження за рівнями води Хаджибейського лиману були розпочаті в 30-ті роки минулого сторіччя на водомірних постах у с.Нерубайське й с.Усатове. Пост Усатове діє й по теперішній час.

Гідрологічний режим Хаджибейського лиману обумовлюється природними і антропогенними факторами та характеризується з початку минулого століття ростом господарського використання лиману (при найбільшій його інтенсивності за останні десятиріччя) [2].

Замкненість лиману при періодичному надходження річкових вод, невелика кількість атмосферних опадів і висока випаровуваність призводять до сезонних природних коливань рівня води Хаджибейского лиману [2]. Визначальним фактором ходу рівнів лиману (як закритої водойми) є об'єм весняного водопілля в басейні основної річки, яка живить водойму – Малий Куяльник (площа водозбору F=1540 км^2), а також великої кількості тимчасових водотоків, які знаходяться в долинах ярів та балок [3]. Весняне водопілля на річках, які живлять лиман, є найбільш багатоводною фазою водного режиму, добре виражене у роки з наявністю снігу на водозборах. Початок водопілля на річках приходиться на першу-другу декади лютого та першу декаду березня. Тривалість водопілля становить 0.5 – 2.5 місяці. Літня й зимова межень характеризується стійкістю, маловодністю й значною тривалістю. Іноді межень порушується невеликими дощовими паводками.

Основним антропогенним фактором для Хаджибейського лиману є скидання стічних вод м. Одеси в нього протягом майже сторіччя, що призвело до підвищення рівня води лиману до критичних позначок і виникнення загрози руйнування дамби (пересипу), яка відокремлює лиман від моря.

За дослідженнями авторів [2,3,8], встановлено, що у багаторічному ході рівнів води Хаджибейського лиману існує періодичність. Так, в кінці XVIII сторіччя лиман знаходився в стані висихання, а його рівень знизився на 3.81 м нижче рівня моря [8]. З 1884 р. в лиман почався скид трансформованих стічних вод з полів зрошення м. Одеси. У період з 1894 по 1931 рр. рівні води лиману ще були невисокими – нижчими за рівні моря на 2.5- 4.5 м, тобто не перевищували відмітки мінус 1.97 м БС (при статичному рівні моря на відмітці мінус 0.38 м БС**)**. При цьому лиман автоматично пропускав паводки за рахунок постійного або періодичного гідравлічного зв'язку з морем при фільтрації талодощових вод через промоїни в тілі піщаної дамби. З моменту початку господарського використання лиману та забудови території Пересипу при припиненні гідравлічного зв'язку з морем рівні води у ньому почали зростати.

Перелом у ході рівнів води лиману відзначений у багатоводному 1909 році, коли підйоми рівнів води досягали 2.5 м і вище.

Другий період у гідрологічному режимі лиману (з 1932 р.) характеризувався підвищенням рівнів води, особливо після багатоводної весни 1932 р., коли підняття рівнів води досягало високих для того часу відміток (до мінус 0.43 мБС) і відбувалося затоплення полів зрошення та частини території Хаджибейського курорту [9,10]. У той час в короткі строки було збудовано земляну дамбу, яка відокремлювала лиман від полів зрошення. Пізніше по дамбі було прокладено об'їзду автомобільну дорогу, а для перекачки води у лиман використовувалася невелика насосна станція.

Катастрофічно високі підйоми рівнів води у лимані (на 1.5-2 м над рівнем моря або до відміток плюс 1.5 м БС) спостерігалися і у 1940 і 1941 рр. Восени

1941 р., коли радянські війська залишали Одесу, дамба була підірвана, а територія Пересипу затоплена водою. В післявоєнні часи вона була реконструйована, а у 1942 р. у зв'язку необхідністю штучного регулювання рівнів води лиману вперше було побудовано самотічний скидний канал «лиман-море», який відновив гідравлічний зв'язок лиману з морем [10]. Однак, інженерні недоліки каналу не забезпечували необхідний режим регулювання води у водоймі, особливо при сталому збільшенні у 60-80-ті роки розмірів скидання стічних вод станції біологічної очистки (СБО) «Північна» м. Одеси, які, на відміну від до воєнних років (при об'ємах скидів 10 - 30 млн. $м^3$), досягли значень 150 млн. $м^3$ [11].

Від 1963 р., коли рівень води досягав відмітки плюс 0.41 м БС, до 1969 р. рівень води лиману підвищився до критичних відміток на рівні плюс 2.21 м БС і створилася погроза руйнування дамби, яка відокремлює лиман від моря. У зв'язку з цим в 1969 р. за інженерним проектом спеціалістів одеського філіалу «УкрПівденгіпроводгосп» введений в експлуатацію гідротехнічний вузол для скидання лиманних вод у море у складі головного шлюзу, насосної станції потужністю 7.0 $м^3/с$ із напірним трубопроводом і водовипуском до моря [10]. Це дозволило знизити рівень води в лимані в період до 1972 р. на 2 м, тобто до відмітки мінус 0.4 м БС.

За даним проектом був встановлений розрахунковий горизонт щорічного спрацювання водойми перед весняним водопіллям, тобто підтримання нормального підпертого рівня (НПР) на рівні мінус 0.5 м БС. Крім того, за нормальним режимом роботи скидної системи обмежений максимальний рівень води у лимані на відмітці плюс 1.57 м БС, а по цих розрахункових рівнях води для нормального функціонування автомобільної дороги, відповідно СНіПу за умови вітряно-хвильових навантажень, призначена й відмітка гребеня дамби, яка дорівнює плюс 3.1 м БС [10,11].

В наступні, після 1972, роки, у зв'язку з нерегулярним перекиданням частини води з лиману в море, його рівень став підвищуватись.

В роботі досліджено багаторічний хід рівнів води Хаджибейського лиману за період з 1971 року і по теперішній час. Сумісний хронологічний графік як середніх (рис.1.8), так і максимальних (рис.1.9) за місяці року та річних рівнів води показав, що при незначному коливанні рівнів води для різних місяців і року, починаючи з 1973 р., рівень води в лимані доволі інтенсивно почав зростати з позначок в середньому у 1972 р. на рівні мінус 0.18 м БС до відміток середньорічних рівнів води – в межах плюс 1.57-1.94 м БС (див.рис.1.8). Тобто майже протягом 18 років (1985-2002 рр.) режим рівнів води в лимані залишався доволі стабільним, причому на високих позначках. Такий хід рівнів води підтримувався регулюючою дією насосної станції «лиман-море», яка здійснювала скиди комунальних вод СБО «Північна» у водойму лиману у теплу пору року – з квітня по жовтень у розмірі 42 млн. $м^3$ [8].

Однак, слід особливо відзначити, що на цьому більш менш стабільному фоні спостерігалися й критично високі максимальні рівні води з відмітками: плюс 2.09 м БС у квітні багатоводного 1985 р., плюс 2.06 м БС – у березні 1989 і 1992 рр. і 2.02 м БС – у березні 1996 р. (див. рис.1.9), коли виникла загроза

руйнування і прориву дамби тало-дощовими водами при небезпеці затоплення промислової й житлової зон Одеси – Пересипу [9,11].

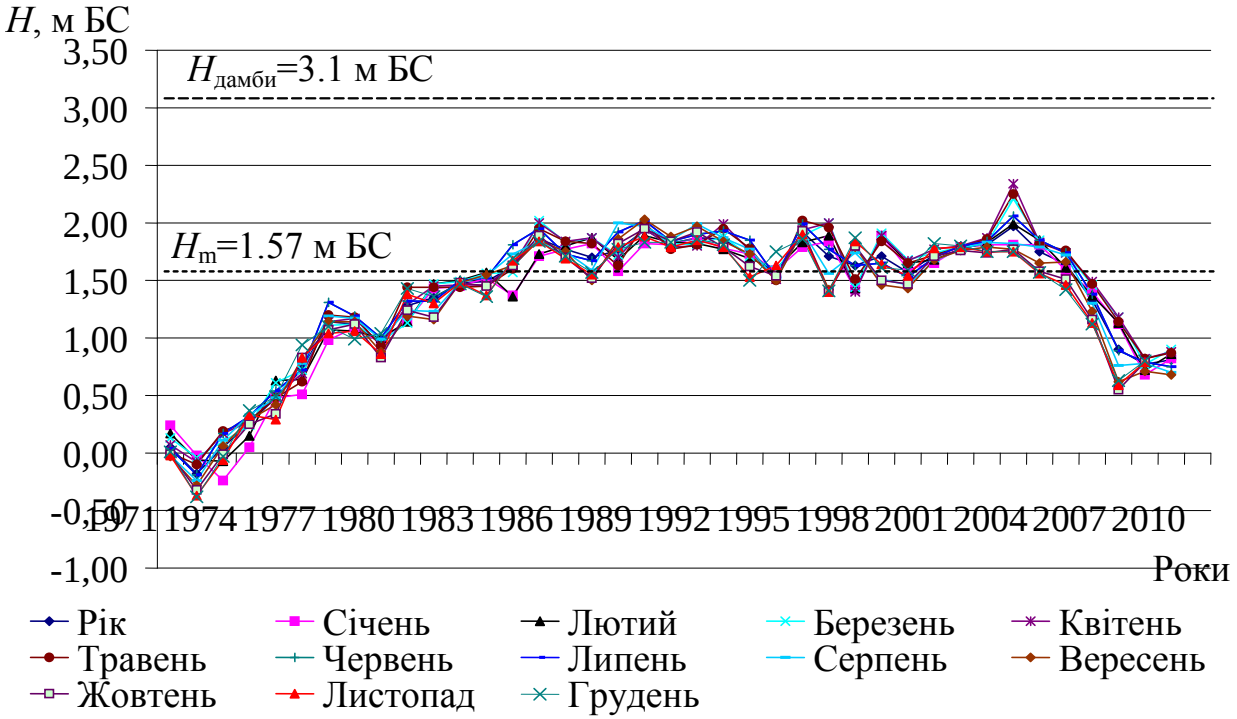


Рисунок 1.8 - Хронологічний графік ходу середніх за рік та місяці року рівнів води в лим.Хаджибей – с.Усатове

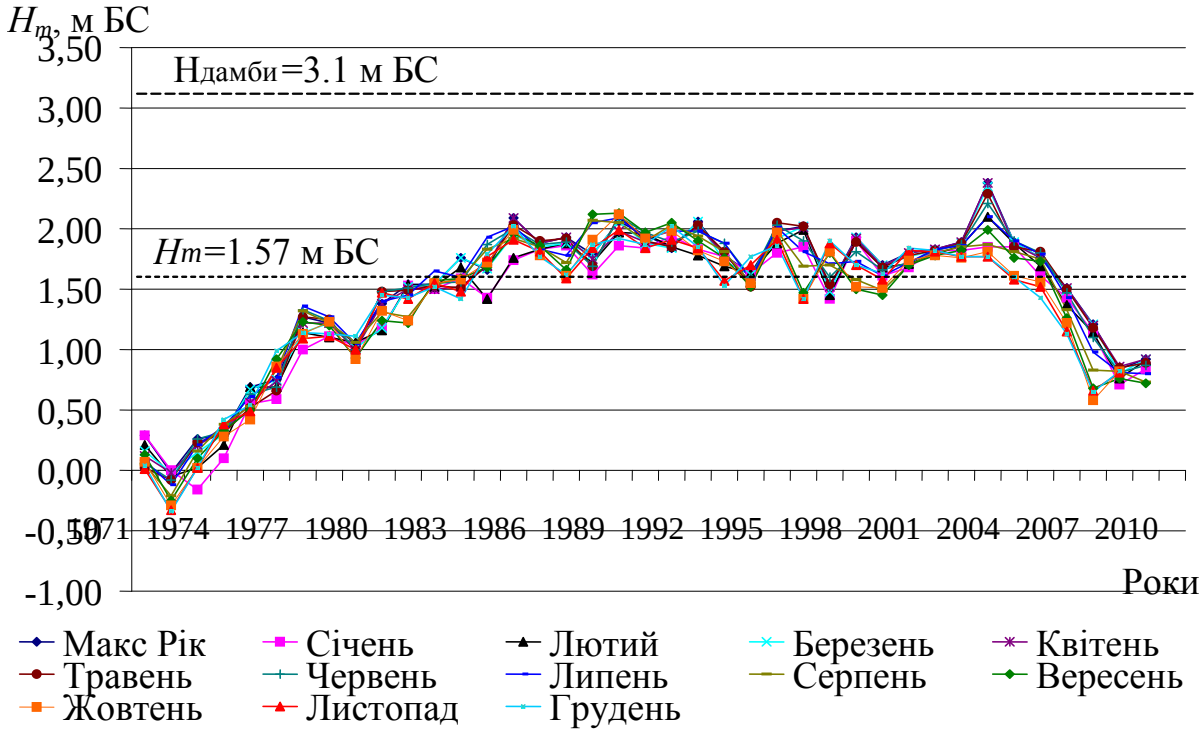


Рисунок 1.9 - Хронологічний графік ходу максимальних за рік (весняного водопілля) та місяці року рівнів води в лим.Хаджибей – с.Усатове

Ще більш критична ситуація склалася у період весняного водопілля високого 2003 р., коли рівні води у лимані досягли катастрофічно високих позначок (плюс 2.38 м БС). Тоді міською владою були прийняті заходи по укріпленню дамби та інтенсивній цілодобовій відкачці води у море, але ж протягом майже трьох місяців (березня-травня) відмітки води в лимані перевищували критичні, а в окремі дні вода практично переливалася через дамбу, що погрожувало її руйнуванню і затопленню району Пересипу. На деякий час також було припинено рух автомобільного транспорту по дорозі, яка проходить по гребеню дамби [9,11].

Для регулювання водного режиму лиману по зниженню рівнів води в ньому спеціалістами інституту «УкрПівденгіпроводгосп» був розроблений, але до сьогодні не введений в дію, інженерний проект по реконструкції дамби-дороги Хаджибейського лиману і побудові нової насосної станції і глибоководного випуску стічних вод СБО «Північна» у море на відстань 4.2 км від берега, відповідно до санітарних норм і правил. Для запобігання підвищенню позначок поверхні води Хаджибейського лиману повинна бути створена вільна ємність у водоймі, що може бути досягнуто за рахунок річного відводу вод з лиману й стічних вод СБО «Північна» м. Одеси в Чорне море. Крім того, витратну потужність насосної станції необхідно збільшити у тричі [11].

Після багатоводного 2006 р. і до сьогодні (третій період у рівневому режимі лиману) на фоні маловодності останніх років рівні води в лимані дещо зменшились – до позначок 0.90 і 0.77 м БС, відповідно у 2007 і 2008 рр. (див. рис.1.8) завдяки повному припиненню скидів стічних вод СБО «Північна» до водойми лиману. За даними «УкрПівденгіпроводгосп», на сьогодні стічні води міста скидаються безпосередньо у море завдяки насосній станції КНС-25 по діючому каналу «лиман-море» протягом всього року.

Незважаючи на це, у випадку проходження високих весняних водопіль або дощових паводків підйом рівня в Хаджибейському лимані все ж таки може досягнути критичних позначок 3.0 – 3.5 м БС (без врахування вітрохвильової дії). Така ситуація може призвести до небезпечного переливу води, можливого руйнування дамби і підтоплення прилеглих житлових масивів промзони м. Одеси на площі 25 км^2 [11].

При цьому економічні та матеріальні збитки можуть бути зменшені, якщо відповідні структури влади, що відповідальні за здійснення заходів протипаводкового захисту населення та промислових об’єктів будуть мати передчасний прогноз можливого наповнення Хаджибейського лиману тало-дощовими водами, особливо у роки з катастрофічним розвитком весняних процесів на водозборах річок і лиману. При виконанні поставлених завдань в межах даної науково-дослідної роботи були проведені експедиційні натурні дослідження з метою оцінки сучасного стану морфометрічних характеристик та водного режиму лиману Хаджибей.

1.5 Експедиційні дослідження Хаджибейського лиману

Експедиційні дослідження Хаджибейського лиману були здійснені 8-19

липня 2009 р. Метою цих натурних вимірювань було вивчення сучасного рельєфу дна лиману для побудови плану в ізобатах батиметричної зйомки, кривих об'ємів і площ водної поверхні лиману. В процесі виконання експедиційних досліджень також було виконано аналіз фізико-хімічних властивостей води лиману, а саме: мінералізації, розчиненого кисню, кольоровості, прозорості, запаху, температури води, *pH*.

1.5.1 Підготовка та виконання батиметричної зйомки

Перед початком гідрологічних та гідрохімічних робіт на Хаджибейському лимані було виконано аналіз картографічних матеріалів і супутникових знімків для складання схеми виконання вимірювальних робіт і здійснено рекогносцировку (попередній огляд і обстеження місцевості та водного об'єкту) берегової місцевості поблизу лиману для визначення місць спуску до урізів води, місцеположення населених пунктів, причалів та інше для визначення гідрометричних створів та пунктів спостереження за хімічним складом води.

1.5.1.1 Аналіз картографічних матеріалів і супутникових знімків

Перед початком вимірювальних робіт було виконано аналіз картографічного матеріалу на основі карти з масштабом 1:100000 (рис. 1.10), а також сучасних супутникових знімків Хаджибейського лиману та прилеглої місцевості для складання схеми виконання вимірювальних робіт (рис. 1.11). Схема батиметричної зйомки запланована по косих галсах, що дозволяє достатньою мірою відобразити характер рельєфу дна водойми з необхідною точністю, при координації промірних робіт радіонавігаційними засобами.

1.5.1.2 Прилади та їхні технічні характеристики

Для виконання батиметричної зйомки були перевірені та підготовлені такі геодезичні та гідрометричні прилади: нівелір, ехолоти, GPS-навігатори.

Перевірка нівеліру. Для нівеліру повинна виконуватися наступна головна умова: вісь візирної лінії повинна бути горизонтальною. Для нівелірів типу НС-4 ця умова визначається тим, що вісь циліндричного рівня повинна бути паралельна візирній осі зорової труби. Для перевірки цієї умови користуються прийомом, який викладено нижче за текстом.

На відстані порядку 65-75 м в точках A и B забивають кілочки з цвяхами, що мають капелюшки зі сферичною поверхнею. Далі поруч з точкою A встановлюють нівелір так, щоб окуляр зорової труби відстояв від рейки не більше ніж на 3-5 см. Вимірюють висоту нівеліра i_A за чорною стороною рейки. Потім беруть відлік b по рейці, встановленій в точці B. Після цього прилад встановлюють поруч з точкою B.

Не змінюючи фокус зорової труби роблять відлік a по рейці, встановленій в точці A та вимірюють висоту приладу i_B. Далі знаходять похибку визначення відліку по рейці за рахунок негоризонтальності візирного променя:

$$x = \frac{i_A + i_B}{2} - \frac{a+b}{2}. \qquad (1.1)$$

Рисунок 1.10 – Карта Хаджибейського та Куяльницького лиманів (М 1:100000) (білі точки – гідрохімічні станції)

Рисунок 1.11 – Супутниковий знімок Хаджибейського та Куяльницького лиманів (білі лінії – орієнтовні промірні галси; білі точки – гідрохімічні станції)

Величина x не повинна перевищувати 4 мм. У випадку перевищення цієї величини похибку виправляють. Для цього за допомогою елеваційного гвинта наводять середню нитку нівеліра на правильний відлік, що дорівнює:

$$a_0 = a + x. \quad (1.2)$$

При цьому зображення кінці циліндричного рівня розійдуться. Виправними гвинтами рівня сполучають зображення кінців пухирця рівня. Після цього перевірку повторюють. Перевірка виконується поки x не буде менше 4 мм.

Для нівеліру НС-4 (s/n 2623), що використовувався в роботі, похибка x дорівнювала 0 мм, тобто він був повністю підготовлений.

Підготовка ехолотів**.** При промірних роботах використовувалися наступні електронні ехолоти: Fishfinder-250, фірми Garmin (s/n 50508248) та PiranhaMAX20, фірми Humminbird (s/n 6062703-0135). Вказані електронні ехолоти є сонарами нового покоління, завдяки їх невеликим габаритам, інтеграції з ПК та GPS-навігаторами по COM-порту.

Ехолоти були закріплені на транцях промірних човнів в 40 см від гвинтів (поза зоною підвищеної турбулентності).

Підготовка GPS-навігаторів. Для координування промірів глибин (визначення координат промірних вертикалей) були використані сучасні GPS-навігатори фірми Garmin, а саме: GPS-72 (s/n 82335369) та GPS-72, Int'I (s/n 13400382). При цьому точність планової прив’язки (визначення місця положення промірної вертикалі) при використанні GPS-навігаторів завжди складає до 1-4 м (в залежності від кількості прив’язок до супутників).

1.5.1.3 Методика вимірювальних робіт на водоймі

Батиметрична зйомка (проміри глибин) – це вид гідрологічних вимірів, який дозволяє отримати інформацію про відстань від поверхні води до дна, тобто глибину даної водойми.

При виконанні промірів глибин виконуються наступні роботи:

1) призначаються промірні створи (галси);

2) визначається положення промірних точок (вертикалей);

3) фіксуються рівні води на початку та по завершенню промірних робіт (на основному та тимчасовому водомірних постах);

4) вимірюються глибини на промірних вертикалях у створі;

5) одночасно визначається характер ґрунту дна водойми.

Проміри глибин виконуються дискретним методом (глибини вимірюються в окремих точках) акустичним способом (ехолокацією).

1.5.1.4 Висотна прив’язка до пунктів державної геодезичної мережі

Висотне обґрунтування необхідне для проведення робіт у єдиній Державній системі висот (Балтійська система). При роботі на Хаджибейському лимані висотна прив’язка була виконана до основного репера на пальовому водомірному посту, який розташовано у південній частині лиману біля с.Усатово (рис. 1.10 та 1.11).

Висотна позначки поверхні води визначалася нівелюванням до вказаного реперу Державної висотної мережі. Для цього були використані наступні прилади та обладнання:

1) нівелір (НС-4);
2) рейка нівелірна (РН-3);
3) тринога (штатив);
4) мірна стрічка;
5) металевий башмак (кілки).

Палі розташовуються на схилі дамби перпендикулярно до напрямку автомагістралі «Одеса-Миколаїв» від максимальних відміток (безпосередньо сам репер) до мінімальних (30 см від поверхні води).

1.5.2 Камеральна обробка результатів батиметричної зйомки

1.5.2.1 Первинний аналіз польових матеріалів батиметричної зйомки. У промірних журналах вказані такі дані: дата та час початку і закінчення робіт, відмітка рівня води на водомірному посту на початок та кінець батиметричної зйомки, погода, хвилювання водної поверхні, прилади для промірів глибин та координування, номера промірних вертикалей, глибина на них, відмітки дна, координати вертикалей (широта та довгота). Також були визначені координати берегової лінії.

1.5.2.2 Побудова плану батиметричної зйомки лиману. Після підготовки та первинного аналізу польових матеріалів батиметричної зйомки побудовано план Хаджибейського лиману в ізобатах (рис. 1.12 та 1.13). Також були обчислені основні морфометричні характеристики лиману, які наведені нижче за текстом цього розділу.

До основних морфометричних характеристик лиману належать: довжина, середня ширина, порізаність берегової лінії, площа водного дзеркала, об'єм води.

Довжина лиману L – найкоротша відстань між двома віддаленими точками берегової лінії, на Хаджибейському лимані у липні 2009 р. становила 35 км.

Середня ширина лиману $B_{сер}$ – відношення площі до довжини:

$$B_{сер} = \frac{F}{L}, \tag{1.3}$$

де $F_{оз}$ – площа водної поверхні лиману, км^2;

L –довжина лиману, км.

На Хаджибейському лимані у липні 2009 р. $B_{сер}$ = 3.09 км.

а

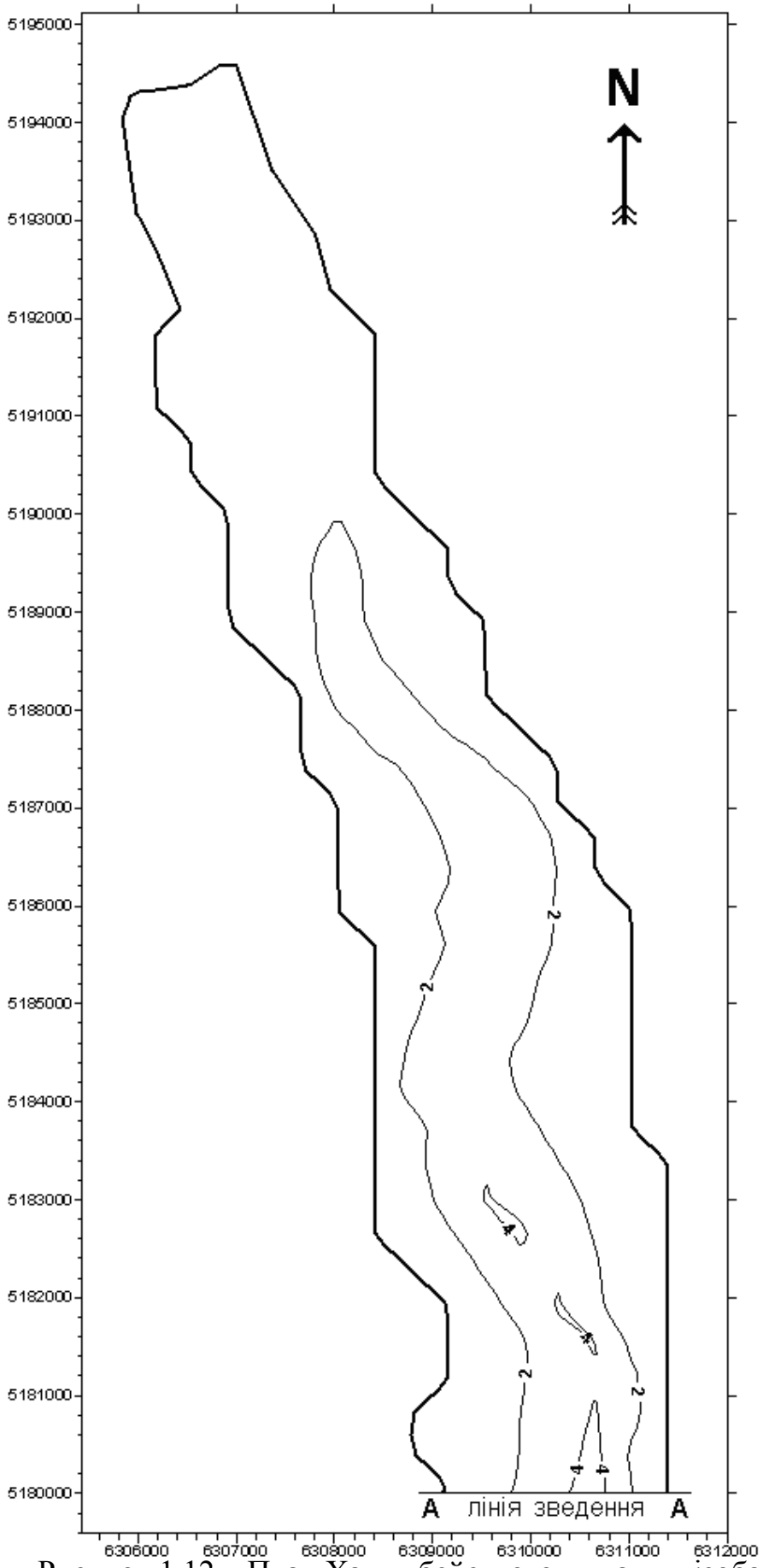
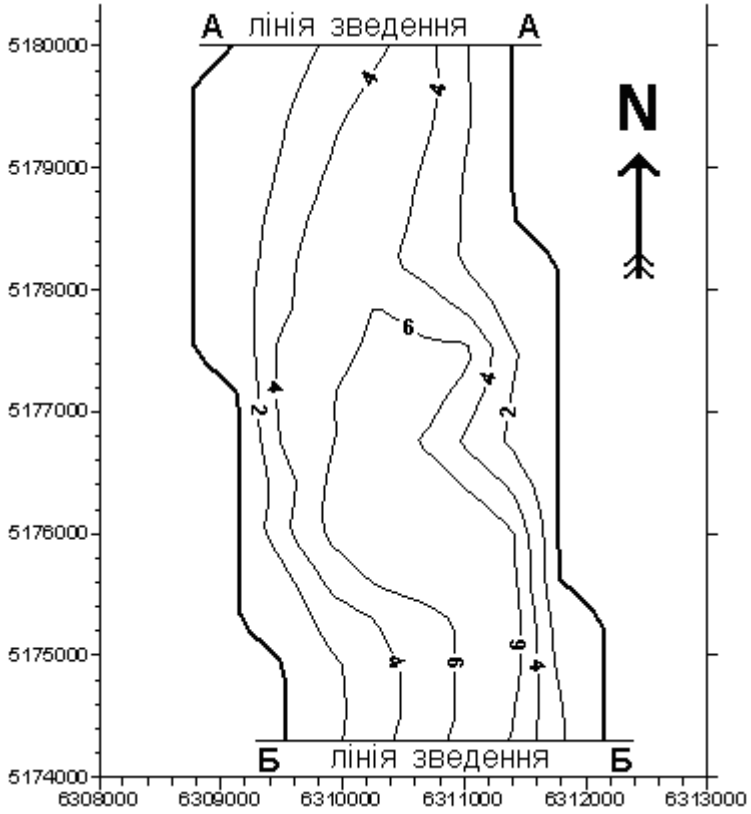


Рисунок 1.12 – План Хаджибейського лиману в ізобатах

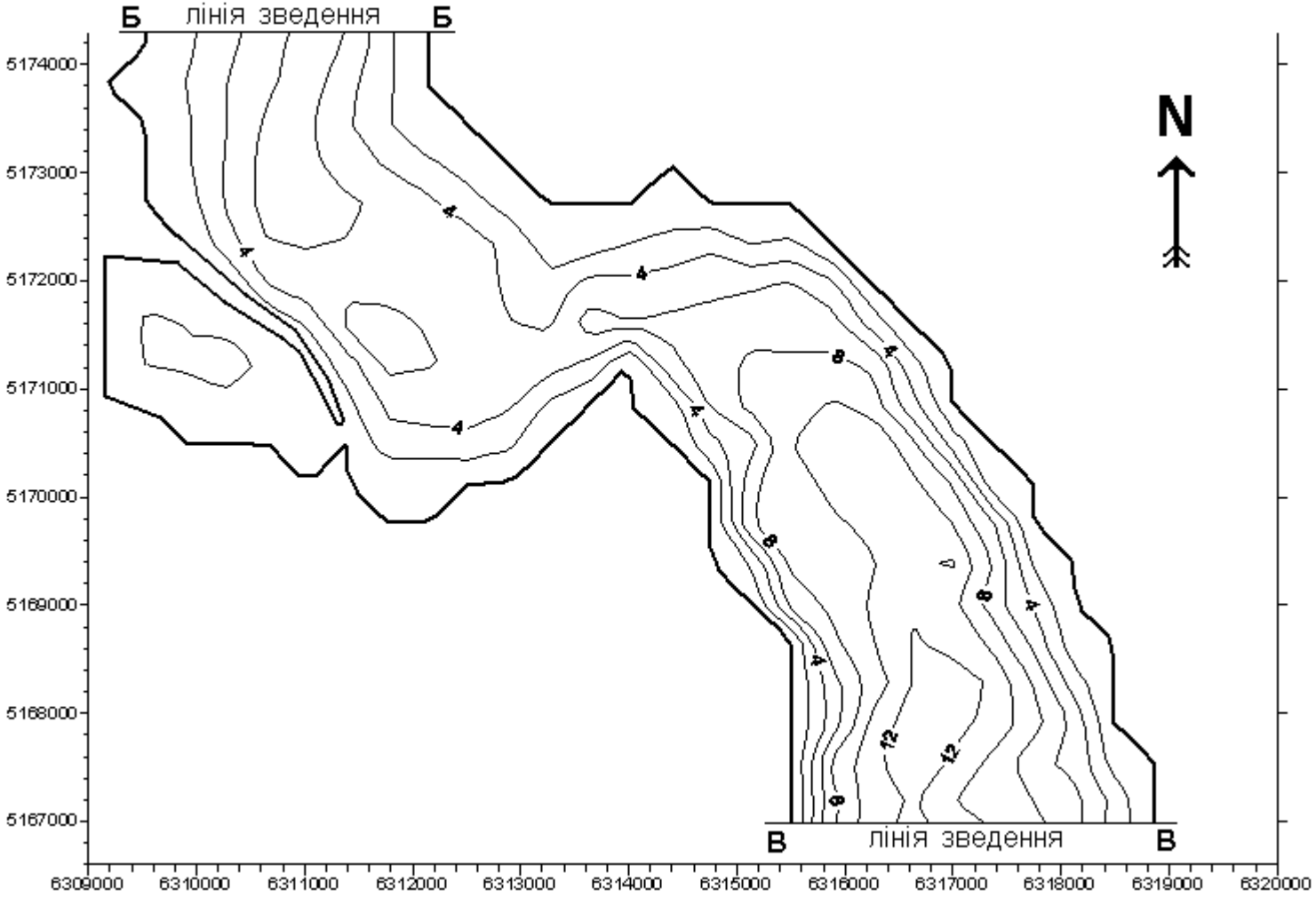
Лист1

б



Продовження рисунку 1.12
Лист2

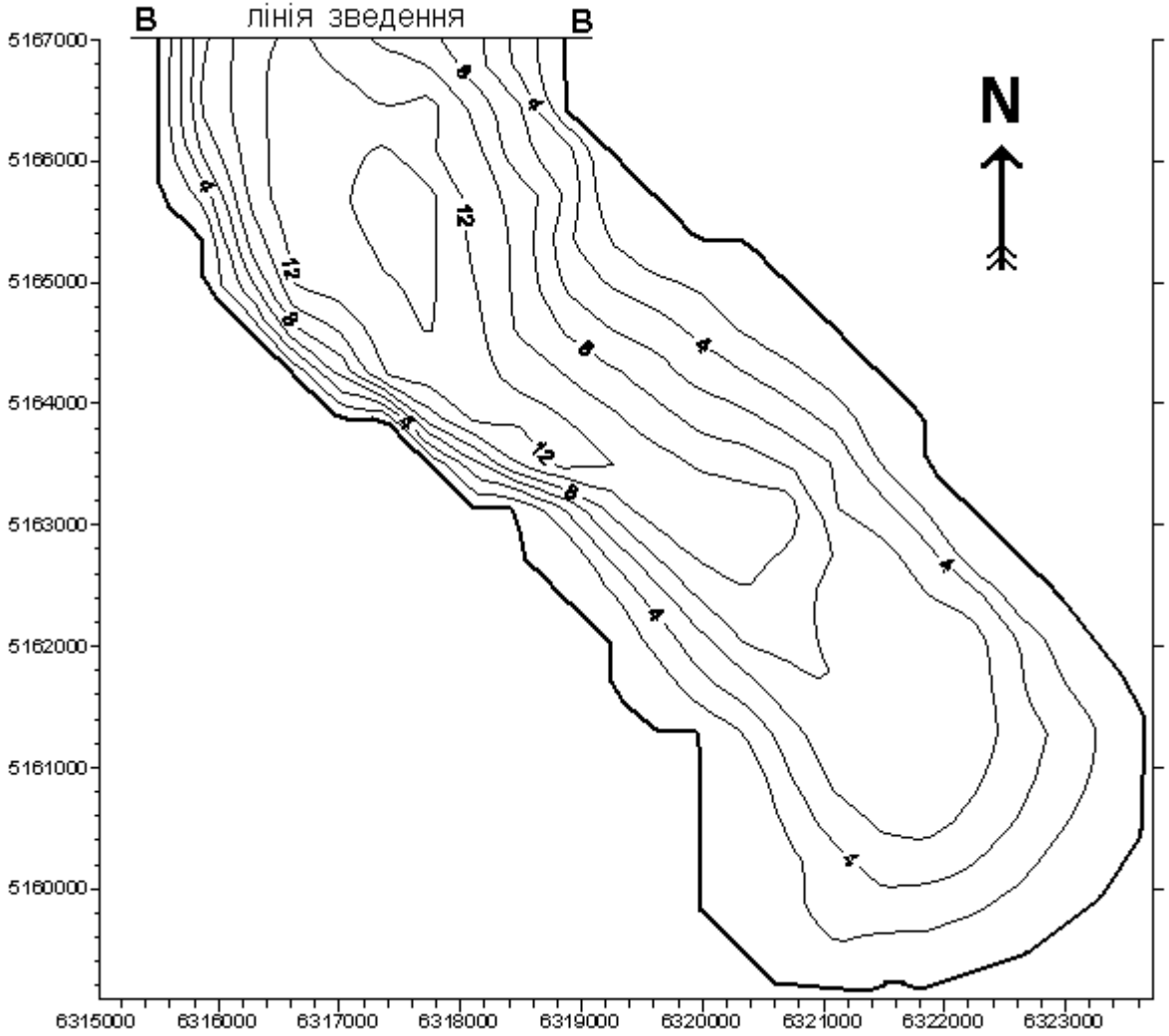
в



Продовження рисунку 1.12

Лист3

г



Продовження рисунку 1.12

Лист 4

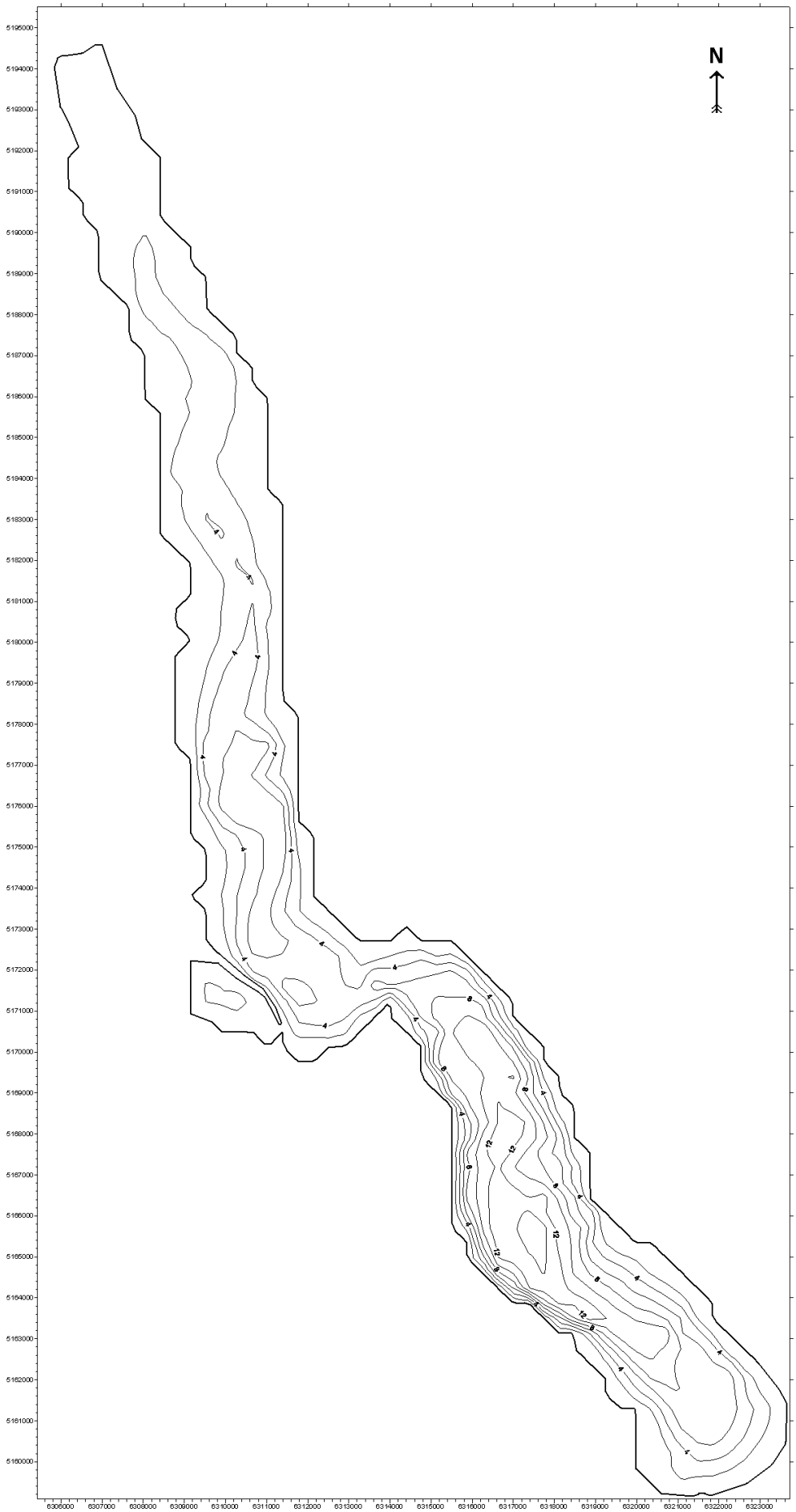


Рисунок 1.13 – План Хаджибейського лиману в ізобатах (без розривів)

Максимальна ширина, у нижній найбільш широкій частині лиману, складає близько 4 км.

Порізаність берегової лінії k (відношення довжини берегової лінії S до довжини кола, яке має площу рівновелику площі лиману)

$$k = \frac{S}{2\pi\sqrt{\frac{F}{\pi}}} \ . \qquad (1.4)$$

На Хаджибейському лимані у липні 2009 р. величина k становила 1.21.

Площа водного дзеркала лиману $F_{дз}$, яка визначалася за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення Surfer 7.04, становила 108 км^2.

Об'єм води в лимані V розраховувався складанням часткових об'ємів між ізобатами (горизонталями), рівних $v_1, v_2, \ldots, v_n$ та визначався за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення Surfer 7.04.

Часткові об'єми дорівнюють

$$V_i = \frac{F_1 + F_2}{2} h_{пер} , \qquad (1.5)$$

де F_i – площа водного дзеркала, обмежена і-ю ізобатою;

$h_{пер}$ – відстань між ізобатами по висоті.

Об'єм Хаджибейського лиману у липні 2009 р. становив $472 \cdot 10^6$ м^3.

Середня глибина лиману $h_{сер}$ визначається як частка від ділення об'єму лиману V на площу водного дзеркала $F_{дз}$, тобто

$$h_{сер} = \frac{V}{F_{дз}} . \qquad (1.6)$$

На Хаджибейському лимані у липні 2009 р. $h_{сер}$ = 4.37 м.

1.5.2.3 Побудова кривих об'ємів і площ водної поверхні лиману. Для вирішення прикладних гідрологічних задач зручно мати криві залежностей між рівнем води в лимані та його площами (рис. 1.14) та об'ємами (рис.1.15), тобто $F_{дз}=f(H)$ та $W=f(H)$, відповідно, що будуються за даними табл. 1.1.

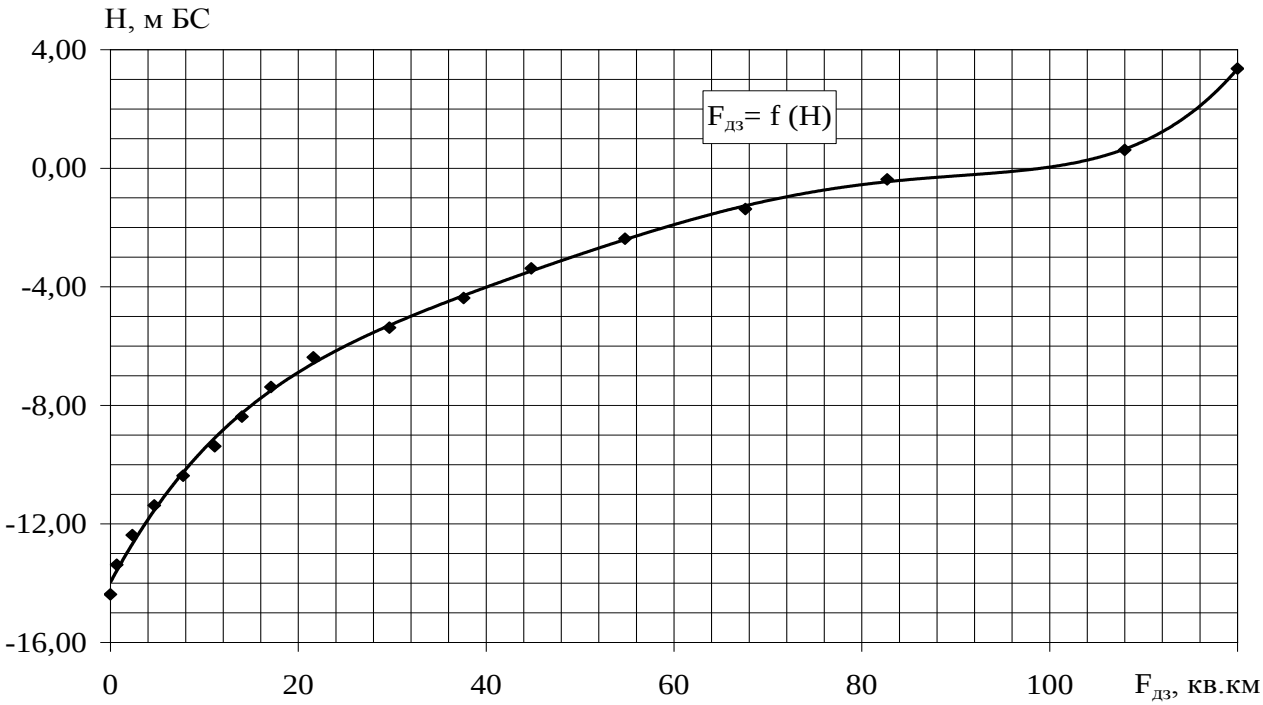


Рисунок 1.14 – Крива площ водної поверхні Хаджибейського лиману, $F_{дз} = f(H)$ (за даними батиметричної зйомки у липні 2009 р.)

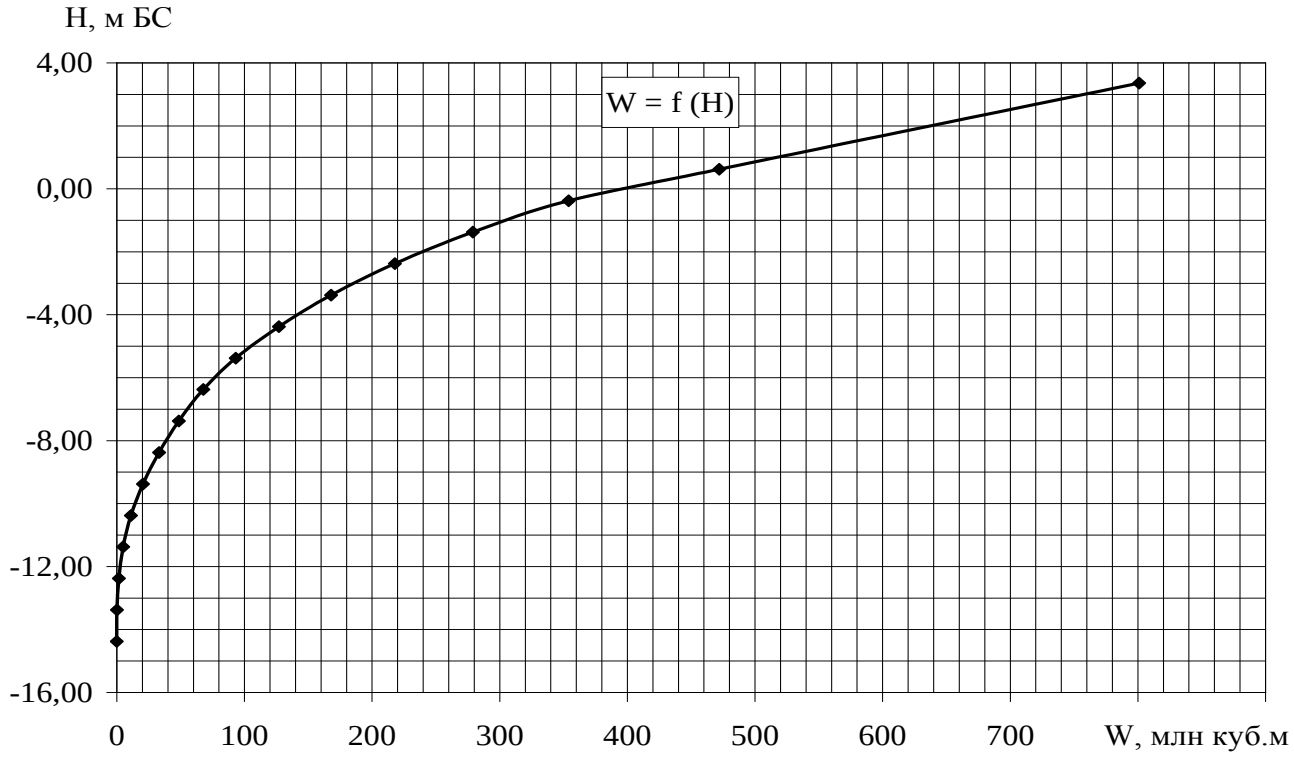


Рисунок 1.15 – Крива об’ємів води Хаджибейського лиману, $W = f(H)$ (за даними батиметричної зйомки у липні 2009 р.)

Таблиця 1.1 – Координати кривої площ $F_{дз} = f(H)$ водної поверхні та кривої об'ємів води $W = f(H)$ Хаджибейського лиману (за даними батиметричної зйомки у липні 2009 р.)

№ п/п	Відмітка дна, H, м БС	Площа водного дзеркала, $F_{дз}$, км^2	Об'єм води, W, $10^6 \cdot м^3$
1	3.36	120	801
2	0.62	108	472
3	-0.38	82.7	354
4	-1.38	67.6	279
5	-2.38	54.8	218
6	-3.38	44.8	168
7	-4.38	37.6	127
8	-5.38	29.7	93.3
9	-6.38	21.6	67.8
10	-7.38	17.1	48.7
11	-8.38	14	33.1
12	-9.38	11.1	20.6
13	-10.38	7.75	11.1
14	-11.38	4.67	5.01
15	-12.38	2.33	1.71
16	-13.38	0.68	0.230
17	-14.38	0.00	0.000

1.5.3 Короткі відомості про фізико-хімічні властивості водойми

При спостереженнях за фізико-хімічними властивостями води в Хаджибейському лимані були проведені наступні роботи на чотирьох гідрохімічних станціях (див.рис. 1.10 та 1.11):

- візуальні спостереження поверхні водойми;
- визначення температури води;
- визначення запаху води;
- оцінка прозорості води;
- визначення кольоровості води;
- визначення pH води;
- визначення розчиненого кисню;
- визначення мінералізації.

Результати визначення фізико-хімічних властивостей води на чотирьох гідрохімічних станціях (1 – с. Палійове, 2 – с. Алтестово, 3 – с. Холодна Балка, 4 – с. Усатове) в Хаджибейському лимані наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати визначення фізико-хімічних властивостей води Хаджибейського лиману у липні 2009 р.

Номери гідро-хімічної станції	Географічні координати (WGS-84) гідрохімічних станцій, ° ′ ″		Солоність води, ‰	Концентрація розчиненого у воді кисню мгO_2/дм^3	*pH*	Темпе-ратура води, °С	Прозорість води, м	Запах води	Кольоровість води, номери за шкалою кольоро-вості
	північна широта	східна довгота							
1	46 39 06.0	30 31 17.6	5.00	26.0	8.20	24.9	0.80	Немає	16
2	46 38 42.5	30 32 15.0	5.62	13.7	8.20	24.5	0.70	Немає	19 – 20
3	46 35 55.5	30 35 52.6	5.25	17.5	8.15	24.4	0.75	Немає	15 – 16
4	46 32 55.8	30 39 44.9	4.62	17.8	8.10	24.3	0.60	Немає	16

1.5.3.1 Проведення візуальних спостережень поверхні водойми. Візуальні спостереження поверхні водойми включали:

- визначення забруднення водойми (покриття поверхні води нафтовою або масляною плівкою, загибель риби, рослин, гнильний запах);
- виявлення джерел забруднення (установлення місця скидання стічних вод і таке інше) та зон поширення забруднення по площі водойми (табл. 1.2).

1.5.3.2 Вимірювання температури води. Температура води в лимані визначалася водним термометром, який опускався у водний об'єкт у місцях відбору проб на глибину 0.3-0.5 м. Після 5-8 хвилин термометр виймався для відліку з точністю до 0.1 °С (табл.1.2).

1.5.3.3 Визначення запаху. Визначення запаху здійснювалося безпосередньо у водного об'єкта орієнтовно при температурі близько 20 °С (табл. 1.2). Для цього 250 $дм^3$ проби води поміщалися у конічну колбу, яка закривалася пробкою та струшувалася обертовим рухом у закритому стані. Далі відкривши пробку органолептично визначався характер та інтенсивність запаху у відповідності до табл. 1.3 та 1.4.

1.5.3.4 Визначення прозорості та кольоровості води. Прозорість (см) визначалася по границі зникнення та появи білого диску Секкі з тіньової сторони борта промірного човна (табл. 1.2).

Визначалася вона в градусах візуально з використанням білого диска Секкі та спеціальної шкали кольоровості. Для цього диск Секкі опускався у воду на половину глибини прозорості та, переглядаючи фарбування контрольних розчинів зверху вниз, знаходився циліндр, фарбування рідини в якому збігалося з фарбуванням досліджуваної води на фоні білого диску з тіньової сторони борта промірного човна (табл. 1.2).

Таблиця 1.3 – Класифікація (характер) запаху

Характер запаху	Можливі джерела походження запаху
Хімічний	Промислові стічні води або хімічна обробка
Хлорний	Вільний хлор
Вуглецевий	Стоки нафтоочисних заводів
Лікарський	Фенол і йодоформ
Сірчастий	Сірководень
Гнильний	Застояні стічні води

Таблиця 1.4 – Визначення інтенсивності запаху води

Інтенсивність, в балах	Характеристика	Поява запаху
0	Ніякого запаху	Відсутність відчутного запаху
1	Дуже слабкий	Запах непомітний споживачем, але помітний фахівцем
2	Слабкий	Запах, легко помітний споживачем, якщо звернути увагу на нього
3	Помітний	Запах, помітний і здатний бути причиною того, що вода стає непридатною для пиття
4	Виразний	Запах, що звертає на себе увагу, змушуючи втриматися від пиття
5	Дуже сильний	Запах настільки сильний, що робить воду непридатною для пиття

1.5.3.5 Визначення концентрації іонів водню (pH). Визначення *pH* виконувалося безпосередньо електрометричним методом за допомогою приладу *pH*-150 (s/n 1024) та колориметричним методом з використанням колориметричної шкали (табл. 1.2).

Колориметрична шкала складається з 19 запаяних пробірок з розчинами і двох порожніх, з гумовими пробками, призначених для відібраної проби води. Досліджувана вода наливається в одну з пробірок за допомогою сифона – чистої гумової трубки, з затискачем Мору і скляним наконечником. Пробірка обполоскується два рази досліджуваною водою, а потім наповнювалась до мітки.

Прикладені до шкали індикатори діють тільки в певній частині шкали: бромтимоловий синій – *pH* від 6.00 до 7.60; крезоловий червоний – *pH* від 7.60 до 8.20; тимоловий синій – *pH* від 8.2 до 9.2. Застосування того або іншого індикатора залежить від очікуваної величини pH відібраної проби. При визначенні *pH* вперше початок робився з індикатора крезолового червоного. Індикатор набирався мікропіпеткою до верхньої риси і доливався у пробірку з досліджуваною пробою в обсязі 0.5 дм^3. Пробірка закривалась пробкою, а її вміст обережно перемішувався дворазовим перевертанням. При цьому досліджувана вода приймала певне фарбування, яке залежало від концентрації іонів водню у відібраній пробі. Отримане фарбування проби порівнювалося з фарбуванням розчинів в пробірках з відповідними індикаторами колориметричної шкали. Порівняння фарбувань виконувалося на білому тлі з двома суміжними пробірками шкали.

У випадку точного збігу тону фарбування за результат приймалась величина *pH*, що зазначена на етикетці пробірки шкали. Якщо фарбування досліджуваної води відповідало проміжному тону між двома пробірками шкали, за результат бралося середнє між ними значення *pH*. Якщо отримане фарбування проби води не підходило по фарбуванню в межах дії даного індикатора, наприклад, крезолового червоного, визначення повторювалися з іншим індикатором.

Для цього друга пробірка зі шкали заповнювалася тією ж пробою води та чистою мікропіпеткою доливався наступний індикатор. Отримане фарбування порівнювалося з відповідними розчинами колориметричної шкали. Вибір наступного індикатора робили у такий спосіб:

- якщо фарбування відібраної проби води з індикатором крезоловий червоний інтенсивно жовте і не співпадало з першою пробіркою шкали, застосовувався індикатор бромтимоловий синій;
- якщо фарбування відібраної проби води червоне і більш яскраве, чим в останній пробірці шкали діапазону крезолового червоного, застосовувався індикатор тимоловий синій.

1.5.3.6 Визначення розчиненого кисню (O_2) та мінералізації. У воді Хаджибейського лиману концентрація розчиненого у воді кисню та процента насичення води розчиненим киснем вимірювалася за допомогою електронного приладу АЖА-001М (s/n 0048), а мінералізація – солеміром «ВСЕГИНГЕО» (s/n 4347). Результати вимірювань цими електронними приладами наведено в табл. 1.2.

Підготовку та калібрування цих приладів було виконано свого часу фахівцями з хімії та електроніки ОДЕКУ.

2 НАУКОВО-МЕТОДИЧНА БАЗА ПО РОЗРАХУНКАХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВОДОПІЛЬ І ПАВОДКІВ

Рівневий режим Хаджибейського лиману у значній мірі визначається скидами комунально-побутових вод СБО «Північна», причому на протязі багатьох років ці скиди є досить значними. Зокрема, під час високих весняних водопіль, а також дощових паводків є велика загроза переповнення лиману поверхневими водами і, як наслідок, можливе затоплення одного з районів Одеси – Пересипу. Ось чому виникає необхідність в розрахунках характеристик паводків і водопіль взагалі, а виняткової ймовірності перевищення, особливо.

На жаль, існуюча нормативна база в галузі максимального стоку (у вигляді СНіП 2.01.14-83) не дозволяє надійно визначити максимальні витрати і шари стоку через відсутність гідрологічних спостережень у межах майже усієї Причорноморської низовини, включаючи й басейни Причорноморських лиманів.

Коротко зупинимось на основних положеннях діючого в Україні СНіПу 2.01.14-83.

2.1 Нормативний документ СНіП 2.01.14-83

Цим державним документом розрізняються в окремі категорії паводки і водопілля.

Для розрахунку характеристик максимального стоку водопіль пропонується базова структура у вигляді [12]

$$q_{p\%} = \frac{k_0 Y_p}{(F+b)^{n_1}} \mu \, \delta \, \delta_2 \, \delta_3 \ , \qquad (2.1)$$

де $q_{p\%}$ - розрахунковий модуль стоку щорічною ймовірністю перевищення P%;

k_0 - параметр, який залежить від дружності весняного водопілля і визначається за допомогою річок-аналогів;

Y_p - розрахунковий шар сумарного весняного стоку, тобто без зрізки величини ґрунтового живлення, забезпеченістю P%, причому

$$Y_p = Y_0 \, k_p , \qquad (2.2)$$

Y_0 - середній багаторічний шар стоку за період водопілля;

$k_p = f\left(C_v ; {C_s}/{C_v}\right)$ - модульний коефіцієнт забезпеченістю P%;

C_v і C_s - коефіцієнти варіації і асиметрії часових рядів шарів стоку водопілля;

μ - коефіцієнт, за допомогою якого враховується розбіжність розрахункових шарів стоку Y_p і максимальних модулів q_p;

δ - коефіцієнт для урахування впливу на q_p озер, водосховищ, ставків проточного типу;

δ_1, δ_2 і δ_3 - редукційні коефіцієнти, які відносяться до залісених, заболочених та розораних водозборів (при F<200 км^2);

n_1 - показник редукції максимальних модулів стоку при зростанні водозбірних площ річок;

b – емпіричний коефіцієнт для врахування зниження редукції максимальних модулів стоку у межах невеликих водозборів.

Стосовно досліджуваного об'єкту, тобто басейну лиману Хаджибей, перш ніж використовувати структуру (2.1) і її параметри, необхідно звернути увагу на недоліки, які притаманні цій розрахунковій схемі. Їх можна поділити на два види. Перші відносяться до теоретичної обґрунтованості, а інші стосуються регіональних особливостей використання.

З теоретичної точки зору, структура (2.1) відповідає лише умові, коли по території можна осереднити тривалість схилового припливу. В свою чергу це означає, що на тривалість надходження води зі схилів до руслової мережі не впливають ні залісеність, ні заболоченість, ні географічне положення обєктів. А таким вимогам, як видно з (2.1), формула і не відповідає. З іншого боку, штучним є використання добавки "b" у знаменнику розрахункової схеми. Теоретично при F=0 відношення $q_m \big/ (k_0 Y_m)$ повинно дорівнювати одиниці, як верхній його межі. Але ж з (2.1) очевидно, що при F=0

$$q_m \big/ (k_0 Y_m) = \frac{1}{b^{n_1}}. \qquad (2.3)$$

Відповідно до [12], для степової зони і зони посушливих степів n_1=0.35, а b=10 км^2. У такому випадку $q_m \big/ (k_0 Y_m)$ =0.45, що у 2.2 рази нижче за теоретичне значення.

Суттєві недоліки можна відзначити на регіональному рівні використання (2.1), а саме: при встановленні параметрів Y_0, C_v і C_s/C_v приходиться спиратись на відповідні карти, що додаються до СНіП 2.01.14-83. Але у межах досліджуваної території, у зв'язку з відсутністю гідрологічних спостережень на річках, усі наведені вище параметри можуть бути визначені лише орієнтовно, тобто з великими похибками. Ось чому нормативний документ СНіП 2.01.14-83 не може бути використаний при визначенні розрахункових характеристик весняних водопіль в басейні лиману Хаджибей.

Для дощових паводків СНіП 2.01.14-83 рекомендує застосовувати при встановленні розрахункових максимумів стоку дві структури:

а) при F<200 км^2

$$q_p = A_{1\%}\,\eta\, X_{1\%}\,\delta\,\lambda_p, \tag{2.4}$$

де q_p - максимальний модуль стоку забезпеченістю P%;

$A_{1\%} = 16.67\overline{\psi}(\tau)$ - ординати редукційної кривої $\overline{\psi}(\tau)$ в залежності від розрахункового часу τ

$$\tau = 1.2 t_p^{1.1} + t_{cx}, \tag{2.5}$$

t_p - тривалість руслового добігання;

t_{cx} - тривалість схилового добігання;

$X_{1\%}$ - добовий максимум зливових опадів забезпеченістю P=1%;

η - збірний коефіцієнт стоку;

δ - коефіцієнт для врахування впливу на максимальний модуль стоку озер, водосховищ і ставків проточного типу;

λ_p - коефіцієнт забезпеченості;

б) при F≥200 км^2

$$q_p = \left(q_{200} / F^{n_2}\right)\delta\,\delta_2\,\delta_3\,\lambda_p, \tag{2.6}$$

де q_{200} - максимальний модуль стоку, приведений до F=200 км^2 і P=1%;

δ, δ_2, δ_3 – емпіричні коефіцієнти для врахування впливу на максимальний модуль стоку озерності, заболоченості і розораності водозборів.

До зауважень, причому принципового характеру, необхідно віднести такі:

1. Неправомірність застосування на всій території України граничної площі використання (2.4) чи (2.6), яка приймається на рівні 200 км^2.

2. Теоретична необґрунтованість структури (2.4), оскільки в ній розглядається оператор «опади-русловий стік» замість «схиловий приплив-русловий стік».

3. Структура (2.6) відповідає умовам, коли по території, крім тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі, можна осереднити ще й шар паводкового стоку Y_m. Картування ж q_{200}, прийняте в СНіП 2.01.14-83, автоматично відхиляє можливість застосування формули максимального стоку паводків при F>200 км^2 у вигляді (2.6). Таким чином, виникає необхідність доопрацювання нормативну базу в галузі максимального стоку паводків і водопіль, причому з урахуванням обмеженості гідрологічних спостережень в Причорноморському регіоні.

2.2 Теоретичне обґрунтування бази для нормування характеристик максимального стоку паводків і водопіль

Розглядається природна модель формування річкового стоку, а саме: «опади-схиловий стік-русловий стік». Для отримання базових рівнянь, що описують русловий стік, необхідно і достатньо розглянути фінальний оператор «схиловий приплив-русловий стік». Тоді в залежності від співвідношення між тривалостями руслового добігання t_p і схилового припливу T_0 на базі моделі руслових ізохрон будемо мати:

а) при $t_p < T_0$

$$Q_m = V \int_0^{t_p} q'_t \, B_t \, \varepsilon_t \, dt; \tag{2.7}$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$Q_m = V \int_0^{T_0} q'_t \, B_t \, \varepsilon_t \, dt, \tag{2.8}$$

де Q_m - максимальний модуль схилового припливу, який описується рівнянням

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right]; \tag{2.9}$$

q'_m - максимальний модуль схилового припливу;

B_t - ширина водозборів по ізохронах руслового добігання, причому [14]

$$B_t = B_m \left[1 - \left(\frac{t}{t_p} \right)^m \right]; \tag{2.10}$$

B_m - максимальна ширина водозборів по ізохронах руслового добігання;

ε_t - функція русло-заплавного регулювання у часі.

Після інтегрування (2.7) і (2.8), з урахуванням (2.9) і (2.10), та деяких перетворень і узагальнень авторами [13] отримане розрахункове рівняння

$$q_m = q'_m \psi\left(t_p \big/ T_0 \right) \varepsilon_F, \tag{2.11}$$

де q'_m - максимальний модуль схилового припливу

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m; \tag{2.12}$$

$\frac{n+1}{n}$ - коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу в період весняного водопілля;

T_0 – тривалість схилового припливу талих вод до руслової мережі;

Y_m - шар стоку водопілля;

ε_F - коефіцієнт русло-заплавного регулювання максимального стоку;

$\psi\left(t_p/T_0\right)$ - трансформаційна функція розпластування повеневих і паводкових хвиль під впливом часу їх руслового добігання, причому:

а) при t_p/T_0 =0

$$\psi\left(t_p/T_0\right) = 1.0; \tag{2.13}$$

б) при 0< t_p/T_0 <1.0

$$\psi\left(t_p/T_0\right) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)}\left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n ; \tag{2.14}$$

в) при t_p/T_0 ≥1.0

$$\psi\left(t_p/T_0\right) = \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)}\left(\frac{T_0}{t_p}\right)^m\right]\frac{n}{n+1}\cdot\frac{T_0}{t_p}; \tag{2.15}$$

г) при $t_p >> T_0$

$$\psi\left(t_p/T_0\right) = 0. \tag{2.16}$$

Запропонована структура (2.11) може вважатися універсальною, оскільки вона задовольняє нормуванню на її базі максимального стоку як паводків, так і водопіль. З іншого боку, вона не має обмежень з точки зору розміру водозбірних площ. Основним параметром формули (2.11), якщо визначається генетичний тип паводків і водопіль, є q'_m. Нижче ми зосередимо увагу, виходячи з необхідності оцінки припливу поверхневих вод від паводків і водопіль виняткової ймовірності перевищення до лиману Хаджибей, на шарах стоку Y_m.

2.2.1 Визначення шарів стоку під час весняного водопілля

Стосовно максимального модуля стоку q'_m в період водопілля, ураховуючи відсутність гідрологічних спостережень у Причорноморському регіоні, перепишемо (2.12) наступним чином:

$$q'_m = \frac{n+1}{n}\frac{1}{T_0}(S_0 + X_0)\eta_{\hat{a}}\, k_p, \qquad (2.17)$$

де S_0 - середня величина снігозапасів перед початком весняного водопілля;

$\tilde{O}_0$ - кількість опадів в період водопілля;

$\eta_{\hat{a}}$ - коефіцієнт стоку;

$k_p = f\left(C_v; {}^{C_s}\!/_{C_v}\right)$ - модульний коефіцієнт.

Статистична обробка шарів снігозапасів виконана у межах Причорноморської низовини по 41 метеорологічному пункту з періодами спостережень більше 15 років. Коефіцієнти варіації часових рядів S_m коливаються у межах 0.48-0.91. Шар снігозапасів S_0 по території змінюється у напрямку з півночі на південь від
60 мм у верхівях річок Південний Буг, Інгул, Інгулець до 20 мм – у межах прибережної смуги Причорноморської низовини. Для басейну лиману Хаджибей, користуючись картою [13], можна прийняти S_0=35 мм.

Снігозапаси в період весняного водопілля складають лише частку загального надходження води на водозбір. З балансових позицій, необхідно до S_m додати ті опади *X*, які мали місце на протязі розвитку водопілля, тобто від дати S_m і до його закінчення. Таким чином, сумарне надходження води на водозбір за період водопілля X_s буде становити

$$X_s = S_m + X \qquad (2.18)$$

Спираючись на середні багатолітні дати настання водопілля на півдні України, а також середні дати його закінчення, авторами [13] встановлена регіональна залежність

$$X = 8.0 + 8.1\,\ell g(F+1) \qquad (2.19)$$

З урахуванням (2.19)

$$X_s = S_0 + [8.0 + 8.1 lg(F+1)] \qquad (2.20)$$

Ймовірнісні величини надходження поверхневих вод з водозбору забезпеченістю *P*% будуть становити

$$(X_s)_p = \{S_0 + [8.0 + 8.1 lg(F+1)]\}\, k_p \qquad (2.21)$$

Коефіцієнт варіації виявляє залежність від середніх значень снігозапасів S_0, а саме

$$C_v = 0.60 + 0.53(S_0 - 20)\cdot 10^{-2} \qquad (2.22)$$

Для часових рядів (S_m+X) співвідношення C_s/C_v нормовані на рівні 3.5.

Тепер стосовно коефіцієнта стоку $\eta_{â}$. Собою він представляє відношення

$$\eta_{â} = Y_m/(S_m + \tilde{O}) \qquad (2.23)$$

В межах Причорноморської низовини високі водопілля супроводжуються коефіцієнтами стоку від 0.45 (р.Гнилий Єланець – с.Женево-Криворіжжя, F=1190 км^2) до 0.17 (р.Ягорлик-с.Дойбани, F=1220 км^2). Авторами узагальнення коефіцієнтів стоку $\eta_{â}$ виконано за методикою Л.Л.Ліштвана, тобто в залежності від розміру водозборів. На жаль, наявні дані охоплюють лише діапазон площ водозборів F>62.4 км^2.

Екстраполяція залежності $\eta_{â} = f(F)$ здійснена з використанням експериментальних даних, наведених у роботах [15, 16]. Для досліджуваної території запропонована табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти стоку весняного водопілля $\eta_{â}$

F, км^2	0	10	20	50	100	500	1000	2000	5000	10000	20000
$\eta_{â}$	0.65	0.46	0.43	0.37	0.33	0.24	0.21	0.20	0.18	0.16	0.14

2.2.2 Визначення шарів стоку дощових паводків

Для дощових паводків максимальний модуль стоку q_p пропонується, через відсутність гідрологічних спостережень у регіоні, розраховувати з використання паводкоформуючих опадів $X_ð$, тобто

$$q'_p = \frac{n+1}{n}\frac{1}{T_0}(\tilde{O}_ä)_p \cdot \eta_{ä}, \qquad (2.23)$$

де q'_p - максимальний модуль схилового припливу паводкових вод забезпеченістю P%;

$\frac{n+1}{n}$ - коефіцієнт часової нерівномірності припливу паводкових вод до руслової мережі;

T_0 – тривалість схилового припливу під час дощових паводків;

$(\tilde{O}_{ä})_{ð}$ - розрахункові опади

$$(\tilde{O}_{ä})_{ð} = (\tilde{O}_{ä})_0 \cdot \eta_{ä}; \qquad (2.24)$$

$(\tilde{O}_{ä})_0$ - середнє значення добового максимуму зливових опадів;

$\eta_{ä} = k_{í} \cdot \eta'_{ä}$ - збірний коефіцієнт стоку;

$k_{í}$ - коефіцієнт просторової нерівномірності опадів;

$\eta'_{ä}$ - об'ємний коефіцієнт стоку.

Стосовно досліджуваної території, можна впевнено стверджувати, що паводкоформуючі опади мають не тільки локальний характер, але й тривалість усього декілька годин. Тому добові максимуми опадів повною мірою репрезентують їх кількість за окремий дощ. Статистична обробка часових рядів $X_ð$ була виконана по даних 71 метеорологічних станцій і постів, розташованих у межах Причорноморської низовини. Просторове узагальнення $(\tilde{O}_{ä})_0$, C_v і C_s/C_v виконано методом С.Н.Крицького і М.Ф.Менкеля [17]. Обидва параметри ($(\tilde{O}_{ä})_0$ і C_v) і співвідношення C_s/C_v в основному підкоряються випадковому розподілу, а тому підлягають осередненню по території, причому $(\tilde{O}_{ä})_0$=37.9 мм, C_v=0.47 і C_s/C_v=3.0. На базі таблиць нормованих ординат кривої трипараметричного гама-розподілу при забезпеченості P=1% розрахунковий шар добових опадів дорівнює 98.2 мм.

Оскільки добові опади по метеорологічних станціях і постах є точковими величинами, то для переходу їх з урахуванням розміру водозборів, необхідно до точкових значень ввести редукційні коефіцієнти переходу $k_{í}$.

За дослідженнями А.М. Бефані [14), для півдня України:

- при $t_p < 1$ доби

$$k_{í} = 1 \Big/ \left(1 + 0.003F^{\frac{3}{4}}\right); \qquad (2.25)$$

- при $t_p \geq 1$ доби

$$k_{í} = 1 \Big/ \left[(1 + 0.0038) / (1 + 0.26t_p) F^{\frac{3}{4}}\right] \qquad (2.26)$$

Коефіцієнт паводкового стоку є відношення

$$\eta'_{ä} = Y_m / X_{ä}, \qquad (2.27)$$

де Y_m - шар стоку за паводок.

Узагальнені по території коефіцієнти паводкового стоку при забезпеченості *P*=1% представлені у табл.2.2 (в залежності від розмірів водозборів).

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти паводкового стоку $\eta'_{ä}$

F, км^2	0	10	50	100	200	500	1000	5000	10000
$\eta'_{ä}$	0.60	0.57	0.51	0.49	0.47	0.46	0.45	0.44	0.41

Невисвітлена область *F*<100 км^2 була доповнена даними нормативного документу СНіП 2.01.14-83.

Збірний коефіцієнт стоку $\eta_{ä} = k_{í} \cdot \eta'_{ä}$ розраховувався і нормувався шляхом поєднання табличних значень $\eta'_{ä}$ і $k_{í}$, визначених за формулами (2.25) чи (2.26), в залежності від тривалості руслового добігання $t_p = f(F)$. Змінюється $\eta_{ä}$ від 0.60 при *F*=0 до 0.14 – при *F*=10000 км^2 (табл.2.3).

Таблиця 2.3 – Коефіцієнти паводкового стоку $\eta_{ä}$

F, км^2	0	10	50	100	200	500	1000	5000	10000
$\eta_{ä}$	0.60	0.53	0.48	0.45	0.40	0.38	0.29	0.19	0.14

Викладена методика розрахунку характеристик максимального стоку весняних водопіль і дощових паводків була використана при визначенні припливу поверхневих вод до Хаджибейського лиману.

3 НАУКОВО-МЕТОДИЧНА БАЗА СКЛАДАННЯ ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУ ШАРІВ СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ ДЛЯ ОЦІНКИ НАПОВНЕННЯ ХАДЖИБЕЙСЬКОГО ЛИМАНУ

3.1 Загальні положення про визначення припливу води до водоймищ

Прогнози сезонного припливу до водоймищ закритого типу, яким є і Хаджибейський лиман, необхідні для визначення рівнів їх наповнення. Існуючі в літературі, наприклад в [18], методи розрахунку припливу води до водосховищ чи озер можуть відноситись й до закритих водоймищ, у тому числі і розглядуваного в роботі Хаджибейського лиману.

Як і сток незарегульованої річки, приплив води до водосховища чи озера за період весняного водопілля або інший період часу можна виразити у вигляді витрати води чи в об'ємних одиницях. Щодо разробки методики прогнозів припливу за період водопілля, то для цієї мети вираження припливу в одиницях шару залишає за собою перевагу, також як і у випадку незарегульованних річок.

При визначенні припливу води до водоймища визначається щорічний приплив води за даними гідрометричних вимірів в створі річки, яка живить водоймище. Для лиману Хаджибейський це р.Малий Куяльник. У випадку прогнозу весняного припливу тало-дощової води може бути використаний метод прогнозу весняного стоку на річці, розглянутий нижче, але у випадку відсутності стаціонарних даних гідрологічних спостережень на ній. Важливим є й встановлення ймовірності настання у багаторічному розрізі величини цього припливу і дата його початку.

Враховуючи специфіку водоймищ закритого типу, потрібно розрізняти декілька понять припливу води. В першу чергу це природний приплив – загальний об'єм води, що надходить до водоймища і корисний приплив – сума природного припливу з опадами, випавшими на дзеркало водоймища, за усуненням втрат води на випаровування та фільтрацію.

Крім того, для водосховищ вводиться така змінна величина – *корисно-використовуємий приплив* води, який визначається з урахуванням природних витрат води річки й максимальної водопропускної здатності всіх турбін гідроелектростанції. Для Хаджибейського лиману, який пов'язаний з морем водоскидним каналом, можна розглядати подібний випадок як для водосховища.

При оцінці наповнення водоймища виникають труднощі щодо визначення припливу води до них. Особливо це стосується добового припливу, що обумовленно скороченням існуючої раніше системи гідрометричних спостережень, з одного боку, а з іншого – недостатнім й несвоєчасним проведенням цих спостережень в межах самих водоймищ. Визначення з потрібною точністю добового припливу води до водоймищ потребує значно більш розвиненої гідрометричної мережі, а також додаткових гідрометеорологічних спостережень на самих водоймищах (рівні води, опади, випаровування), необхідних для водобалансових розрахунків [18].

Визначення припливу води до водоймища як природного, так і корисного у заданий проміжок часу (у даному випадку для періоду весняного водопілля) може бути виконане *двома способами*: з використанням даних про стік річок, які живлять водоймище чи користуючись рівнянням водного балансу водосховища.

Перший спосіб, який використовується в даному науковому проекті, дозволяє визначити безпосередньо природний приплив до водойми по фактичному або спрогнозованому стоку річок. Другий спосіб дає можливість безпосередньо визначити корисний приплив, тому для того щоб перейти від нього до природного припливу, необхідні додаткові розрахунки витрат води [18].

Енергетику та водне господарство, наприклад, в першу чергу, цікавлять прогнози квартального й місячного припливу води до водосховища. Прогнози стоку води за період водопілля необхідні для аналізу при розробці методики прогнозу припливу за II (весняний) квартал. Що стосується лиманів північного Причорномор'я, особливо Хаджибейського, найбільш багатоводний весняний приплив до якого у багатосніжні роки стає загрозою затоплення чисельних районів міста, необхідним є завчасний прогноз не тільки величини самого шару потрапляючої у весняний період води, а й встановлення дати максимального припливу води. Крім того, для оцінки можливих небезпечних наслідків від високих весняних вод у кожному році, вкрай важливим є встановлення ймовірності настання максимуму припливу у багаторічному розрізі.

3.2 Метод довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля річок

3.2.1 Основні положення методу прогнозів

Методика для територіального довгострокового прогнозу стоку весняного водопілля [19] заснована на регіональних залежностях модульних коефіцієнтів шарів стоку від сумарних запасів води в сніговому покриві й весняних опадах (виражених щодо їх середнього багаторічного значення) для річок, по яких є багаторічні ряди гідрометеорологічних спостережень у вигляді:

$$Y_m / Y_0 = f\,[\,(S_m + X_1 + X_2) / (S_0 + X_{10} + X_{20})\,] \qquad (3.1)$$

або що теж саме

$$k_Y = f\,(k_X), \qquad (3.2)$$

де Y_m і Y_0 – шар весняного стоку і його норма, мм;
S_m і S_0 – максимальний запас води в сніговому покриві і його норма, мм;
X_1 і X_{10} – опади періоду танення снігу і їх норма, мм;
X_2 і X_{20} – опади періоду спаду весняного водопілля та їх норма, мм;
$k_Y = Y_m / Y_0$ – модульний коефіцієнт шарів стоку весняного водопілля;

k_X – модульний коефіцієнт сумарного надходження води на водозбір у період весняного водопілля

$$k_X = (S_m + X_1 + X_2)/(S_o + X_{1o} + X_{2o}). \quad (3.3)$$

При побудові залежностей для прогнозу шарів стоку весняного водопілля здійснюється типізація водопіль по їх водності (багато-, середньо- і маловодні), з використанням багатомірної статистичної моделі, наприклад, дискримінантної функції (*DF*), яка враховує комплекс факторів, що впливають на умови формування весняного водопілля. Функція DF записується у вигляді [20]

$$DF = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + ... + a_mx_m, \quad (3.4)$$

де $A = (a_0, a_1, a_2, ... , a_m)$ - вектор коефіцієнтів дискримінантної функції**;**

$X = (x_1, x_2, ... ,x_m)$ - вектор ознак (вектор-предиктор);

m - кількість вимірюваних ознак ($j = 1, 2, ... , m$).

Для вирішення задачі дискримінації необхідний поглиблений аналіз досліджуваного процесу з метою здійснення вибору найбільш інформативних чинників (предикторів), які могли б обгрунтувати особливості розвитку природного процесу стоку в різноманітних ситуаціях. Оцінити вірність вибору вектор-предиктора можливо тільки, здійснивши конкретну дискримінацію.

Так, для процесу формування весняного водопілля до вектор-предиктора дискримінантної функції можуть бути включені такі фактори водопілля, як сумарні запаси вологи на водозборі, що приймають участь у формуванні весняного водопілля (снігозапаси та рідкі опади), індекси зволоження ґрунтів і глибини їхнього промерзання й ін., які виражені в модульних коефіцієнтах.

Для застосування моделі дискримінантного аналізу попередньо необхідно розбити вихідну вибірку на класи (групи) за тією або іншою ознакою. Стосовно до поставленої задачі, приналежність предиктанта (модульних коефіцієнтів шарів весняного стоку) до даного класу здійснювалася за положенням точок на графіках зв'язку $\frac{Y_m}{Y_0} = f\left(\frac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}}\right)$.

За знаком дискримінантних рівнянь (більше або менше нуля) водопілля на річках можна диференціювати по типах водності – шар стоку більше, біля норми або нижче норми. Побудовані прогностичні зв’язки виду (3.2) можна описати рівнянням поліному n-степені (але не вище 3-ї) у вигляді

$$k_Y = b_0 + b_1k_X + b_2k^2_X + b_3k^3_X, \quad (3.5)$$

де b_0 , b_1 , b_2 , b_3 – коефіцієнти поліному.

3.2.2 Визначення прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля

При наявності регіональних залежностей вигляду (3.1), а також даних снігомірних зйомок, використовуючи карту S_o і середньо багаторічне значення дощових опадів під час весняного водопілля X_{1o} і X_{2o}, знаходиться Y_m/Y_o, чисельними значеннями яких є модульні коефіцієнти

$$k_Y = Y_m/Y_o. \qquad (3.6)$$

Перехід від модульних коефіцієнтів k_Y до шарів стоку весняного водопілля Y_m одержують за рівнянням

$$Y_m = k_Y Y_0, \qquad (3.7)$$

де Y_0 – це норма шару весняного стоку, яка може бути отримана як середньобагаторічне значення при наявності тривалих стокових спостережень на річках або знята з карти норм Y_0 для геометричних центрів тяжіння водозборів, у тому числі для невивчених у гідрологічному відношенні річок, наприклад, у межах Причорноморської низовини.

3.2.3 Визначення забезпеченості прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля

У гідрологічній практиці прогнози стоку представляються у вигляді очікуваних величин із зазначенням ймовірності похибки, що з ймовірністю 50% визначає межі інтервалу, у якому перебуває дійсне значення прогнозної величини.

Встановлення забезпеченості прогнозних величин Y_m для невивчених річок може бути здійснене шляхом статистичної обробки шарів весняного стоку. Статистична обробка виконана по даних багаторічних рядів стокових спостережень на річках Причорномор'я. Для річок, на яких не має таких рядів спостережень або вони короткочасні, визначення статистичних характеристик ведеться при їхньому узагальненні для території (розд.4).

Для оцінки забезпеченості прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля можна використати криву трипараметричного гама-розподілу С.Н.Крицького й М.Ф. Менкеля [12].

Забезпеченість прогнозних величин Y_m визначається у вигляді

$$P_1 < P_{Ym} < P_2,, \qquad (3.8)$$

де P_1 і P_2 – верхня і нижня межа забезпеченості.

3.2.4 Просторове представлення прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля

При територіальному прогнозуванні найбільш наглядною формою є

картографічне представлення прогнозної величини, що дозволяє одержувати прогнозне значення для будь-якого водозбору у межах розглядуваної території. Крім того, визначити розміри майбутнього водопілля, особливо для невивчених річок, представляється можливим на основі карт не в фактичних, а в відносних величинах модульних коефіцієнтів шарів стоку – k_Y.

В розглядуваному методі прогнозу просторове узагальнення прогнозних шарів весняного стоку виконується шляхом побудови карт зміни по території модульних коефіцієнтів шарів весняного стоку k_Y.

Якщо прогнозований модульний коефіцієнт k_Y<1, то шари стоку водопілля будуть нижчими за норму, якщо ж k_Y>1, то водопілля очікується вищим за норму, а якщо ж k_Y знаходиться в межах одиниці, то водопілля буде прогнозуватися близьким до норми.

Одночасно з цим складаються й карти забезпеченості (*P%*) прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля. Забезпеченість *P%* розраховується на основі кривої трипараметричного гама-розподілу при встановлених для заданої території значеннях C_v і C_s/C_v. Наприклад, при P_Y=10% - водопілля буде спостерігатися один раз у 10 років, при P_Y= 1% - один раз у 100 років і т.д.

3.2.5 Оцінка якості методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля

Оцінка ефективності і якості методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля на річках виконується за критерієм якості S/σ та забезпеченості допустимої похибки *P%* [21]. Середня квадратична похибка перевірних прогнозів *S* розраховується за формулою вигляду

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - Y_i')^2}{n}}, \qquad (3.9)$$

де Y_i і Y_i' - спостережене і прогнозне значення шарів стоку весняного водопілля, відповідно.

Середнє квадратичне відхилення прогнозної величини від норми σ дорівнює

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - Y_0)^2}{n-1}}, \qquad (3.10)$$

де *Yi* - значення прогнозованого елементу;
Y_0 - його норма;
n - число членів ряду.

При числі членів ряду для розробки методики прогнозу більше 25 методика ефективна та може бути використана на практиці при $S/\sigma \leq 0.80$ і забезпеченості допустимої похибки (P) порядку 60 - 80 %.

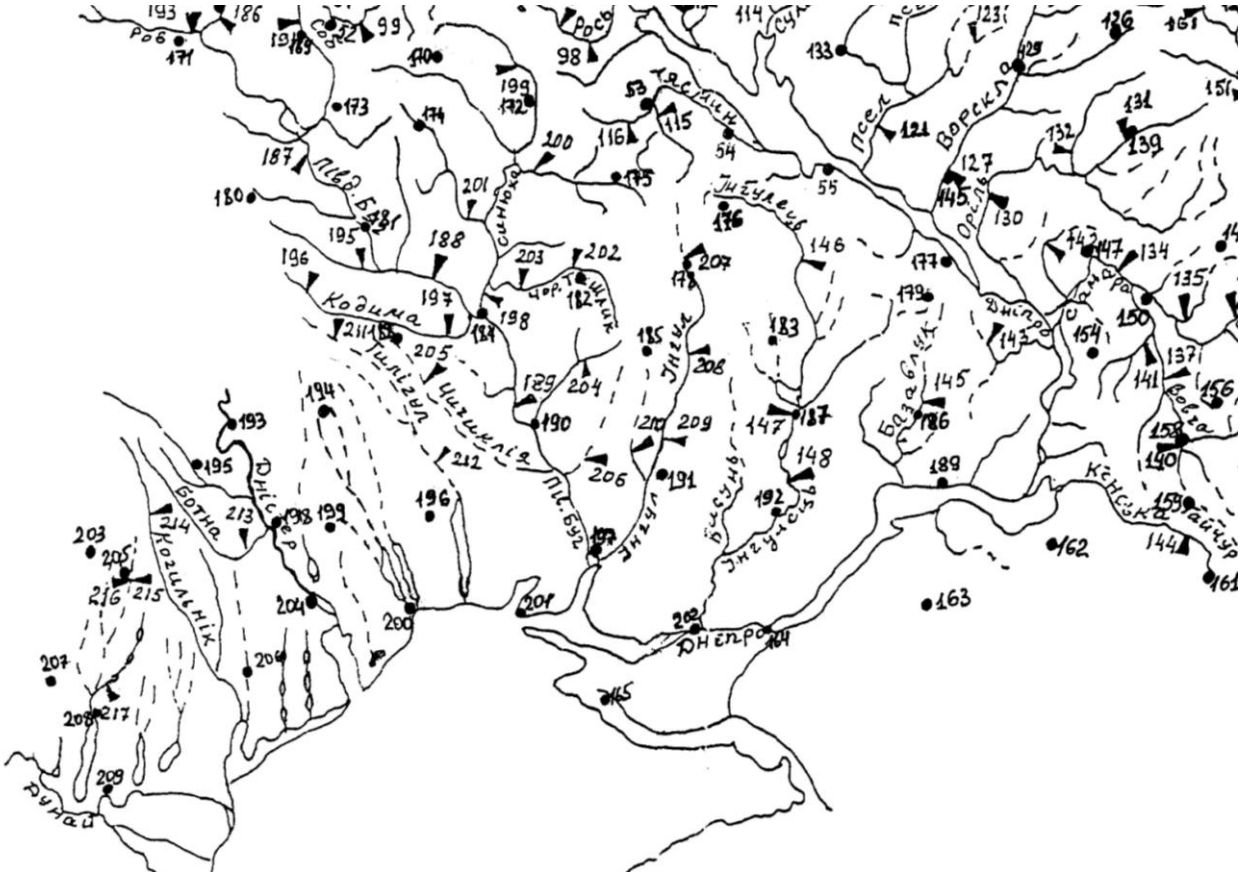
При прогнозуванні шарів весняного стоку невивчених річок виникають труднощі при визначенні оцінки допустимої похибки прогнозу. Може бути отримана залежність $\delta_{доп}$ шарів стоку водопілля (мм) від широти центрів тяжіння водозборів (φ^o). При цьому формула дозволяє визначити значення $\delta_{доп}$ для будь-якої річки, навіть у випадку відсутності на ній спостережень за стоком води.

4 ЗБІР ТА СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ВИХІДНОЇ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА ЇЇ УЗАГАЛЬНЕННЯ ПО БАСЕЙНУ ХАДЖИБЕЙСЬКОГО ЛИМАНУ

4.1 Склад і період спостережень

Для узагальнення факторів формування весняного стоку в басейні Хаджибейського лиману й розробки методики довгострокового прогнозування шарів стоку весняного водопілля були зібрані матеріали спостережень за багаторічний період з метеорологічних і агрометеорологічних щорічників, а також з режимного видання „Основные гидрологическиеі характеристики” за період до 1990 р., матеріали спостережень з 1991 по 1997-2000 роки - в Центральній геофізичній обсерваторії (ЦГО, м.Київ) і Українському гідрометеорологічному центрі (УкрГМЦ, м.Київ).

Вибір об’єктів дослідження проводився, виходячи із наявності найбільш тривалих рядів спостережень за стоком води і факторами водопілля. Схема гідрометеорологічної вивченості території Причорноморської низовини показана на рис.4.1.



▼- гідрологічний пост; • – метеорологічна станція

Рисунок 4.1 – Гідрометеорологічна вивченість території

Тривалість розрахункового періоду обумовлена наявністю сумісних спостережень за стоком води і факторами весняного водопілля, а також характером стокоутворюючих факторів. Надійні ряди спостережень за сніговим покривом на водозборах є з 1960 р., а дані спостережень за промерзанням ґрунту опубліковані лише з 1966 р.

Дані стокових спостережень за характеристиками весняного водопілля в басейнах річок Причорноморської низовини дуже не однорідні у часовому відношенні. Багаторічні стокові ряди не рідко перериваються (1975-1988 рр.), або ж зовсім відсутні. Тому розрахунковий період при розробці методики прогнозу весняного стоку в основному визначався періодом сумісних стокових спостережень на річках та за елементами метеорологічного режиму.

Звідна таблиця переліку гідрологічних постів і періодів спостережень за витратами води наведені в табл. 4.1, переліку метеостанцій, складу метеорологічних і агрометеорологічних спостережень з вказівкою наявних рядів даних по них – в табл. 4.2.

Для розробки методики прогнозу максимального стоку весняного водопілля в басейнах річок Причорноморської низовини були складені таблиці базової та оперативної гідрометеорологічної інформації.

Таблиця базової гідрометеорологічної інформації включає:

1. *морфометричні та басейнові характеристики річок*:

- площі водозборів F, км^2;
- залісеність водозборів $f_л$, в частках від площі водозборів F;
- широта центру тяжіння водозборів $\varphi°$ півн.ш;

2. *середні багаторічні дані*:

- карта норм шару стоку весняного водопілля Y_0, мм;
- карта норм максимальних запасів води у сніговому покриві S_0, мм;
- норми весняних опадів X_{1_0} і X_{2_0}, які приймають участь у формуванні весняного водопілля, визначені як середні багаторічні значення;
- норми максимальних значень глибин промерзання ґрунту під озимими L_0, визначені як середні багаторічні значення;
- норми середніх місячних витрат води річок, м^3/с;
- середньомісячні температури повітря за лютий (Θ_{02},°С) та березень (Θ_{03},°С) за даними метеорологічних станцій;
- шари стоку весняного водопілля за період спостережень на річках півдня України.

Для складання таблиці оперативної гідрометеорологічної інформації були використані матеріали багаторічних спостережень:

- максимальні запаси води у сніговому покриві на дати випуску прогнозів 10, 20, 28 лютого і на дату їх максимального накопичення S_m, мм за даними снігомірних зйомок на метеорологічних станціях;
- опади періоду весняного сніготанення X_1, мм та періоду до кінця водопілля X_2, мм за даними метеорологічних станцій;
- максимальна глибина промерзання (за зиму) ґрунту під озимими L, см за даними пунктів виміру;

Таблиця 4.1 Перелік гідрологічних постів і періоди спостережень за витратами води на річках Причорноморської низовини

Номери за рис.3.1	Річка-пункт	Періоди спостережень	Кількість років
195	Савранка-с.Осічки	1936-41,45-97	59
196	Кодима-с.Обжила	1946-88	43
197	Кодима-с.Катеринка	1931-41,45-2000	64
198	Сінюха-с.Сін.Брід	1925-31,33-2000	75
200	Велика Вись-с.Ямпіль	1926-41,43,45-97	70
201	Ятрань-с.Покотилово	1955-97	43
202	Чорний Ташлик-с.Пісчаний Брід	1965-88	24
203	Чорний Ташлик-с.Тарасівка	1933-43,45-2000	67
204	Мертвовід-с.Крива Пустош	1949-97	49
205	Чичиклея-с.Василівка	1851-58,61-88	36
206	Гнилий Єланець-с.Женєво-Криворіжжя	1936-41,45-71,73,80-82,85-88	41
207	Інгул-м.Кіровоград	1945-81,83-90	45
208	Інгул-с.Седнівка	1954-90	37
209	Інгул-с.Новогорожено	1931-41,45-90	57
210	Громоклея- с.Михайлівка	1960-81,83-88	43
211	Тілігул- с.Новоукраїнка	1955-88	32
212	Тілігул-с.Березівка	1953-90	34
213	Ботна-м.Каушани	1949-86	38
214	Когильник-м.Котовськ	1959-86	28
215	Ялпух-з.ст.Комрат	1962-86	25
216	Муса-з.ст.Комрат	1970-77	8
217	б.Тараклія-смт Тараклія	1960-86	27

Таблиця 4.2 – Склад і період спостережень за метеорологічними та агрометеорологічними величинами, які використані при розробці методики прогнозу шарів стоку весняного водопілля

Номери за рис.3.1	Метеостанція - басейни річок	Періоди, за які використані дані спостережень			
		Опади	Снігозапаси	Температура повітря	Глибина промерзання ґрунту
181	п.Гайворон	1956-1998	1960-2000	1956-2000	-
184	п.Первомайськ-р.Пів. Буг	1956-1998	1962-2000	1956-2000	-
188	п.Любашівка-р.Базавлук	1956-1998	1960-2000	1956-2000	1966-1988
194	п.Затишшя-рр. В. Куяльник і М.Куяльник	1956-1998	1962-1988	1956-2000	1966-1988
195	п.Кишинів-р.Дністер	1956-1998	1968-1988	1968-2000	1966-1988
196	п.Сербка-р.Тілігул	1956-1998	1962-1989	1956-2000	1966-1988
199	п.Роздільна-р.Кучурган	1956-1998	1962-1988	1956-2000	1966-1988
203	п.Леово-р.Дунай	1956-1998	1968-1988	1968-1983	1966-1988
205	п.Комрат-р.Ялпуг	1956-1998	1968-1988	1968-1983	1966-1988
206	п.Сарата-р.Сарата	1956-1998	1962-1988	1956-2000	1966-1988
208	п.Болград	1956-1998	1960-1987	1956-2000	1966-1988
209	п.Ізмаїл, обс.-р.Дунай	1956-1998	1962-1987	1956-1987	1966-1988

- середні модулі осінньо-зимового стоку з вересня попереднього року по січень поточного року ($q_{09\text{-}01}$) або витрати води в річках перед весняним водопіллям, л/с·км^2;

- середньомісячні температури повітря за лютий (Θ_{02},°С) та березень(Θ_{03},°С) за даними метеорологічних станцій.

За отриманою вихідною інформацією складено комп'ютерну базу вихідних даних, яку покладено в основу подальшої розробки методики прогнозу шарів стоку весняного водопілля.

4.2 Статистична обробка та узагальнення характеритсик весняного водопілля

Статистична обробка та узагальнення норм шарів стоку весняного водопілля

Розрахунок статистичних параметрів виконано по 22 гідрологічних постам на річках півдня рівниної України (Причорноморської низовини), з періодами спостережень від 15 років – р. Муса – п. Комрат до 72 років – р.Синюха – п. Синюхін Брід. При цьому отримані близькі значення $(C_v)_Y$ а методами моментів та найбільшої правдоподібності (значення розташовані на лінії рівних величин). В подальшому в методиці прогнозу характеристик весняного водопілля будуть прийняті значення $(C_v)_Y$, отримані у другому методі.

За методом найбільшої правдоподібності, значення $(C_v)_Y$ шарів весняного стоку коливаються від 0.60 – р. Когильник- м. Котовськ до 1.75 - р.Тараклія – с.Тараклія. Коефіцієнт ассиметрії по території півдня рівниної України змінюється від 0.74 – р. Когильник- м. Котовськ до 5.81 – р.Чорний Ташлик - с.Тарасівка. Відношення коефіцієнтів асиметрії та варіації $(C_s/C_v)_Y$ отримані за методом найбільшої правдоподібності і осереднені по території на рівні 2.24. Це дозволило для подальших розрахунків прийняти нормативне співвідношення $(C_s/C_v)_Y$=2.0.

Для узагальнення по території статистичних параметрів шарів весняного стоку були побудовані зв'язки цих параметрів з географічною широтою геометричних центрів тяжіння водозборів (φ^o півн.ш.), які зменшуються при збільшенні широти водозборів:

$$(C_V)_Y = 1.29 - 0.19(\varphi^0 - 47). \qquad (4.1)$$

Це дає можливість картування величин $(C_v)_Y$ шарів весняного стоку (рис.4.2). Однак, для р. Малий Куяльник і, зокрема, басейну Хаджибейського лиману визначення $(C_v)_Y$ за картою (див. рис.4.2) очевидно не можливе, так як відсутні їх значення в цілому по частині території Причорномор'я.

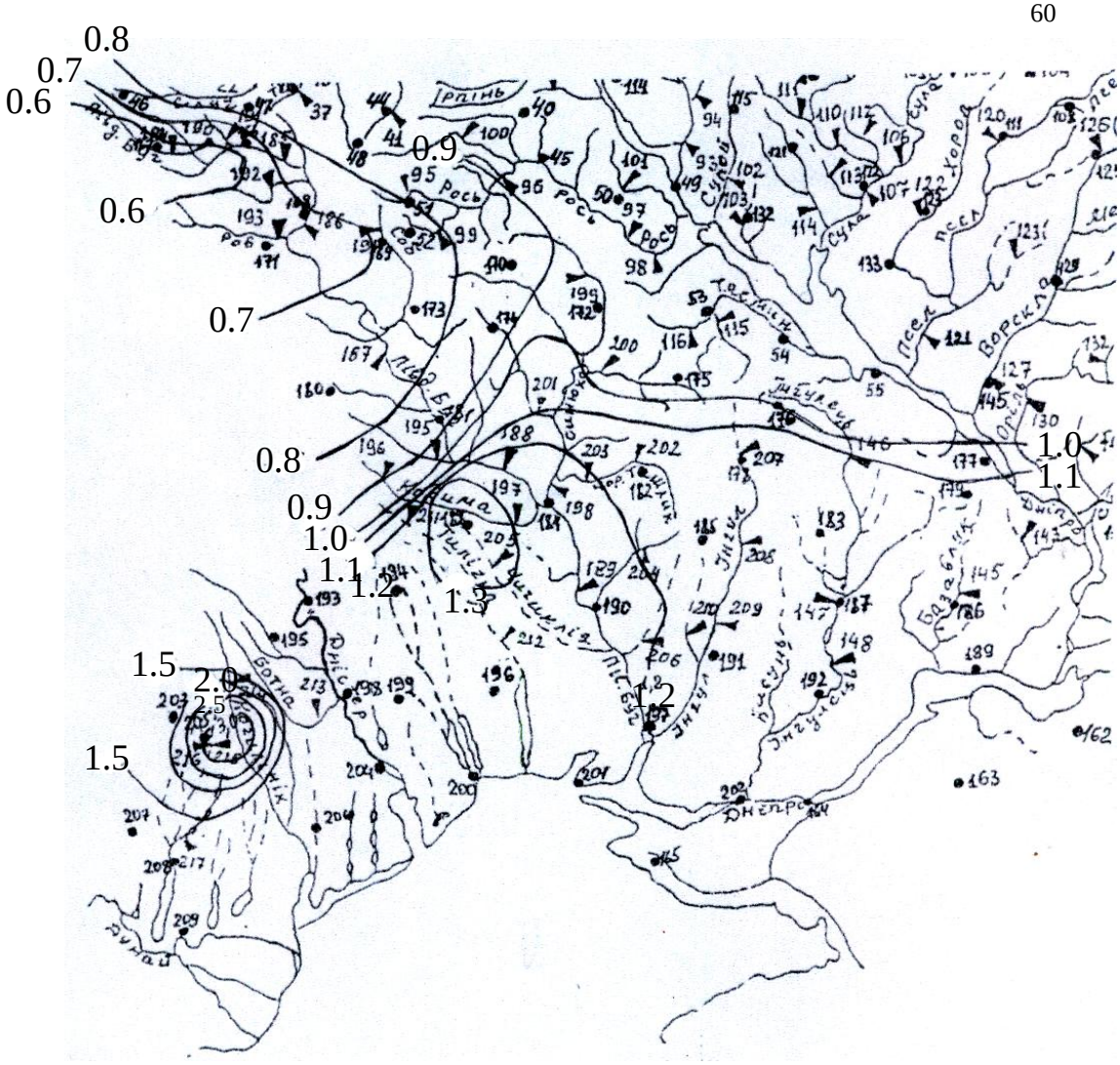


Рисунок 4.2 – Зміна коефіцієнтів варіації шарів стоку весняного водопілля на території півдня України

Разом с цим отримані достатньо надійні залежності коефіцієнтів варіації від середньобагаторічних значень шарів стоку Y_0 . Це дає змогу їх отримання через значення Y_0 у вигляді:

$$(C_v)_Y = 2.63Y_0^{-0.34}. \qquad (4.2)$$

При встановленні просторового розподілу характеристик стоку слід мати на увазі не тільки географічну зональну обумовленість досліджуваної величини, але й її залежність від місцевих особливостей зони формування і розвитку стоку. Спроба урахування таких місцевих факторів на досліджуваній території була здійснена й описана нижче.

Побудовані карти розподілу середніх багаторічних шарів весняного стоку, що є загально прийнятим прийомом просторового узагальнення гідрологічних характеристик з метою встановлення фізико-географічної обумовленості змінювання по території, а також для поширення розроблюваних розрахункових чи прогностичних схем для невивчених у гідрологічному відношенні водозборів.

Середній багаторічний шар стоку за період весняного водопілля (Y_0) є однією з основних характеристик в методі просторових довгострокових прогнозів максимального стоку води весняного водопілля при встановленні норм максимальних модулів стоку для невивчених у гідрологічному відношенні річок. Вивчення середнього багаторічного шару стоку весняного водопілля базувалося на аналізі й обробці багаторічних стокових рядів спостережень по 18 гідрологічних постах за період з початку вимірів витрат води по 1997 р., включно.

Для узагальнення середньобагаторічних шарів стоку весняного водопілля була визначена їх залежність від географічного положення водозборів (рис. 4.3) при коефіцієнті кореляції зв'язку r=0.77 і отримане рівняння у вигляді

$$Y_0 = 5.62(\varphi^0 - 47) + 11.4, \qquad (4.3)$$

де φ^0 - географічна широта геометричних центрів тяжіння водозборів, в долях ^{0} півн.ш.

Слід відзначити, впливу на шари весняного стоку залісеності і заболоченості не виявлено.

Так як впливу на шар стоку весняного водопілля залісеності та заболоченості немає, то було виконано картування спостережених середніх багаторічних шарів стоку весняного водопілля – Y_0 (рис.4.4). Значення шару стоку весняного водопілля зменшуються з північного-заходу на південь і становлять відповідно 30-40 мм у верхів'я Південного Бугу та 10-20 мм на річках Причорноморської низовини. Однак, слід зазначити, що для басейну р. Малий Куяльник і, зокрема, Хаджибейського лиману, де спостереження за стоком води не відбуваються, визначення величини Y_0 за карто-схемою розподілу цієї величини по території (див.рис.4.4) не достатньо достовірно.

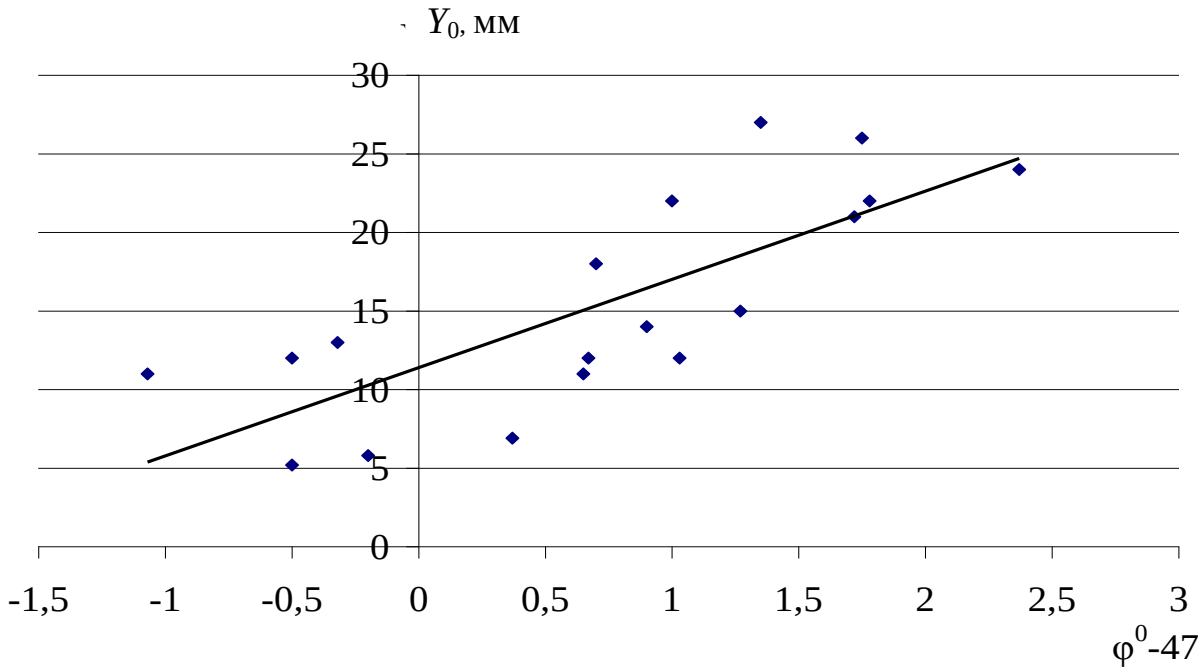


Рисунок 4.3 – Залежність норм шарів стоку весняного водопілля від географічного положення водозборів річок Причорноморської низовини

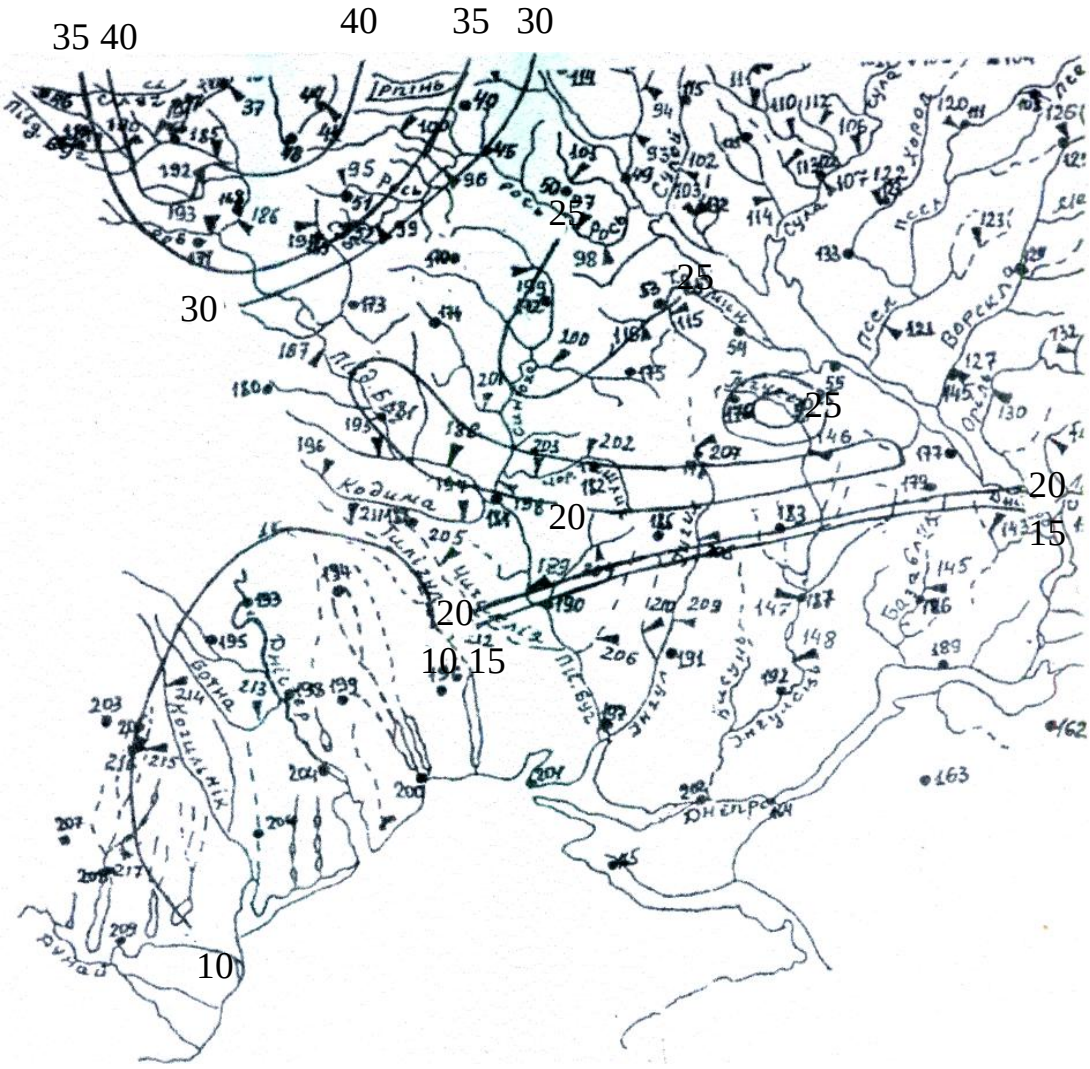


Рисунок 4.4 – Зміна норм шарів стоку весняного водопілля по території півдня України

Тому у прогнозній схемі величину норми весняного стоку встановлено за формулою (4.3) і для басейну Хаджибея при φ^0 = 46^0 50’ півн.ш. (46.83 - в частках ^{0} півн.ш.) отримане значення Y_0 рівним 10.4 мм. При цьому за (4.2) отриманий коефіцієнт варіації шарів стоку водопілля $(C_v)_Y$ рівний для басейну Хаджибейського лиману 1.19.

Статистична обробка максимальних витрат води весняного водопілля

В роботі аналогічним чином була виконана статистична обробка рядів максимальних витрат води весняного водопілля. Значення коефіцієнтів варіації для них змінюються від 0.71 на р.Когильник – м.Котовськ до 2.57 на р.Тараклія-с.Тараклія; коефіцієнтів асиметрії – від 0.75 на р.Когильник – м.Котовськ до 7.06 на р.Тараклія-с.Тараклія.

Спостерігається також закономірність зменшення коефіцієнтів $(C_v)_{Qm}$ при переході до більш північних районів. Визначення коефіцієнтів варіації максимальних весняних витрат води може бути виконане за рівнянням:

$$(C_v)_{Qm} = 1.72 - 0.20(\varphi^0 - 47)\,. \qquad (4.4)$$

Враховуючи наявність залежності (4.4) можна узагальнити коефіцієнти варіації $(C_v)_{Qm}$ по території півдня України у вигляді карто-схеми (рис.4.5). Однак, для басейну Хаджибейського лиману, як і для коефіцієнтів варіації шарів стоку, визначення $(C_v)_{Qm}$ можливе лише за (4.4) і дорівнює 1.75.

Відношення коефіцієнтів асиметрії та варіації $(C_S / C_V)_{Q_m}$ отримані за методом найбільшої правдоподібності і осереднені по території на рівні 2.1, що дозволило для подальших розрахунків прийняти нормативне співвідношення $(C_S / C_V)_{Q_m}$ =2.0.

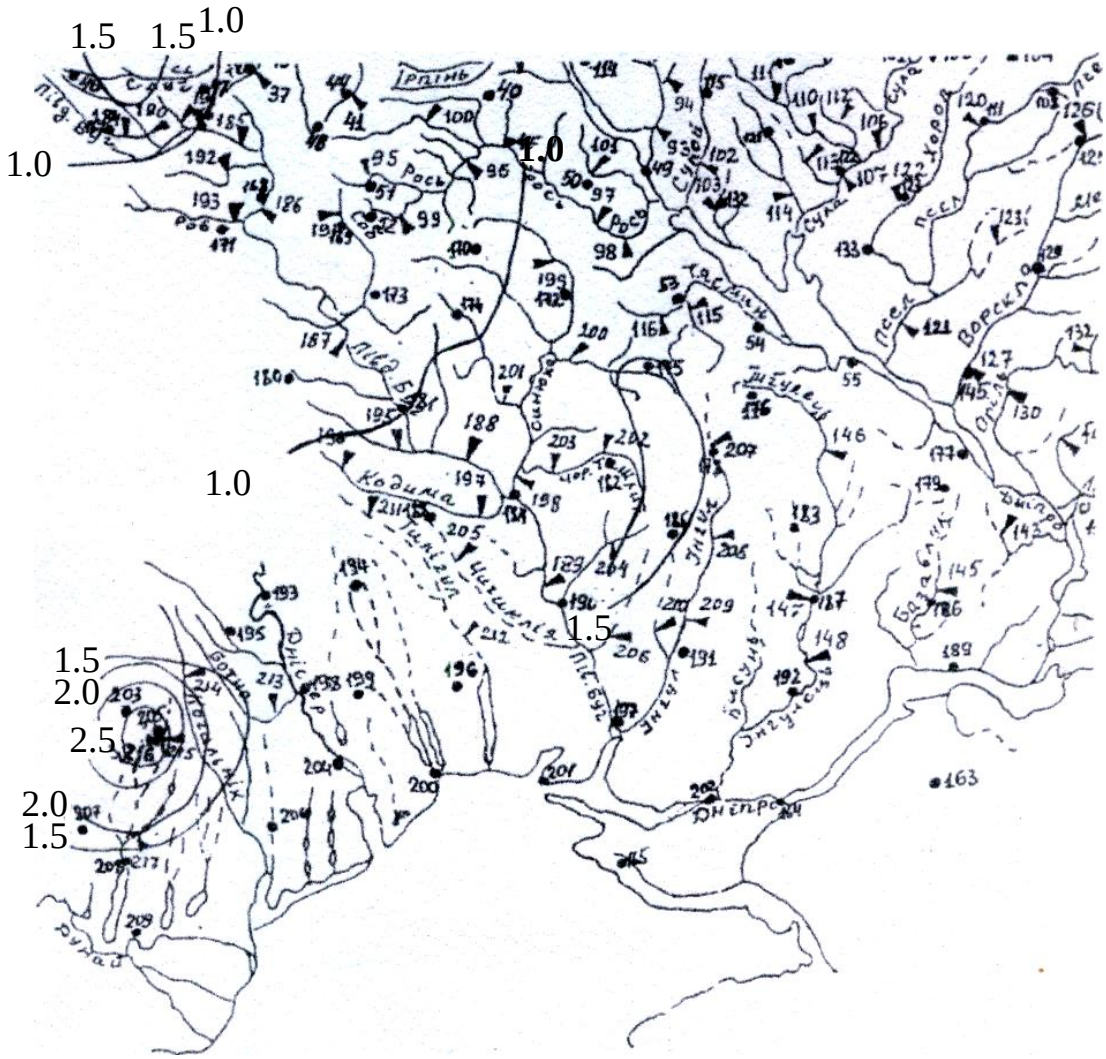


Рисунок 4.5 – Зміна коефіцієнтів варіації максимальних витрат води весняного водопілля на території півдня України

5 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ШАРІВ СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ НА РІЧКАХ ПРИЧОРНОМОРСЬКОЇ НИЗОВИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ ДИСКРИМІНАНТНОЇ ФУНКЦІЇ

Розробка методики прогнозу шарів стоку весняного водопілля на річках Причорноморської низовини включає до себе декілька етапів:

- визначення основних гідрометеорологічних факторів, які визначають процес формування весняного стоку та входять до рівнянь дискримінантної функції;
- побудову прогнозних залежностей шарів стоку водопілля на річках;
- оцінку якості розробленої методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля;
- встановлення забезпеченості прогнозних величин шарів стоку водопілля у багаторічному розрізі;
- просторове представлення модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля та ймовірності їх настання;
- адаптація прогнозної моделі для складання оперативних просторових довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля на річках Причорноморської низовини.

5.1 Основні фактори весняного водопілля та їх визначення

Дискримінанта функція (*DF*), яка використовується в прогнозній схемі, враховує комплекс чинників, що впливають на умови формування весняного водопілля. У вектор-предиктор дискримінантної функції можуть бути включені такі фактори водопілля, як сумарні запаси вологи на водозборі (максимальні снігозапаси та рідкі опади), що беруть участь у формуванні весняного водопілля, індекси зволоження ґрунтів і глибини їх промерзання та інші, виражені в модульних коефіцієнтах.

Запаси води в сніговому покриві і льодовій кірці

Запаси води в сніговому покриві є основним джерелом живлення річок у період весняного водопілля. У кожному році вони можуть бути одержані за допомогою стаціонарних снігомірних зйомок, аерофотозйомок, космічних вимірювань.

Для розрахунку середніх снігозапасів на водозборі (*S*) до їх значень, які вимірюються на польових ділянках S_n вводяться поправки на збільшення снігу у лісі

$$S = S_n(1-f_л)+ S_n\, k_л f_л, \qquad (5.1)$$

або у вигляді

$$S = S_n[1+f_л(k_л-1),], \qquad (5.2)$$

де $f_л$ – зілісеність водозборів (у частках від загальної її площі);

$k_л$ - співвідношення снігозапісів у лісі та полі.

Значення середніх на водозборах максимальних снігозапасів в і-му році S_{m_i} та їх норма S_0 розраховуються наступним чином:

$$S_{m_i} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} S_j \; ; \tag{5.3}$$

$$S_0 = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} S_{0j} \; , \tag{5.4}$$

де S_j - максимальні снігозапаси по окремих пунктах їх виміру у межах водозбору, з урахуванням запасу води в льодовій кірці та підвищеного снігонакопичення у лісі;

m- кількість вимірювальних пунктів снігозапасів.

S_{0j} - середні багаторічні значення максимальних снігозапасів у j-ому пункті.

Для отримання середніх на водозборі максимальних снігозапасів були залучені дані їх вимірів на метеостанціях та гідрологічних постах. Визначення норм максимальних снігозапасів S_0 може бути виконане по картах їх зміни по території. Для півдня України за багаторічними даними снігозйомок була побудована карта розподілу по території середніх багаторічних запасів води в сніговому покриві (рис.5.1).

Опади періоду весняного водопілля

Опади періоду весняного водопілля включають до себе рідкі опади, які випали на поверхню таючого снігу (X_1), та опади, які випали на ґрунт вільний від снігу (X_2), отримуються за даними метеорологічних станцій. При розробці методів довгострокових прогнозів елементів весняного водопілля прийнято вважати, що опади, які випадають у період від дати накопичення максимальних снігозапасів до дати сходу снігу (X_1) і поталі води, стікають із приблизно однаковими втратами, тому вони підсумовуються з максимальними запасами води в сніговому покриві й у крижаній кірці.

Визначення сум опадів, які приймають участь у формуванні максимальних витрат (рівнів) води весняного водопілля X_1 здійснювалося для кожної станції (поста) за період від дати S_m до дати максимальної витрати води, осередньої по декількох невеликих річках басейну, яка є умовним показником сходу снігу на водозборів. Опади X_2 підраховувались за період від дати Q_m до кінця водопілля.

Норми весняних опадів X_{1_0} і X_{2_0}, які приймають участь у формуванні весняного водопілля, були визначені як середні багаторічні значення.

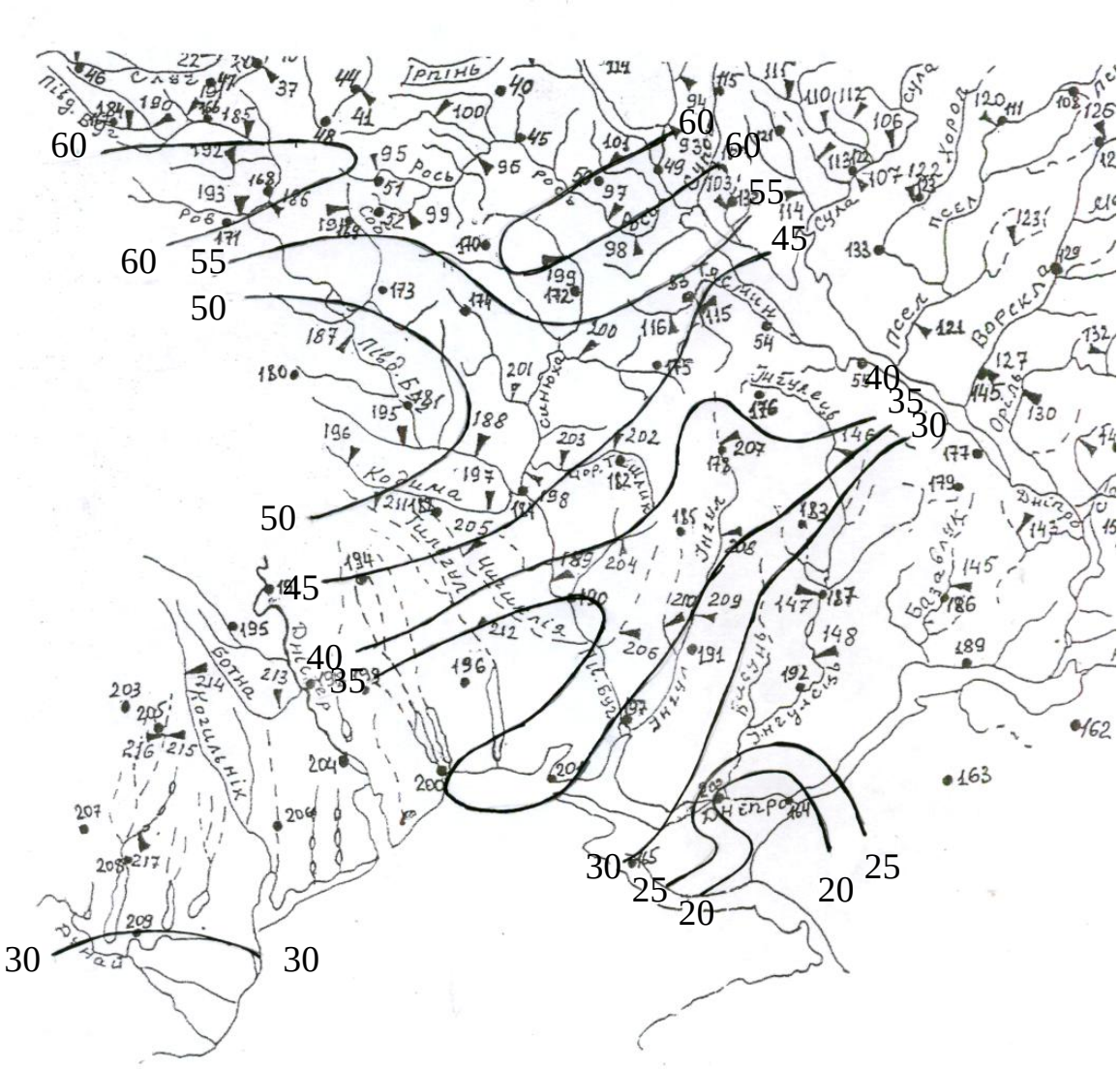


Рисунок 5.1 – Розподіл по території середніх багаторічних запасів води в сніговому покриві (мм)

Для річок, по яких недостатні дані спостережень за опадами, отримана залежність норм опадів X_{1_0} від географічного положення водозборів річок Причорноморської низовини (при коефіцієнті кореляції r=0.78) у вигляді

$$X_{1_0} = 3.31(\varphi° - 47) + 22.3, \qquad (5.5)$$

де $\varphi°$ - географічна широта геометричних центрів тяжіння водозборів, в долях град.півн.ш., приведена до умовної широти 47^0 півн.ш.

Для узагальнення опадів, що випадають після сходу снігу з поверхні грунту та обумовлюються тривалістю спаду водопіль була перевірена їх залежність від площ водозборів річок розглядуваної території. При цьому зв'язки не досить тісні при r=0.64. Залежність величин опадів X_{2_0} від географічного положення водозборів показала кращі результати – r=0.92, а рівнянння має вигляд

$$X_{2_0} = 9.6(\varphi° - 47) + 15.7 \qquad (5.6)$$

Модульний коефіцієнт сумарного надходження води на водозбір у період весняного водопілля знаходиться за формулою

$$k_x = \frac{(S_m + X_1 + X_2)}{(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0})}, \qquad (5.7)$$

де S_m - значення середніх на водозборах максимальних снігозапасів;

S_0 – норма максимальних снігозапасів на водозборах;

X_1 і X_{1_0} - рідкі опади періоду весняного сніготанення та їх норма.

На календарну дату складання прогнозу шарів стоку води весняного водопілля розрахунок середніх на водозборах *максимальних запасів води* в сніговому покриві перед весняним таненням і *опадів періоду завчасності прогнозу* $(S_m + X_1')_{ДСП}$ здійснюється за схемою

$$(S_m + X_1' + X_2')_{ДСП} = [S_{ДСП}(1 - fл) + k_л S_{ДСП} fл] + \Delta\bar{S} + X_1' + X_2', \qquad (5.8)$$

де $S_{ДСП}$ - максимальні запаси води в сніговому покриві (за вимірами у полі), які накопичилися на дату складання прогнозу, мм;

$f_л$ – залісеність водозборів, у частках від загальної площі водозбору;

$k_л$ – коефіцієнт снігонакопичення у лісі, прийнятий на рівні 1.13;

$\Delta\bar{S}$ - нормальна добавка до максимальних запасів води в сніговому покриві, мм.

X_1' - рідкі опади періоду сніготанення, тобто періоду завчасності прогнозу шарів стоку весняного водопілля, мм.

X_2' - рідкі опади періоду сніготанення, тобто періоду завчасності прогнозу шарів стоку весняного водопілля, мм.

Оскільки довгострокові прогнози кількості як твердих, так і рідких опадів не складаються, то їх необхідно враховувати, орієнтуючись на прогноз погоди. Це стосується й величин нормальної добавки до максимальних запасів води в сніговому покриві $\Delta\bar{S}$ та кількості опадів X_1' і X_2'.

Нормальні добавки до максимальних запасів води в сніговому покриві встановлені за рівнянням

$$\Delta\bar{S} = b + a(\varphi^o - 50), \qquad (5.9)$$

де φ^0 – широта метеостанцій, в частках ^{o} півн.ш.

Коефіцієнти a і b у формулі (5.11) визначаються для календарних дат випуску прогнозів. Умови введення добавки $\Delta\bar{S}$ і значення коефіцієнтів в рівнянні (5.11) наведені у табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Нормальні добавки до максимальних запасів води в сніговому покриві $\Delta\bar{S}$, мм

Умови введення добавки ($\Delta\bar{S}$)		Значення коефіцієнтів рівняння (5.9)	
ДСП: 10.02	ДСП: 20.02, 28.02	a	b
$\Theta_{02,03} \geq (\bar{\Theta}_{02,03} + 1^0)$	$\Theta_{03} \geq (\bar{\Theta}_{03} + 1^0)$	2.14-0.074 $Д$	7.47-0.25 $Д$
$(\bar{\Theta}_{02,03} + 1^0) > \Theta_{02,03} > (\bar{\Theta}_{02,03} - 1^0)$	$(\bar{\Theta}_{03} + 1^0) > \Theta_{03} > (\bar{\Theta}_{03} - 1^0)$	3.38-0.109 $Д$	20.4-0.61 $Д$
$\Theta_{02,03} \leq (\bar{\Theta}_{02,03} - 1^0)$	$\Theta_{03} \leq (\bar{\Theta}_{03} - 1^0)$	3.27-0.086 $Д$	26.8-0.55 $Д$

Умовні позначення в табл.5.1:

ДСП – дата складання прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля;

Θ_{03} і $\bar{\Theta}_{03}$ - середня температура повітря за березень та її норма, відповідно, ^{o}C.

$Д$ – кількість діб від 1-го лютого.

Таким чином, в методиці прогнозу шарів стоку весняного водопілля величини нормальних добавок будуть встановлені для будь-якого водозбору розглядуваної території в будь-який строк складання прогнозу в залежності від очікуваних температурних умов на водозборі в період після дати складання прогнозу.

У зв'язку з відсутністю інформації значення опадів (X_1' і X_2') на період завчасності прогнозу, їх величини можуть бути оцінені за нормою або, орієнтуючись на метеорологічний прогноз, як опади вище норми, біля або нижче норми, шляхом введення відповідних коефіцієнтів

$$X_1' = k_1 X_{1_0}; \qquad (5.10)$$

$$X_2' = k_2 X_{2_0}. \qquad (5.11)$$

Умови введення коефіцієнтів k_1, k_2 до норм опадів X_{1_0} і X_{2_0}, їх значення, відповідно метеорологічного прогнозу представлені у (табл. 5.2 та табл.5.3) для території рівнинної України, у тому числі для річок Причорноморської низовини. Крім того, встановлена закономірність зміни кількості опадів по території за географічним положенням водозборів.

Таблиця 5.2 – Коефіцієнти до норм опадів X_{1_0} з урахуванням метеорологічного прогнозу

Умови введення коефіцієнтів до норм опадів X_{1_0}	Коефіцієнти до норм опадів у формулі (5.10)
Опади вище норми	k_1 = 1.83-0.055(φ^0-50)
Опади біля норми	k_1 = 0.84+0.009(φ^0-50)
Опади нижче норми	k_1 =0.29+0.029 (φ^0-50)

Таблиця 5.3 – Коефіцієнти до норм опадів X_{2_0} з урахуванням метеорологічного прогнозу

Умови введення коефіцієнтів до норм опадів X_{2_0}	Коефіцієнти до норм опадів у формулі (5.11)
Опади вище норми	k_2 = 1.75-0.027 (φ^0-50)
Опади біля норми	k_2 = 0.86+0.022 (φ^0-50)
Опади нижче норми	k_2 = 0.36+0.031 (φ^0-50)

Умовні позначення:

φ^0 – широта геометричних центрів тяжіння водозборів, в частках ^{o} півн.ш.

Мінливість водопроникненності визначається погодними умовами літньо-осіннього та зимового періодів.

Аналіз умов формування весняного стоку на річках лісостепової та степової зон недостатнього зволоження або на річках з частими паводками від відлиг зимою показав, що в якості індексу передвесняного стану басейнів доцільно приймати стік безпосередньо перед весняним водопіллям. Тому у прогнозну схему до вектор-предиктора дискримінантної функції в якості показника втрат води у період весняного водопілля прийнята характеристика зволоження водозборів – середній місячний річковий стік в попередній від початку во-

допілля місяць ($Q_{п.в}$, м^3/с), віднесений до норми витрати води цього ж місяця $(Q_{п.в})_0$

$$(k_{Qп.в})_i = (Q_{п.в})_i / (Q_{п.в})_0 \,, \qquad (5.12)$$

де $(Q_{п.в})_i$ – середня витрата води і-го місяця, м^3/с.

У випадках, коли спостерігається зимовий паводок, розрахунковий період визначення середньої витрати води перед водопіллям може бути скорочений до декади або декількох днів. При цьому за величину норми $(Q_{п.в})_0$ приймається середня витрата води в місяць, відповідний розрахунковому періоду для $(Q_{п.в})$. За відсутності багаторічних даних будуються залежності норм витрат в попередній від початку водопіль місяць від площ водозборів $(Q_i)_0 = f(F)$.

В якості фактору втрат води під час водопілля при дискримінантному аналізу приймалися значення глибин промерзання ґрунтів (під озимими), найбільші перед початком весняного танення снігу й осереднені по водозборах з урахуванням даних усіх пунктів спостережень, розташованих у їх межах, і віднесені до норм промерзання, тобто

$$(k_L)_i = L_i / L_0, \qquad (5.13)$$

де L_i – середні по водозборах значення максимальних глибин промерзання ґрунтів для і-го року;

L_0 – норми глибин промерзання ґрунту на окремих водозборах

$$L_0 = 1/m \, \Sigma L_{0j} \,, \qquad (5.14)$$

де $L_{0\ j}$ – середньобагаторічні значення глибин промерзання ґрунтів в окремих пунктах спостережень, причому

$$L_{0j} = 1/n \, \Sigma L_i, \qquad (5.15)$$

$L_{0\,j}$ – кількість пунктів спостережень за промерзанням ґрунтів на окремих водозборах;

n – тривалість спостережень (у роках);

L_i – глибини промерзання ґрунтів в і-му році.

За відсутності багаторічних даних L_0 можна визначити за формулою

$$L_0 = 54.9 + 3.56(\varphi^0 - 47) \,. \qquad (5.16)$$

5.2 Побудова прогнозних залежностей шарів стоку водопілля на річках

В основу методики прогнозу припливу тало-дощових вод покладена модель прогнозування шарів стоку весняного водопілля при використанні

дискримінантного аналізу, яка розглядається у багатьох роботах авторів проекту [22-28]. Прогностичний метод реалізується шляхом побудови регіональних залежностей шару весняного стоку від максимальних запасів води в сніговому покриві з врахуванням суми рідких опадів періоду весняного водопілля, виражених у модульних коефіцієнтах, як

$$\frac{Y_m}{Y_0} = f\left(\frac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}}\right) \tag{5.17}$$

або у вигляді

$$k_Y = f\,(k_X), \tag{5.18}$$

де Y_m і Y_0 – шар весняного стоку і його норма, мм;

S_m і S_0 – максимальний запас води в сніговому покриві і його норма;

X_1 і X_{10} – опади періоду танення снігу і їх норма, мм;

X_2 і X_{20} – опади періоду спаду весняного водопілля та їх норма, мм;

$k_Y = Y_m / Y_0$ – модульний коефіцієнт шарів стоку весняного водопілля;

k_X – модульний коефіцієнт сумарного надходження води на водозбір у період весняного водопілля

$$k_X = (S_m + X_1 + X_2)/(S_o + X_{1o} + X_{2o}). \tag{5.19}$$

Такого виду залежності було побудовано для 15 річок розглядуваної території. При цьому розробка методики прогнозу шарів весняного стоку велася по опорних гідрологічних створах, тобто тих, по яких є тривалі гідрологічні ряди спостережень. Приклад прогнозної залежності для одного з опорних водозборів представлений на рис. 5.2 для р. Кодима – с.Катеринка.

На графіках залежностей відмічаються угрупування даних, утворюючих декілька окремих залежностей, які відповідають утворенню багато-, середньоє- або маловодних водопіль. Такі угруповання точок на графіках зв'язку $Y_m/Y_0 = f(S_m+X_1+X_2/S_0+X_{1_0}+X_{2_0})$ обумовлені тим, що формування весняного водопілля відбувається під впливом сукупності взаємозалежних змінних, у яких існує однотипність процесу і які при визначеному їх сполученні породжують розбіжностей між групами або класами.

До таких змінних або факторів можуть бути віднесені, насамперед, водопроникна спроможність грунтів на басейні, динаміка накопичення і сходу снігу, пов'язаних з характером зими, термінами настання весни, її температурним режимом, кількістю рідких опадів і інших особливостей гідрометеорологічного стану басейну в період весняного водопілля.

Для об'єктивної дискримінації угрупувань, які виділяються на графіках $\frac{Y_m}{Y_0} = f\left(\frac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}}\right)$, використовувалася лінійна дискримінантна функція *DF* у вигляді (3.4).

При цьому вибір вектор-предиктора здійснювався на основі ретельного і глибокого аналізу умов формування весняного водопілля на басейнах річок. На різних етапах розробки методики прогнозу випробовувалися численні варіанти набору ознак, які визначають вектор стану дискримінантної функції. До їх числа були віднесені максимальні запаси води в сніговому покриві, які накопичилися на басейні до початку весняного сніготанення, показники можливих втрат стоку (індекс зволоження грунту і глибина його промерзання), характеристики зими і початку весни.

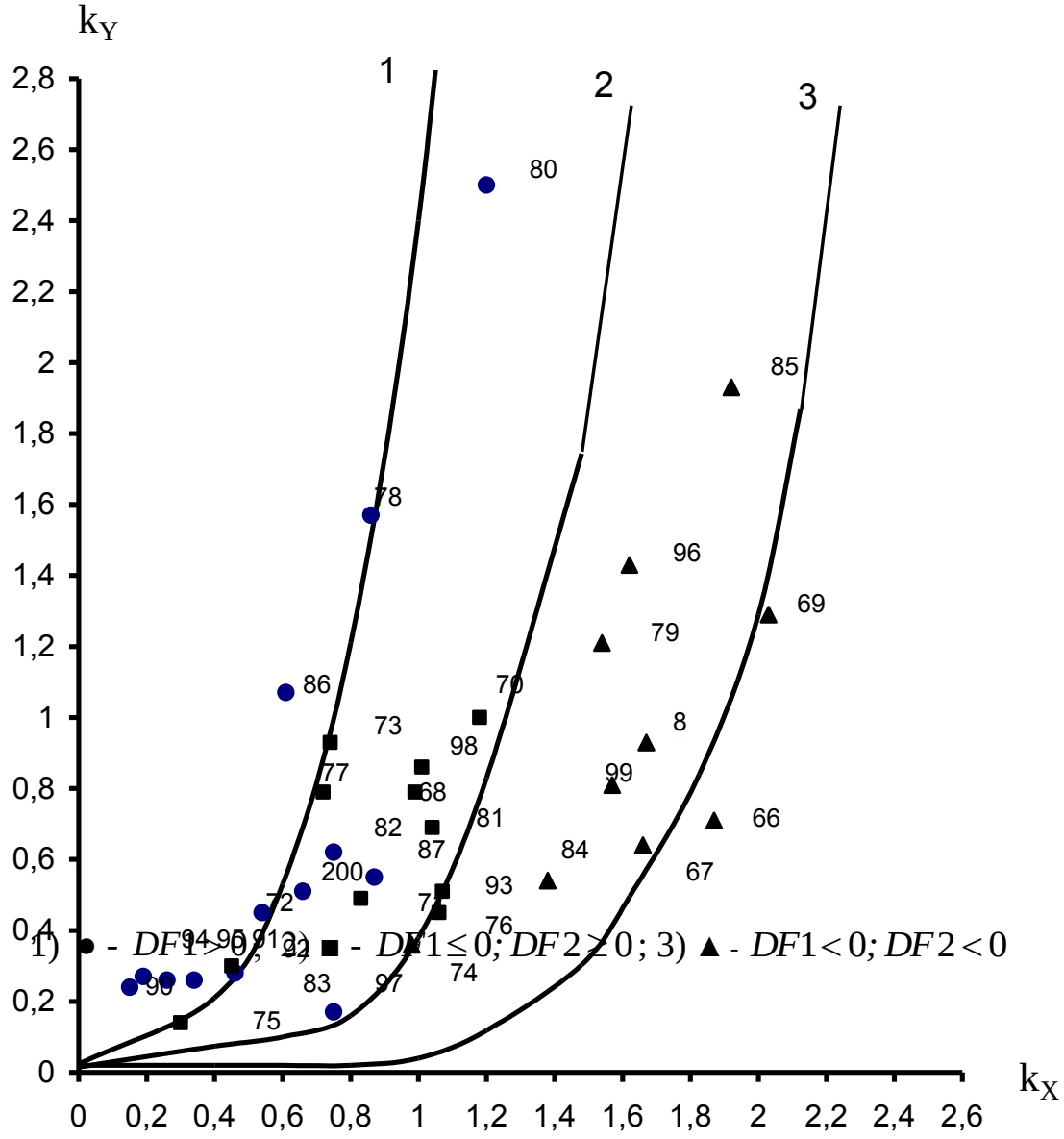


Рисунок 5.2 – Прогнозна залежність $k_Y = f\ (k_X)$ для отримання модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля (вихідні дані відносяться до р.Кодима – с. Катеринка)

Шар стоку весняних вод, крім максимальних запасів води в сніговому покриві, залежить ще й від кількості рідких опадів X_1 і X_2, які випадають під

час водопілля, тобто відповідно від дати максимальних снігозапасів до дати сходу снігу на басейнах і далі - до дати кінця водопілля. Проте, при прогнозуванні шарів весняного стоку з завчасністю іноді більшою місяця – двох ці опади невідомі на дату його випуску і їх можливо враховувати лише у вигляді деяких норм.

Аналізуючи умови формування весняних водопіль південних районів України, які пов'язані з частими зимовими відлигами і паводками на річках, в якості індексу зволоження ґрунтів на водозборах прийнята середньомісячна витрата води перед водопіллям.

За характеристику дружності весни приймалася середня температура повітря першого місяця основного періоду сніготанення – лютого. При подальших розрахунках такий фактор як температура повітря за лютий ($\overline{\Theta}_{02}$) була виключена, тому що результати розрахунків дискримінантної функції із значеннями температури або без них не змінювалися, а також з метою використання в прогнозній схемі меншого числа факторів, які невідомі до дати прогнозу, а їх необхідно прогнозувати.

Таким чином, для розрахунку *DF* до вектор-предиктору дискримінантної функції були віднесені такі фактори весняного водопілля (виражені у модульних коефіцієнтах, тобто у відношенні до їх середньобагаторічних значень), як:

а) максимальні запаси води в сніговому покриві, які накопичилися на басейнах річок до початку весняного сніготанення і весняні опади у вигляді $k_X = (S_m + X_1 + X_2)/(S_o + X_{1o} + X_{2o})$;

б) індекс зволоження ґрунтів – середньомісячна витрата води перед початком водопілля у вигляді $k_{Qп.в.} = Q_{п.в}/(Q_{п.в})_0$;

в) максимальна глибина промерзання ґрунтів перед початком весни у вигляді $k_L = L/L_0$.

Перевірка надійності обраних вектор-предикторів виконувалась шляхом неодноразової дискримінації груп років (ситуацій), близьких за умовами формування весняного стоку.

Після багаторазових випробувань при різних факторах були одержані рівняння дискримінантних функцій *DF* у вигляді

$$DF = a_0 + a_1 k_x + a_2 k_{Q_{п.в}} + a_3 k_L . \qquad (5.20)$$

Знак дискримінантної функції дозволяє надати якісний (альтернативний) прогноз майбутнього водопілля (при $DF1>0$ шар стоку більше норми, при $DF1\leq 0$; $DF2\geq 0$ - біля норми, а при $DF1<0$; $DF2<0$ нижче норми).

В табл. 5.4 наводяться дискримінантні рівняння *DF* і фактори весняного водопілля, які увійшли до вектор-предиктору *DF*.

Таблиця 5.4 – Коефіцієнти рівнянь дискримінантних функцій

$DF=a_0+a_1X/X_0+a_2[(Q_{п.в})/(Q_{п.в})_0]+a_3 L/L_0$

DF	a_o	a_1	a_2	a_3
DF1	-1.88	-14.4	5.73	6.46
DF2	0.82	-11.0	5.08	11.0

Виконані розрахунки показали, що для районів з близькими умовами формування весняних водопіль дискримінантні рівняння сталі і можуть використовуватися для усіх річок такого району як Причорномор'я.

Побудовані за знаком дискримінантних функцій прогнозні залежності (5.19) описуються поліномом 3-ої степені , тобто

$$\frac{Y_m}{Y_0} = b_0 + b_1 \frac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}} + b_2 \left(\frac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}} \right)^2 + b_3 \left(\frac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}} \right)^3$$

або

$$k_Y = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X{}^2 + b_3 k_X{}^3 , \qquad (5.21)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти поліному.

Слід зазначити, що поліном (5.23) у вигляді відносних величин модулів шарів весняного стоку k_Y та максимальних запасів води у сніговому покриві й дощових опадів під час водопілля k_X, дозволяє враховувати особливості регіональної зміни Y_m/Y_0 і $(S_m+X_1+X_2/S_0 + X_{l_0} + X_{2_0})$ по території. Аналіз прогнозних залежностей дозволив здійснити узагальнення кривих по річках районів з близькими умовами формування весняного водопілля.

За виглядом отриманих залежностей отримані коефіцієнти b_0, b_1 b_2, b_3 , які представлені в табл.5.5 за умови застосування кривих за ознаками *DF*.

Таблиця 5.5- Коефіцієнти поліному (5.21)

Умови застосування	b_0	b_1	b_2	b_3
DF1≥0	$2.10 \cdot 10^{-2}$	0.521	-1.43	3.29
DF1≤0;DF2≥0	$-3.50 \cdot 10^{-2}$	1.02	-2.40	1.79
DF1<0;DF2<0	$-1.40 \cdot 10^{-2}$	0.25	-0.56	0.38

По запропонованій методиці прогнозу були складені перевірні довгострокові прогнози шарів стоку весняного водопілля (Y'_m) по 15-ти річках досліджуваної території при використанні ПК (за період з 1966 по останній рік), для якого є дані гідрологічних спостережень на річках, тобто 1987-1988 рр. і 1997-2000 рр., при максимальних значеннях снігозапасів (S_m) і спостережених опадах (X_1, X_2). Приклад розрахункових файлів представлений в табл. 5.6 для р. Кодима-с.Катеринка.

Таблиця 5.6 - Перевірні прогнози шарів стоку весняного водопілля на р.Кодима - с.Катеринка

Рік	Y_m, мм	S_m, мм	X_1, мм	X_2, мм	X, мм	$k_{Q_{п.в.}}$	L, см	$DF1$	$DF2$	Y'_m, мм	δ, мм	X/X_0	Y/Y_0
1966	9.9	72	50.2	62.9	185	1.58	8	-18.5	-9.7	13.7	-3.79	1.87	0.71
1967	9.0	118	23.0	24.0	165	0.19	50	-17.0	-3.4	8.4	0.61	1.66	0.64
1968	11.0	89	5.1	3.9	98	0.41	60	-4.6	7.7	5.1	5.94	0.99	0.79
1969	18.0	120	34.9	47.0	201	0.09	43	-24.1	-9.9	19.3	-1.29	2.03	1.29
1970	14.0	27	65.5	23.5	116	1.08	36	-7.1	2.8	10.6	3.43	1.18	1.00
1971	6.8	15	11.2	55.8	82	1.15	29	-2.8	5.1	2.5	4.25	0.83	0.49
1972	6.3	34	8.0	10.9	53	0.30	53	0.2	10.3	5.6	0.69	0.54	0.45
1973	13.0	73	0.5	0.0	73	0.48	61	-0.4	11.1	1.8	11.2	0.74	0.93
1974	5.1	17	24.2	55.3	97	0.65	20	-9.1	-1.4	0.7	4.40	0.98	0.36
1975	2.0	5	5.3	19.1	29	0.47	15	-1.2	3.9	1.4	0.56	0.30	0.14
1976	6.3	31	14.0	59.6	105	0.07	105	-0.6	17.0	6.8	-0.46	1.06	0.45
1977	11.0	23	17.0	31.4	72	0.50	44	-2.7	6.9	1.7	9.25	0.72	0.79
1978	22.0	28	9.6	47.5	85	0.36	80	-0.1	14.1	21.3	0.70	0.86	1.57
1979	17.0	18	20.3	114	152	0.73	38	-14.0	-2.4	6.0	11.0	1.54	1.21
1980	35.0	22	44.8	51.3	118	1.76	72	2.1	15.4	59.1	-24.1	1.20	2.50
1981	9.6	36	65.0	1.9	103	2.31	10	-2.1	3.7	6.3	3.28	1.04	0.69
1982	8.7	14	16.4	43.7	74	1.03	56	1.8	12.5	13.9	-5.25	0.75	0.62
1983	3.9	9	13.8	22.6	46	1.17	27	2.4	8.8	3.9	0.01	0.46	0.28
1984	735	86	25.0	25.4	137	0.67	41	-11.6	-0.2	3.7	3.83	1.38	0.54
1985	27.0	113	23.0	53.8	190	0.43	54	-18.8	-4.0	15.3	11.7	1.92	1.93
1986	15.0	31	10.8	18.5	61	0.68	73	4.4	16.6	7.9	7.15	0.61	1.07
1987	7.7	51	25.6	9.4	86	0.35	92	1.8	17.2	21.4	-13.7	0.87	0.55
1988	13.0	24	70.8	70.1	165	0.50	40	-16.9	-4.6	8.5	4.46	1.67	0.93

Продовження табл.5.6

Рік	Y_m, мм	S_m, мм	X_1, мм	X_2, мм	X, мм	$k_{Q_{п.в.}}$	L, см	$DF1$	$DF2$	Y'_m, мм	δ, мм	X/X_0	Y/Y_0
1989	0.0	22	0.0	0.0	22	0.0	46	2.0	10.4	1.4	-1.45	0.23	0.0
1990	3.4	5	0.5	9.3	15	0.50	20	1.9	6.9	1.1	2.31	0.15	0.24
1991	3.6	16	3.7	13.3	33	0.65	20	-0.1	5.7	2.2	1.37	0.34	0.26
1992	4.2	5	28.4	11.5	45	0.62	20	-1.8	4.2	1.4	2.79	0.45	0.30
1993	7.1	29	53.7	22.8	106	0.72	29	-8.7	-0.3	7.0	0.09	1.07	0.51
1994	3.8	5	536	7.9	19	2.48	14	11.8	15.0	1.3	2.54	0.19	0.27
1995	3.6	5	18.7	2.2	26	0.88	34	4.6	11.3	1.7	1.94	0.26	0.26
1996	20.0	85	50.3	24.9	160	0.41	44	-16.1	-3.4	7.5	12.5	1.62	1.43
1997	2.4	50	9.2	15.0	74	0.71	65	1.4	13.2	13.7	-11.3	0.75	0.17
1998	12.1	5	37.8	57.0	100	1.43	40	-2.1	7.4	5.4	6.65	1.01	0.86
1999	11.4	5	30.0	121	156	0.96	20	-16.0	-6.4	6.6	4.76	1.57	0.81
2000	7.2	5	18.7	41.8	66	1.48	20	0.1	6.2	9.8	-2.62	0.66	0.51

Перехід від модульних коефіцієнтів k_Y до шарів стоку весняного водопілля Y_m виконують за рівнянням

$$Y_m = k_Y Y_0, \qquad (5.22)$$

де Y_0 – це норма шару весняного стоку, яка може бути отримана як середньобагаторічне значення при наявності тривалих стокових спостережень на річках.

За відсутності гідрологічних спостережень на річках, якими і є в основному річки Причорноморської низовини, величина Y_0 може бути знята з карти норм шарів стоку для геометричних центрів тяжіння водозборів (див.рис.4.4), а для басейну Хаджибейського лиману (у зв′язку з відсутністю стокових спостережень на значній території) – розрахована за формулою (4.3).

5.3 Оцінка якості розробленої методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля

Оцінка ефективності і якості методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля на опорних річках Причорноморської низовини виконана за критерієм якості S/σ, де S – середня квадратична похибка прогнозів, σ - середнє квадратичне відхилення прогнозних величин від норми і забезпеченості допустимої похибки $P\%$ [21].

При прогнозуванні шарів весняного стоку невивчених у гідрологічному відношенні річок проблемним є оцінка допустимої похибки прогнозу [26,27]. Природно, що масштаб похибки в цілому повинен визначатися розмірами річок.

Однак, для річок, які течуть з півдня на північ або з півночі на південь (зокрема, для даної території), може бути отримана залежність $\delta_{доп}$ від широти геометричних центрів тяжіння водозборів річок (φ^0, в частках град. півн.ш.) у вигляді

$$\delta_{доп} = 1.95(\varphi° 47) + 11.8. \qquad (5.23)$$

Формула дозволяє визначати значення $\delta_{доп}$ для будь-яких річок, навіть у випадку відсутності на них спостережень за стоком води, якими є більшість річок Причорноморської низовини, у тому числі й для басейну Хаджибейського лиману.

Оцінка якості методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля на річках, по даних яких велася розробка методики, у різні дати складання прогнозів, наведена у табл. 5.7. Якість прогнозів у дату накопичення максимальних снігозапасів ($Д_{Sm}$) добра, критерій ефективності S/σ змінюється від 0.40 до 0.71, забезпеченість допустимої похибки перевірних прогнозів за багаторічний період змінюється від 91 % до 71 %.

Таблиця 5.7 - Оцінка методики довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля на річках Причорноморської низовини, на даних яких відбувалася розробка методики прогнозу

Номери постів	Річка - піст	F, км^2	Період прогнозів	Кількість прог-нозів	σ, мм	$\delta_{доп}$, мм	Дата прогнозу						В дату S_m	
							10.02		20.02		28.02			
							s/σ	$P\%$	s/σ	$P\%$	s/σ	$P\%$	s/σ	$P\%$
197	Кодыма-с.Катеринка	2390	1966-2000	35	18	12	0.56	79	0.50	80.0	0.50	81	0.40	91
200	Велика Вись-с.Ямпіль	2820	1970 - 2000	31	19.5	13.1	0.64	74	0.64	77	0.56	81	0.71	71
201	Ятрань – с.Покотилово	2140	1966 - 2000	35	21.7	14.6	0.78	77	0.97	77	0.97	80	0.59	83
203	ЧорнийТашлик-с.Тарасівка	2230	1966 - 2000	35	26.6	17.9	0.66	77	0.64	74	0.76	71	0.66	80

Виконана також перевірка методики прогнозу шарів стоку водопілля й на незалежній вибірці, тобто по річках, дані яких не використовувалися при розробці методики (табл.5.8). Забезпеченість методики прогнозів у дату $Д_{Sm}$ оцінюється значеннями P=100-78 %. Не досить висока якість методики прогнозу для окремих річок пов'язана з неточністю вихідної метеорологічної і агрометеорологічної інформації в межах цих басейнів.

5.4 Встановлення забезпеченості прогнозних величин шарів стоку водопілля

Не менш актуальним є питання встановлення забезпеченості або ймовірності перевищення прогнозної величини шарів стоку весняного водопілля у багаторічному розрізі.

При наявності багаторічних рядів спостережень така задача вирішується шляхом побудови емпіричної кривої забезпеченості модульних коефіцієнтів $k_Y = f(P\%)$. У прогнозному варіанті k_Y знаходиться по залежностях $Y_m/Y_0 = f(S_m + X_1 + X_2/S_0 + X_{l_0} + X_{2_0})$.

Однак, запропонована методика прогнозування Y_m передбачає визначення шарів весняного стоку й для невивчених у гідрологічному відношенні річок. Тому встановлення забезпеченості прогнозних величин Y_m було здійснено шляхом статистичної обробки шарів весняного стоку. При цьому коефіцієнти варіації C_v змінюються по території від 0.60 (р. Когильник- м.Котовськ) до 1.75 (р.Тараклія – с.Тараклія). Встановлено залежність C_v від норми весняного стоку у вигляді

$$(C_v)_Y = 2.63Y_0^{-0.34}. \qquad (5.24)$$

Коефіцієнт асиметрії по півдню рівнинної території України змінюється від 0.74 (р. Когильник- м.Котовськ) до 5.81 (р.Чорний Ташлик - с.Тарасівка). Коефіцієнт асиметрії C_s нормований по його відношенню до C_v. У середньому співвідношення C_s/C_v можна прийняти на рівні 2.2, тобто C_s=2.0C_v.

Здійснений статистичний аналіз часових рядів Y_m дозволяє для оцінки забезпеченості прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля використувати криву трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля [12]. Нижче наводиться частина таблиці трипараметричного гама-розподілу для C_s/C_v =2.0 (табл. 5.9).

Забезпеченість прогнозованих величин Y_m встановлюється таким чином. По залежності $Y_m/Y_0 = f(S_m + X_1 + X_2/S_0 + X_{l_0} + X_{2_0})$ визначається модульний коефіцієнт $k_Y = Y_m/Y_0$. З карти норм шарів весняного стоку (по геометричних центрах тяжіння водозборів) знімаються величини Y_0 і за формулою (5.24) визначаються C_v. Використовуючи табл.5.9, по C_v знаходиться забезпеченість очікуваного шару стоку весняного водопілля.

Таблиця 5.8 - Оцінка методики довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля на річках Причорноморської низовини, дані яких не використовувалися при розробці методики прогнозу

Номери постів	Річка-пост	F, км²	Період прогнозу	Кількість прогнозів	σ, мм	$\delta_{доп}$, мм	Прогноз в $Д_{Sm}$		
							S	S/σ	$P\%$
204	Мертвовід-с.Крива Пустош	252	1966-1997	32	21	14	12	0,57	84
205	Чичиклія-с.Василівка	436	1966-1988	23	15	10	16	0,96	74
206	Гнилий Єланець-с.Женева Кріворіжжя	1190	1966-1988	23	21	14	14	0,66	78
210	Громоклея-с.Михайлівка	1410	1966-1988	23	14	9	8	0,89	74
211	Тілігул-с.Новоукраїнка	810	1966-1986	21	9	6	6	0,66	87
212	Тілігул-с.Березівка	3170	1966-1996	31	10	7	8	0,8	71
213	Ботна-м.Каушани	1214	1970-1986	17	11	7	6	0,56	88
214	Когильник-м.Котовськ	179	1970-1986	17	9	6	8	0,93	59
215	Ялпух-зал.ст.Комрат	241	1970-1986	17	16	11	3	0,23	100
216	Муса-зал.ст.Комрат	83,5	1970-1977	8	16	11	6	0,36	87
217	Тараклія-с.м.т.Тараклія	103	1970-1986	17	21	14	14	0,67	88

Таблиця 5.9 - Ординати кривих трипараметричного гама-розподілу (C_s /C_v =2.0)

Забез-печеність, *P%*	C_v									
	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
0.5	3.20	3.68	4.19	4.74	5.30	5.90	6.50	7.13	7.80	8.42
1.0	2.89	3.29	3.71	4.15	4.60	5.05	5.53	6.02	6.55	7.08
3.0	2.39	2.66	2.94	3.21	3.51	3.80	4.12	4.42	4.71	4.98
5.0	2.15	2.36	2.57	2.78	3.00	3.22	3.40	3.60	3.80	3.96
10	1.80	1.94	2.06	2.19	2.30	2.40	2.50	2.57	2.64	2.70
20	1.44	1.50	1.54	1.58	1.61	1.62	1.63	1.62	1.61	1.59
25	1.31	1.34	1.37	1.38	1.39	1.39	1.35	1.33	1.31	1.28
30	1.21	1.22	1.22	1.22	1.20	1.18	1.14	1.11	1.08	1.04
40	1.03	1.01	0.984	0.995	0.916	0.870	0.830	0.770	0.725	0.670
50	0.886	0.846	0.800	0.748	0.693	0.640	0.580	0.520	0.460	0.405
60	0.748	0.692	0.632	0.568	0.511	0.450	0.390	0.334	0.283	0.234
70	0.622	0.552	0.488	0.424	0.357	0.300	0.250	0.203	0.155	0.120

Забезпеченість прогнозних величин Y_m встановлюється у вигляді співвідношення

$$P_1 < P_{Y_m} < P_2 \ , \qquad (5.25)$$

де P_1 і P_2 – верхня та нижня межа забезпеченості, % .

5.5 Просторове представлення модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля та ймовірності їх настання

5.5.1 Побудова карт модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля та їх забезпеченості при наявності гідрологічних спостережень у регіоні

Побудова карто-схем величин модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля відбувається для опорних гідрологічних створів за такою схемою: зпрогнозовані у кожному році по залежностях (5.17) і описаній методиці значення модульних коефіцієнтів шарів весняного стоку k_Y наносяться на карту до геометричних центрів тяжіння водозборів, а потім проводяться ізолінії зміни очікуваних величин по території. Одночасно з цим, складаються карти забезпеченості прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля (P_{Y_m} %), при визначені їх за табл. 5.9 по очікуваних значеннях модульних коефіцієнтів

шарів весняного стоку k_Y та коефіцієнтах їх варіації C_v.

Такі карто-схеми дають можливість характеризувати відразу велику територію, оцінюючи зони підвищеної небезпеки при значних водопіллях і, що особливо важливе для невивчених річок, визначати забезпеченість очікуваних шарів стоку весняного водопілля в багаторічному розрізі. З іншого боку, карти дозволяють надавати прогноз шарів стоку водопілля у будь-якому пункті розглядуваної території, незалежно відбуваються там спостереження за річковим стоком чи ні.

5.5.2 Обґрунтування карт модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля та їх забезпеченості при недостатній кількості або відсутності гідрологічних спостережень у регіоні

В гідрологічній практиці часто мають місце випадки, коли на частині території, для якої необхідне прогнозування, гідрологічні спостереження не ведуться. Зокрема, це стосується більшої частини Причорноморської низовини. Методика, яка запропонована дає змогу відновлювати поля модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля. З цією метою вибираються опорні водозбори таким чином, щоб вони рівномірно висвітлювали частину розглядуваної території.

Для кожного з опорних водозборів, як і для тих, що вивчені у гідрологічному відношенні, розраховуються фактори, що складають вектор-предиктор дискримінантної функції *DF*. В першу чергу це стосується визначення модульних коефіцієнтів $k_Y = (S_m + X_1 + X_2) / (S_0 + X_{1_0} + X_{2_0})$. Поточні значення максимальних снігозапасів S_m знімаються з карти розподілу величини по території, а їх норми з карти (див. рис.5.1). Величини рідких опадів X_1 та X_2, які в прогнозній схемі ураховуються, звичайно, у вигляді норми X_{1_0} та X_{2_0} визначаються за формулами (5.5 і 5.6) або, орієнтуючись на метеорологічний прогноз опадів, (5.10) і (5.11). Далі встановлюються інші фактори, що входять до вектор-предиктору дискримінантної функції *DF*. Методика їх визначення наведена в п.5.1. Знак *DF* (див.табл. 5.4) дає змогу отримати розрахункову залежність, тобто дати альтернативний (якісний) прогноз майбутнього водопілля (вище чи біля норми, або нижче норми).

Прогнозні значення модульних коефіцієнтів k_Y отримуються за рівнянням поліному (5.21) з коефіцієнтами (див.табл. 5.5), згідно умов застосування, по знаку *DF*. Прогнозні значення k_Y відносяться до центрів тяжіння опорних створів (незалежно від ступеня їх гідрологічного вивчення).

Таким чином, представляється можливість провести ізолінії вже для всієї території півдня України. Аналіз показує, що такі карти поля очікуваних значень модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля суттєво уточнюють просторовий розподіл модульних коефіцієнтів на розглядуваній території, яка не висвітлена даними гідрологічних спостережень.

Забезпеченість прогнозованих величин Y_m встановлюється наступним чином: по отриманих значеннях очікуваних величин k_Y, за формулою (5.24) визначається C_v. Використовуючи табл. 5.9, по C_v знаходиться забезпеченість Р% очікуваного шару стоку весняного водопілля для невивчених річок Причорноморської низовини, які також наносяться на карту.

Такі карти складаються в оперативних регіональних управліннях Гідрометслужби України на кожну дату прогнозу і передаються відповідним органам для прийняття заходів протипаводкового захисту при багатоводних водопіллях. Для Хаджибейського лиману в такому випадку прогноз весняного водопілля дещо спрощується і складається по оперативних карто-схемах прогнозних величин модуньних коефіцієнтів шарів стоку та їх забезпеченості.

5.6 Адаптація прогнозної моделі для складання оперативних просторових довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля на річках Причорноморської низовини

Оперативне довгострокове прогнозування складається з наступних етапів:

- аналіз умов формування весняного водопілля;
- збір базової та оперативної інформації;
- складання прогнозу шарів стоку весняного водопілля;
- побудова карт прогнозних величин та карт їх забезпеченості;
- оцінка прогнозу.

Розрахунок факторів весняного водопілля і складання довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля на річках Причорноморської низовини, в також в басейні Хаджибейського лиману здійснюється по запропонованій методиці територіального прогнозу на прикладі багатоводного весняного водопілля 2006 р. У наступні роки 2007, 2008 і 2009 рр. в крайній південній частині території України на фоні теплих зим снігозапаси були майже відсутніми, а весняний стік практично не виражений. Збір даних виконувався в Гідрометцентрі Чорного та Азовського морів (ГМЦ ЧАМ, м.Одеса) та Гідрометцентрі України (УкрГММ, м.Київ).

5.6.1 Аналіз умов формування весняного водопілля у 2006 р.

Для *весняного водопілля 2006 року* характерними були:

- збереження у продовж довгого періоду низької температури повітря до мінус 25 ºС та мала кількість твердих опадів в першій половині зими призвели до інтенсивного промерзання ґрунту, до 37-83 см на території басейну Південного Бугу (станції Умань та Вінниця)і до 40-60 см - на території півдня України;

- за даними снігомірної зйомки 10 лютого, сніговий покрив досягав на досліджуваній території від 10 см (нижня течія Південного Бугу) до 65 см (станція Хмельницький);

- запаси води в сніговому покриві 10 лютого в басейнах річок Інгулу, Інгульця та Приазов'я були дещо більшими за норму.

Внаслідок циклону, на території України в кінці лютого – початку березня кількість снігу збільшилось у 2 рази. А вже до кінця березня на півдні України сніг практично розтанув, у зв'язку з цим весняне водопілля почалось у другій декаді березня.

Так, інтенсивне промерзання ґрунту, велика кількість снігу, на який вплинуло одночасне випадіння дощів, дало достатньо високе водопілля. Весняне водопілля 2006 року відмічено як найбільш високе за останні 20 років.

5.6.2 Складання бази даних при оперативному прогнозуванні шарів стоку весняного водопілля

До базової гідрометеорологічної інформації відносяться (табл.5.10):

1. Морфометричні та басейнові характеристики річок:
   - площі водозборів F, км^2;
   - залісеність водозборів $f_л$, в частках від площі водозборів F;
   - широта центру тяжіння водозборів $\varphi°$ півн.ш;
2. Середні багаторічні дані:
   - карта норм шарів стоку весняного водопілля Y_0, мм (див. рис.4.4);
   - карта норм максимальних запасів води у сніговому покриві S_0, мм (див.рис.5.1);
   - норми весняних опадів X_{1_0} і X_{2_0}, які приймають участь у формуванні весняного водопілля, визначені як середні багаторічні значення;
   - норми максимальних значень глибин промерзання ґрунту під озимими L_0, визначені як середні багаторічні значення;
   - норми середньомісячних витрат води в першому, другому або третьому місяцях;
   - середньомісячні температури повітря за лютий (Θ_{02},°С) та березень(Θ_{03},°С) за даними метеорологічних станцій;
   - коефіцієнт варіації C_v, середнє квадратичне відхилення - σ, допустима похибка прогнозу - $\delta_{доп}$.

Оперативна гідрометеорологічна інформація включає:

- максимальні запаси води у сніговому покриві на дати випуску прогнозів 10, 20, 28 лютого і на дату їх максимального накопичення S_m, мм за даними снігомірних зйомок на метеорологічних станціях у поточному році або карти їх розподілу по території;
- прогноз опадів періоду весняного сніготанення X_1, мм та періоду до кінця водопілля X_2, мм за даними метеорологічних станцій;
- максимальна глибина промерзання (за зиму) ґрунту під озимими L, см за даними пунктів виміру;
- середні місячні витрати води у річках в січні, лютому або березні $Q_{1,2}$, м^3/с;

Таблиця 5.10 – Базова інформація для складання довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля на річках Причорноморської низовини

Номери постів	Річка-пост	F, км²	$f_л$ в частках від F	φ в частках °півн.ш.	S_0, мм	X_{1_0}, мм	X_{2_0}, мм	X_0, мм	L_0, см	Y_0, мм	$(Cv)_{Ym}$	σ_{Ym}, мм	$\delta_{доп}$, мм
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*
197	Кодима-с.Катеринка	2390	0.11	47.9	41	24	34	99	42	14	0,69	18	12
203	Чорний Ташлик-с.Тарасівка	2230	0.02	48.2	40	27	37	104	45	27	1,03	23	15
204	р.Мертвовід-с.Крива Пустош	252	0.02	48	36	28	26	90	47	22	0,87	21	14
205	р.Чичиклія-с.Василівка	436	0	47.8	41	24	34	99	42	12	1,2	15	10
206	р.Гнилий Еланець-с.Женево Кріворіжжя	1190	0	47.7	36	28	26	90	47	18	0,91	21	14
210	р.Громоклея-с.Михайлівка	1410	0.02	48.7	36	28	26	90	47	11	0,99	14	9
211	р.Тілігул-с.Новоукраїнка	810	0	47.9	41	24	26	91	42	12	0,94	10	7
212	р.Тілігул-с.Березівка	3170	0	47.7	41	24	34	99	42	6,9	1,37	9	6
213	р.Ботна-м.Каушани	1210	0.22	46.8	47	25	14	86	32	5,9	1,5	11	7
214	р.Когильник-м.Котовськ	179	0.27	46.7	50	19	20	89	32	13	0,6	9	6

Продовження табл. 5.10

Номери постів	Річка-пост	F, км²	$f_л$ в частках від F	φ в частках °п.ш.	S_0, мм	X_{1_0}, мм	X_{2_0}, мм	X_0, мм	L_0, см	Y_0, мм	$(Cv)_{Ym}$	σ_{Ym}, мм	$\delta_{доп}$, мм
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*
215	р.Ялпух-зал.ст.Комрат	241	0.06	46.5	32	20	11	63	40	4.9	1.35	16	11
216	р.Муса-зал.ст.Комрат	83,5	0.08	46.5	35	20	11	66	40	12	1.2	16	11
217	р.Тараклія-с.м.т.Тараклія	103	0.05	45.9	29	20	8	57	40	8.8	1.7	21	14

Продовження табл. 5.10

Номери постів	Річка-пост	Кількість метеостанцій	Номери метео-станцій	Метеостанція для θ °С		Q_{01}, м^3/с	Q_{02}, м^3/с	Q_{03}, м^3/с
				номери	Назва - басейн річки			
1	2	16	17	18	19	20	21	22
203	Чорний Ташлик-с.Тарасівка	1	182	182	Помічна - р. Синюха	2.32	6.79	12.8
204	р.Мертвовід-с.Крива Пустош	1	185	185	Бобринець - р. Інгул	0.35	0.72	1.21
205	р.Чичиклія-с.Василівка	1	188	188	Любашівка - р Півд. Буг	0.21	0.54	1.91
206	р.Гнилий Эланець-с.Женева Кріворіжжя	1	185	185	Бобринець - р. Інгул	0.78	3.41	4.77
210	р.Громоклея-с.Михайлівка	1	185	185	Бобринець - р. Інгул	0.79	1.95	4.3
211	р.Тілігул-с.Новоукраінка	1	188	188	Любашівка - р Півд. Буг	0.49	1.17	2.77
212	р.Тілігул-с.Березівка	2	194, 188	188	Любашівка - р Півд. Буг	0.41	1.4	4.17
213	р.Ботна-м.Каушани	1	195	195	Кишинів - р. Дністер	0.45	1.47	1.83
214	р.Когильник-м.Котовськ	1	195	195	Кишинів - р. Дністер	0.26	0.44	0.67
215	р.Ялпух-зал.ст.Комрат	2	203, 205	203	Лєово - р.Дунай	0.098	0.4	0.37
216	р.Муса-зал.ст.Комрат	2	203, 205	203	Лєово - р.Дунай	0.098	0.4	0.37
217	р.Тараклія-с.м.т.Тараклія	1	205	205	Комрат - р. Ялпуг	0.059	0.24	0.18

- прогнозні або спостережені середньомісячні температури повітря за лютий (Θ_{02},°С) та березень(Θ_{03},°С) за даними метеорологічних станцій.

5.6.3. Оперативна практика складання просторових довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля при наявності та відсутності даних гідрометеорологічних спостережень на річках півдня України

5.6.3.1 Схема прогнозу при наявності даних гідрометеорологічних спостережень на річках.

1.Для довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля методика реалізується через регіональні залежності шару весняного стоку від максимальних запасів води в сніговому покриві з урахуванням суми рідких опадів періоду весняного водопілля (виражених у модульних коефіцієнтах), як

$$\frac{Y_m}{Y_0} = \frac{\left(S_m + X_1 + X_2\right)}{\left(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}\right)}, \tag{5.26}$$

де S_m- значення середніх на водозборах максимальних снігозапасів;

S_0 – норма максимальних снігозапасів на водозборах;

X_1 і X_{1_0} - рідкі опади періоду весняного сніготанення та їх норма,

X_2 і X_{2_0} - рідкі опади періоду спаду водопілля та їх норма.

2.Розрахунок сумарної кількості води, яка приймає участь у формуванні весняного водопілля виконується за такою схемою:

В дату складання прогнозу

$$\left(S_m + X_1^{'} + X_2^{'}\right)_{ДСП} = S_{ДСП} + \Delta\bar{S} + X_1^{'} + X_2^{'}, \tag{5.27}$$

де $S_{ДСП}$ - максимальні запаси води в сніговому покриві (з урахуванням залісеності водозбору), які накопичилися на дату складання прогнозу, мм;

$\Delta\bar{S}$ - нормальна добавка до максимальних запасів води в сніговому покриві, мм.

$X_1^{'}$ - очікувані рідкі опади періоду сніготанення, тобто періоду завчасності прогнозу шарів стоку весняного водопілля, мм.

$X_2^{'}$ - очікувані рідкі опади періоду спаду водопілля, тобто періоду завчасності прогнозу шарів стоку весняного водопілля, мм.

Нормальні добавки до максимальних запасів води в сніговому покриві встановлюються за рівнянням

$$\Delta\bar{S} = b + a(\varphi^o - 50), \tag{5.28}$$

де φ^0 - широта метеостанцій, в частках ^{o} півн.ш.

Коефіцієнти a і b визначаються для календарних дат випуску прогнозів по їх значеннях (див.табл.5.1). Причому, при прогнозі в дату 10.02 значення $\Delta\bar{S}$ визначаються за температурою повітря в лютому, а при прогнозі після 20.02 – за температурою повітря в березні.

Значення опадів (X_1та X_2) на період завчасності прогнозу можуть бути оцінені за нормою або, орієнтуючись на метеорологічний прогноз, як опади вище норми, біля або нижче норми, шляхом введення відповідного коефіцієнту (див.табл.5.2 та 5.3) за

$$X_1' = k_1 X_{1_0}, \tag{5.29}$$

$$X_2' = k_2 X_{2_0}. \tag{5.30}$$

В дату накопичення максимальних запасів води в сніговому покриві

$$S_m + X_1 + X_2 = S_m + X_1' + X_2'. \tag{5.31}$$

3.Для розрахунку *DF* до вектор-предиктору дискримінантної функції були віднесені такі фактори весняного водопілля (виражені у модульних коефіцієнтах), як:

а) середньобагаторічні значення максимальних запасів води в сніговому покриві, які накопичилися на басейні до початку весняного сніготанення і весняні опади $k_x = \dfrac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}}$;

б) індекс зволоження ґрунтів - середньомісячна витрата води перед початком водопілля $k_{Q_{п.в}} = Q_{п.в} / (Q_{п.в})_0$;

в) максимальна глибина промерзання ґрунтів $k_L = L / L_0$;

Для встановлення типу майбутньої весни визначається знак лінійної дискримінантної функції *DF*, яка розраховується в дату складання прогнозів по наступному рівнянню і даними табл.5.4

$$DF = a_0 + a_1 k_x + a_2 k_{Q_{п.в}} + a_3 k_L. \tag{5.32}$$

4. Прогнозні значення модульних коефіцієнтів утримуються за рівнянням

$$k_Y = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X{}^2 + b_3 k_X{}^3, \tag{5.33}$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти поліному визнаяаються за табл. 5.5 за умови знаку дискримінантної функції.

5. Перехід від k_Y до очікуваних значень шарів стоку весняного водопілля Y_m такий

$$Y_m = k_Y Y_0, \tag{5.34}$$

де Y_0 – норма шару весняного стоку, яка розраховується для кожної конкретної річки за часовим рядом спостережень на ній або визначається за картою розподілу Y_0 на досліджуваній території (див рис. 4.4).

6. Забезпеченість прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля встановлюється за допомогою кривої трипараметричного гама-розподілу С.Н.Крицького і М.Ф.Менкеля при C_s/C_v=2.0 (табл.5.9). Забезпеченість прогнозних величин Y_m коливається в межах

$$P_1 < P_{Ym} < P_2 , \qquad (5.35)$$

де P_1 і P_2- верхнє та нижнє значення забезпеченості.

7. Оцінка якості довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля на річках виконується шляхом визначення похибки прогнозу δ в частках від допустимої похибки $\delta_{доп}$ (табл.5.10).

Для весняного водопілля багатоводного 2006 р. здійснений збір вихідної гідрометеорологічної інформації, розраховані основні фактори весняного стоку, виконаний прогноз шарів стоку весняного водопілля за наведеною вище схемою та здійснено оцінку прогнозу. Результати прогнозів наведені в табл.5.11 (для 2006 року). Якість прогнозів відповідає критеріям $\delta/\delta_{доп}$ – «добрі» та «відмінні» (табл.5.12). Завчасність прогнозів на дату їх випуску в дату настання S_m у 2006 р. на 10.03 складала 31-35 діб.

8.Формою представлення прогнозу шарів весняного стоку є побудова карто-схем зміни по території модульних коефіцієнтів k_Y та забезпеченості *P%* прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля, які відносяться до геометричних центрів тяжіння водозборів. Такі карти побудовані в роботі для весняного водопілля 2006 року для річок півдня України, висвітлених даними гідрометеорологічних спостережень (рис.5.4).

Карто-схеми забезпеченості прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля складаються при визначені їх за табл. 5.11 по очікуваних значеннях модульних коефіцієнтів шарів весняного стоку k_Y та коефіцієнтах їх варіації C_v. Приклад карти для 2006 р. представлений на рис.5.5.

По запропонованих карто-схемах можна зробити такий висновок. Холодний 2006 р. був дуже складним у зв’язку з нерівномірністю розподілу по досліджуваній території – в басейні Південного Бугу (верхні та середні ділянки басейну) шар водопілля очікувався на 20-40 % вище за норму (k_Y =1.2-1.4). В середній течії та в басейні р. Синюхи очікуваний шар стоку був близький до норми, при цьому модульні коефіцієнти дорівнювали 1.0-0.8.

Високим значенням шарів стоку у 2006 році для верхньої течії Південного Бугу відповідала ймовірність 10-30 % (забезпеченість 20 % свідчить про повторюваність величини 1 раз в 5 років), а для басейну р. Синюхи характерною була забезпеченість 30-50 %. В басейнах верхньої течії Інгулу та Інгульця водопілля було значно нижчим за норму (k_Y на рівні 0.2) при Р%=80-90 %. Однак, частина території Причорноморської низовини залишається не висвітленою прогностичною інформацією через відсутність стокових спостережень на річках (див. рис.5.3 5.4).

Таблиця 5.11 – Розрахунок факторів та прогноз шарів стоку весняного водопілля 2006 р. при наявності даних гідрометеорологічних спостережень на річках

Номери постів	Річка - пост	F, км^2	φ в долях °півн. ш.	S_m, мм	Д$_{Sm}$	X_{1_0} мм	k_1	$X_{1_0}k_1$ мм	X_{2_0} мм	k_2	$X_{2_0}k_2$ мм	$X = S_m + X_{1_0}\cdot k_1 + X_{2_0}\cdot k_2$ мм	X_0, мм	$k_x = X/X_0$
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*
197	Кодима – с.Катеринка	2390	47.90	23	10.03	35.7	0.82	29	37.0	0.82	30	82	110	0.75
198	Синюха-с.Синюхін Брід	16700	48.42	42	10.03	19.9	0.82	15	30.5	0.82	23	80	104	0.77
200	Велика Вись-с.Ямпіль	2820	48.53	44	10.03	14.3	0.83	12	21.6	0.83	18	74	83	0.89
201	Ятрань – с.Покотилово	2140	48.40	48	10.03	15.3	0.82	13	22.2	0.82	18	79	92	0.86
203	ЧорнийТашлик-с.Тарасівка	2230	48.17	23	10.03	23.8	0.82	19	34.1	0.82	28	70	101	0.69

Продовження таблиці 5.11

Номери постів	Місяць $Q_{пв}$	Q_{02} , $м^3/с$	$(Q_{02})_0$, $м^3/с$	$k_{Q_{пв}}$	L_m, см	Дата L_m	L_0, см	$k_L = L/L_0$	*DF1*	*DF2*	k_Y	Y_m', *мм*	*Cv*	*P%*
1	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*	*21*	*22*	*23*	*24*	*25*	*26*	*27*	*28*	*29*
197	02	(7.8)	5.50	(1.0)	65	20.02	52	1.48	9.9	12.7	1.03	15	0.80	30-40
198	02	33.3	25.1	1.33	57	20.02	52	1.10	4.6	7.2	1.12	28	0.83	30-40
200	02	(9.3)	2.8	(1.0)	73	20.02	52	1.40	-2.1	9.8	0.68	38	0.90	50-60
201	02	(7.1)	4.2	(1.0)	37	20.02	53	0.71	-5.9	2.8	0.54	36	0.94	60-70
203	02	(7.3)	2.7	(1.0)	63	20.02	53	1.19	2.3	11.9	0.65	17	0.91	50-60

Таблиця 5.12 –Оцінка прогнозу шарів стоку весняного водопілля 2006 р. при наявності даних гідрометеорологічних спостережень на річках

Номери постів	Річка - пост	Y_m', мм	Y_m, мм	$\delta = Y_m' - Y_m$, мм	$\delta_{доп}$, мм	$\delta/\delta_{доп}$	Y_m',мм (ГМЦ)
197	Кодима – с.Катеринка	15	16	-1	12	0.13	-
198	Синюха- с.Синюхін Брід	28	26	+2	15	0.69	19
200	Велика Вись- с.Ямпіль	14	23	-9	13	0.68	-
201	Ятрань – с.Покотилово	12	22	-10	15	0.05	-
203	ЧорнийТашлик- с.Тарасівка	17	18	-1	18	0.08	-

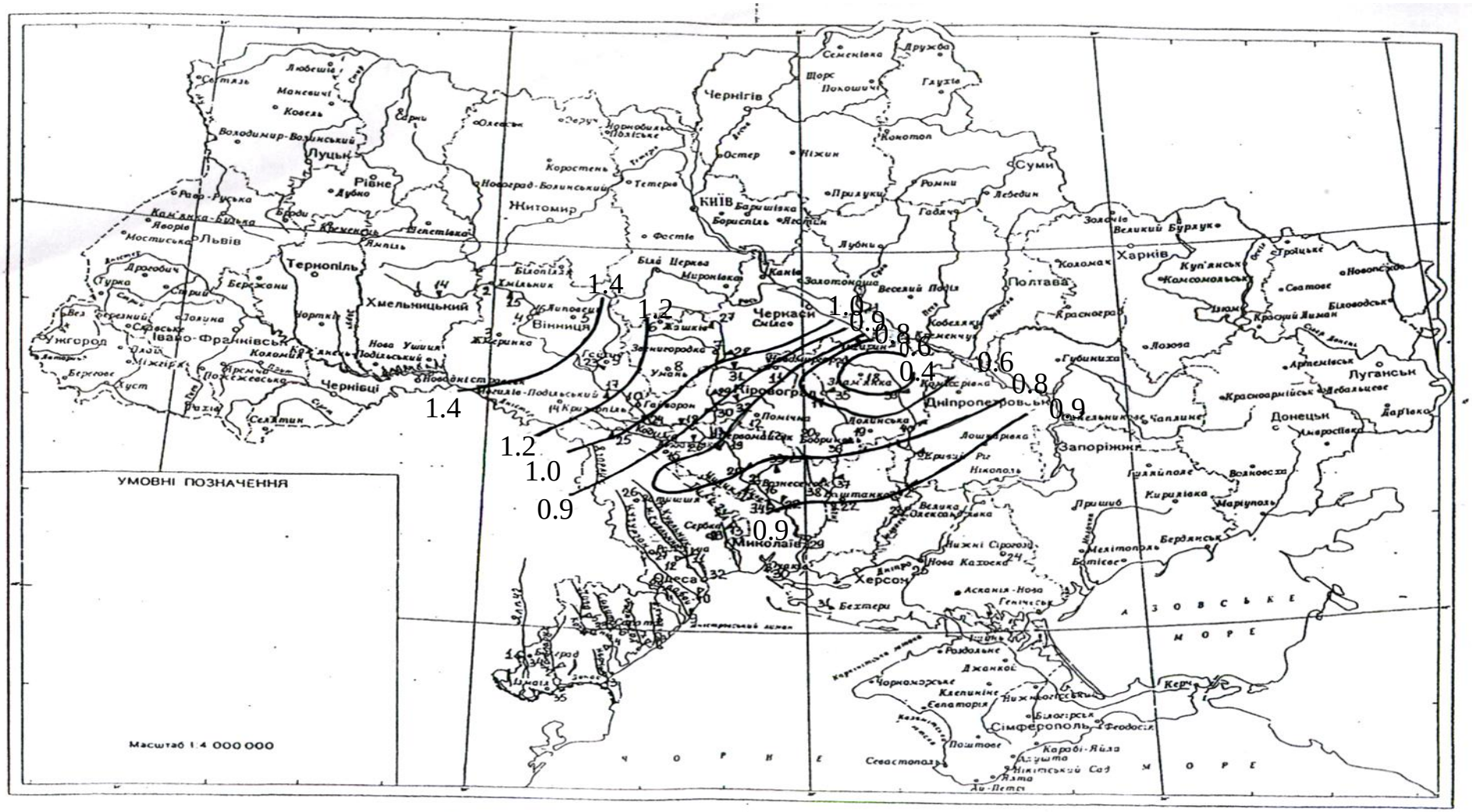


Рисунок 5.3 – Зміна по території модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля для 2006 року

Рисунок 5.4 – Зміна по території забезпеченості (Р%) шарів стоку весняного водопілля в 2006 році

5.6.3.2 Схема прогнозу при обмеженості даних спостережень в регіоні (на прикладі басейну Хаджибейського лиману)

Порядок прогнозування шарів стоку весняного водопілля на території при обмеженості даних спостережень в регіоні (як, наприклад, для Причорноморської низовини) схожий зі схемою прогнозу вивчених у гідрологічному відношенні територій, але відрізняється тим, що відбувається відновлення полів гідрометеорологічних величин (факторів весняного водопілля) на основі карто-схем та регіональних залежностей для їх визначення, а надалі й самих прогнозних величин та їх забезпеченостей.

Схема прогнозу шарів стоку весняного водопілля ілюструється на прикладі водопілля 2006 р. в басейні Хаджибейського лиману і включає наступні етапи.

1. Збір базової інформації по басейнах – морфометричні і середньобагаторічні гідрометеорологічні характеристики. Для басейну Хаджибейського лиману морфометричні характеристики, які використовуються в прогнозній схемі, наведені в табл.5.13.

Таблиця 5.13 – Базова інформація для складання довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля в басейні Хаджибейського лиману

Басейн	F, км²	φ в °півн.ш	φ в частках °півн.ш.
Хаджибейський лиман	2700	46°50’	46.83’

Середньобагаторічні гідрометеорологічні характеристики або фактори весняного водопілля за відсутності багаторічних рядів спостережень для їх визначення підлягають відновленню. До них відносяться:

1) норми максимальних запасів води в сніговому покриві (S_0) – встановлюються по карто-схемах їх розподілу по території для центру тяжіння водозбору (див.рис.5.1). Для басейну Хаджибея S_0=35 мм;

2) норми опадів періоду весняного водопілля:

а) опади періоду сніготанення X_{1_0} (від дати максимальних снігозапасів S_m до дати максимальної витрати води) визначають для басейну Хаджибейського лиману за формулою (5.5):

$$X_{1_0} = 3.31(\varphi° - 47) + 22.3 = 3.31\ (46.83\text{-}47) + 22.3 = 21.7 \text{ мм},$$

де φ^0 - географічна широта геометричного центру тяжіння водозбору лиману, в частках ^{0} півн.ш., приведена до 47 ^{0} півн.ш.;

б) опади періоду спаду весняного водопілля X_{2_0} (від дати максимальної витрати води до дати закінчення водопілля) визначають для басейну лиману за формулою (5.6)

$$X_{2_0} = 9.6(\varphi° - 47) + 15.7 = 9.6\ (46.83\text{-}47)+15.7 = 14.1 \text{ мм};$$

3) сумарна величина максимальних снігозапасів та опадів, які приймають участь у формуванні весняного водопілля, прийняті як їх норми і розраховуються для басейну лиману в формулі (5.19), як

$$X_0 = S_0 + X_{1_0} + X_{2_0} = 35+21.7+14.1=70.8 \text{ мм};$$

4) норми глибини промерзання ґрунтів на водозборі за відсутності даних вимірів можуть бути отримані по їх залежностях від географічної широти φ в частках градусу півн.ш. Для басейну Хаджибейського лиману величина L_0 становить, відповідно з (5.16) :

$$L_0 = 54.9 + 3.56(\varphi^0 - 47) = 54.9+3.56(46.67\text{-}\ 47)=53.75=54 \text{ см};$$

5) норма середньомісячних витрат води перед весняним водопіллям для річок, які не ведуть спостереження за стоком, у тому числі й в басейні Хаджибейського лиману, встановлюються в формулі (5.12) за їх залежністю від площі водозбору. Для лиману Хаджибей при F=2700 км^2 отримаємо для лютого:

$$(Q_{02})_0 = 0.0023F = 6.21 \text{ м}^3/\text{с}; \qquad (5.36)$$

6) норма шару стоку весняного водопілля для лиману Хаджибей встановлюється за рекомендаціями, викладеними в п. 4.2, тобто за рівнянням вигляду (4.3):

$$Y_0 = 5.62(\varphi^0 - 47) + 11.4 = 5.62(46.83\text{-}47)+11.4=10.4 \text{ мм};$$

7) коефіцієнт варіації шарів стоку весняного водопілля визначається за формулою (5.24) і для басейну Хаджибея складає:

$$(C_v)_Y = 2.63Y_0^{-0.34} = 2.63 \cdot 9.55^{-0.34} = 1.19;$$

8) допустима похибка прогнозу шарів весняного стоку отримується по залежності $\delta_{доп}$, мм від широти центрів тяжіння водозборів і для басейну лиману розраховується за формулою (5.23)

$$\delta_{доп} = 1.95(\varphi°\text{-}47) + 11.8 = 1.95(46.83\ \text{-}\ 47)+11.8=11.5 \text{ мм}$$

Розраховані середньобагаторічні характеристики для складання довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля в басейні Хаджибейського лиману наведені в табл.5.14.

Таблиця 5.14 – Середньобагаторічні характеристики весняного водопілля в басейні Хаджибейського лиману

Басейн	S_0, мм	X_{1_0}, мм	X_{2_0}, мм	X_0, мм	L_0, см	$(Q_{02})_0$ м^3/с	Y_0, мм	$(Cv)_{Ym}$	$\delta_{доп}$, мм
Хаджибейський лиман	35	21.7	14.1	70.8	54	6.21	10.4	1.19	11.5

2. Збір оперативної гідрометеорологічної інформації:

2.1) дані снігомірних зйомок на метеостанціях, які розташовані у межах або поблизу басейну (Затишшя і Роздільна), або у вигляді карто-схем розподілу по території запасів води в сніговому покриві (рис. 5.5), які складаються у Гідрометцентрі України. Аналіз карти снігозйомки на 5 березня 2006 р. показує, що на фоні незначних значень снігозапасів на басейні Хаджибейського лиману (порядку 10 мм і менше) в окремих його частинах значення снігозапасів досягали до 40 мм і вище;

2.2) дані по глибинах промерзання ґрунтів на метеостанціях Причорноморської низовини або у вигляді карто-схема їх розподілу по території у 2006 р.;

2.3) значення середньомісячних витрат води в місяць, який передує початку водопілля в басейнах річок – у лютому 2006 р.;

2.4) синоптичний прогноз опадів і температури повітря на поточні декади березня-квітня 2006 р.

3. Розрахунок гідрометеорологічних факторів весняного водопілля:

3.1) сумарна кількість води, яка приймає участь у формуванні весняного водопілля, визначається за такою схемою:

- в дату складання прогнозу за (5.27)

$$\left(S_m + X_1' + X_2'\right)_{ДСП} = S_{ДСП} + \Delta\bar{S} + X_1' + X_2';$$

- в дату накопичення максимальних запасів води в сніговому покриві за (5.31)

$$S_m + X_1 + X_2 = S_m + X_1^{/} + X_2^{/},$$

де $S_{ДСП}$ або S_m - максимальні запаси води в сніговому покриві (за вимірами у полі), які накопичилися на дату складання прогнозу (мм).

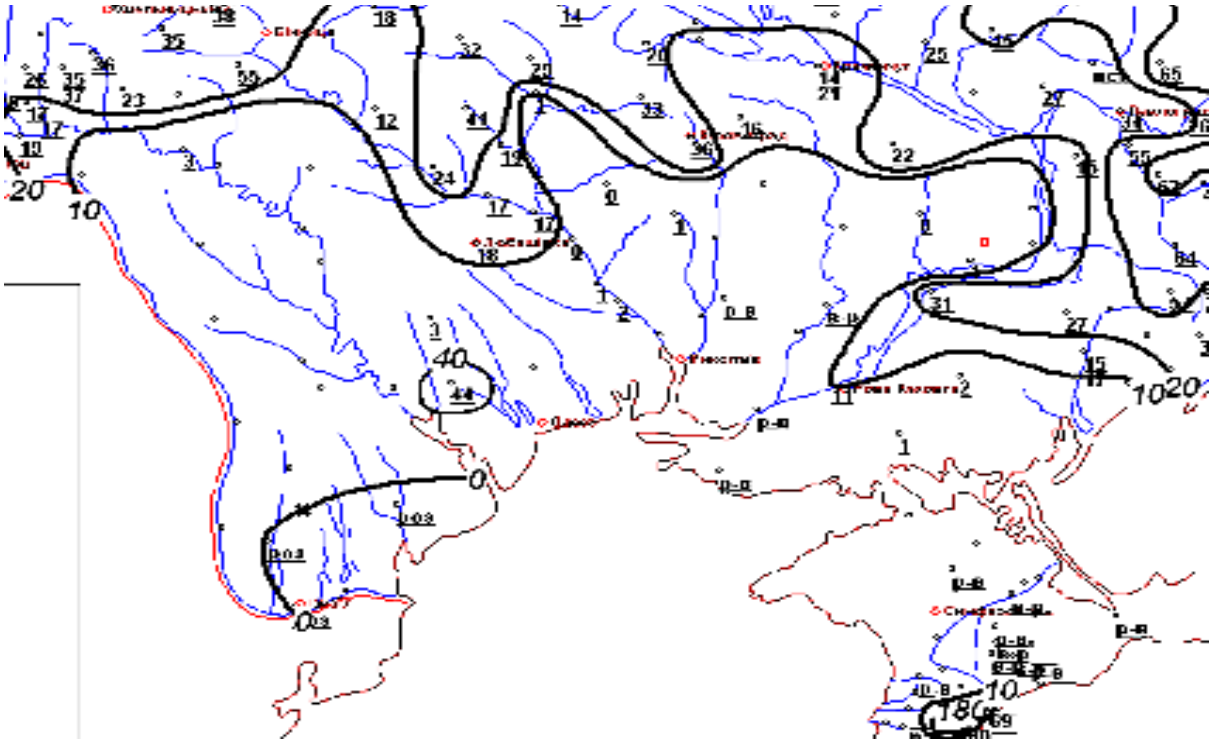


Рисунок 5.5 – Карто-схема розподілу по території запасів води в сніговому покриві, за даними снігомірної зйомки 5 березня 2006 р.

Максимальні снігозапаси прийняті по станції Затишшя, де їх значення S_m=3 мм і станції Роздільна, де S_m=44 мм. Середні на водозборі снігозапаси за (5.3) дорівнюють

$$S_{m_i} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} S_j = 1/2\cdot(3+44) = 24 \text{ мм},$$

де $\Delta\bar{S}$ - нормальна добавка до максимальних запасів води в сніговому покриві (мм), які встановлюються за рівнянням (5.9)

$$\Delta\bar{S} = b + a(\varphi^o - 50),$$

φ^0 - широта метеостанцій, в частках ^{o} півн.ш.

Коефіцієнти a і b визначаються для календарних дат випуску прогнозів за метеорологічним прогнозом температури повітря за таблицею (табл.5.15)

В даному прикладі для прогнозу весняного водопілля 2006 р. в басейні Хаджибейського лиману прийнятий строк складання прогнозу в дату накопичення максимальних снігозапасів, тому добавка $\Delta\bar{S}$ не вводиться.

Таблиця 5.15 - Нормальні добавки до максимальних запасів води в сніговому покриві $\Delta\overline{S}$, мм

Умови введення добавки ($\Delta\overline{S}$)		Значення коефіцієнтів рівняння (5.9)	
ДСП: 10.02	ДСП: 20.02, 28.02	*a*	*b*
$\Theta_{02,03} \geq (\overline{\Theta}_{02,03} + 1^0)$	$\Theta_{03} \geq (\overline{\Theta}_{03} + 1^0)$	2.14-0.074 *Д*	7.47-0.25 *Д*
$(\overline{\Theta}_{02,03} + 1^0) > \Theta_{02,03} > (\overline{\Theta}_{02,03} - 1^0)$	$(\overline{\Theta}_{03} + 1^0) > \Theta_{03} > (\overline{\Theta}_{03} - 1^0)$	3.38-0.109 *Д*	20.4-0.61 *Д*
$\Theta_{02,03} \leq (\overline{\Theta}_{02,03} - 1^0)$	$\Theta_{03} \leq (\overline{\Theta}_{03} - 1^0)$	3.27-0.086 *Д*	26.8-0.55 *Д*

Умовні позначення в табл.5.15:

ДСП – дата складання прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля;

Θ_{03} і $\overline{\Theta}_{03}$ - середня температура повітря за березень та її норма, відповідно, ^{o}C.

Д – кількість діб від 1-го лютого.

Очікувані рідкі опади періоду сніготанення X_1', тобто періоду завчасності прогнозу шарів стоку весняного водопілля (мм), визначаються для басейну лиману Хаджибей (за умови синоптичного прогнозу – опади очікуються біля норми – табл.5.2) за (5.10)

$$X_1' = k_1 X_{1_0} = [0.84+0.009(\varphi^0 - 50)]\, X_{1_0} =$$
$$[0.84+0.009(46.83-50)]\cdot 21.7 = 0.81\cdot 21.7 = 17.6 \text{ мм}$$

Очікувані рідкі опади періоду спаду водопілля X_2', а також опади періоду завчасності прогнозу шарів стоку весняного водопілля (мм), визначаються для басейну лиману Хаджибей (за умови синоптичного прогнозу – опади очікуються біля норми – табл.5.3) за формулою (5.11)

$$X_2' = k_2 X_{2_0} = [0.86+0.022\cdot(\varphi^0 - 50)]\; X_{2_0} =$$
$$[0.86+0.022\,(46.83-50)]\cdot 14.1 = 0.79\cdot 14.1 = 11.1 \text{ мм}$$

Таким чином, сумарне надходження води на водозбір за (5.31) дорівнює:

$$S_m + X_1 + X_2 = S_m + X_1' + X_2' = 24+17.6+11.1 = 52.3 \text{ мм};$$

3.2) максимальна глибина промерзання ґрунтів встановлюється по залежності, отриманій для території Причорномор'я у 2006 року, яка для басейну Хаджибейського лиману дорівнює

$$L_{2006} = 2.88(\varphi^0 - 47) + 50 = 2.88(46.83\text{-}47)+50 = 49 \text{ см}; \qquad (5.37)$$

3.3) індекс зволоження ґрунтів (середньомісячна витрата води перед початком водопілля у лютому 2006 р.), яка за відсутності даних стокових вимірів в басейні лиману Хаджибей, встановлюється за рівнянням

$$Q_{02} = 0.003F = 0.003\cdot 2700 = 8.1 \text{ м}^3/\text{с}. \qquad (5.38)$$

4. Представлення факторів весняного водопілля у модульних коефіцієнтах, які увійшли до вектор-предиктору дискримнантної функції *DF* здійснюється у такій послідовності:

а) значення максимальних запасів води в сніговому покриві, які накопичилися на басейні до початку весняного сніготанення і весняні опади, визначаються за (5.19)

$$k_x = \frac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}} = \frac{24 + 17.6 + 11.1}{35 + 21.7 + 14.1} = \frac{52.3}{70.8} = 0.74;$$

б) максимальна глибина промерзання ґрунтів, за (5.13), дорівнює

$$k_L = L / L_0 = 49/54 = 0.91;$$

в) індекс зволоження ґрунтів (середньомісячна витрата води перед початком водопілля у лютому 2006 р.) розраховується за (5.12)

$$k_{Qп.в.} = Q_{п.в} / (Q_{п.в})_0 = 8.1/6.21 = 1.30.$$

5. Визначення знаку лінійної дискримінантної функції *DF* для встановлення типу майбутньої весни, яка розраховується в дату складання прогнозів за рівнянням (5.20) і даними табл.5.4, дорівнює для умов Хаджибейського лиману у 2006 р.:

$$DF1 = a_0 + a_1 k_x + a_2 k_{Q_{п.в}} + a_3 k_L = (-1.88)+(-14.4)\cdot 0.74+5.73\cdot 1.30+6.46\cdot 0.91 = 0.8.$$

6. Прогноз модульного коефіцієнту шару стоку водопілля за умови, що *DF1≥0,* відбувається за формулою (5.21) і даними табл.5.5:

$$k_Y = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X{}^2 + b_3 k_X{}^3 =$$
$$= 2.10\cdot 10^{-2}+0.521\cdot 0.74+(-1.43)\cdot 0.74^2+3.29\cdot 0.74^3 = 0.95.$$

7. Перехід від k_Y до очікуваних значень шарів стоку весняного водопілля Y_m в басейні Хаджибейського лиману здійснюється за формулою (5.22)

$$Y_m = k_Y Y_0 = 0.95 \cdot 10.4 = 9.9 \text{ мм},$$

де Y_0 – норма шару весняного стоку, яка дорівнює для басейну лиману 10.4 мм.

8. Забезпеченість прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля встановлюється за кривою трипараметричного гама-розподілу С.Н.Крицького і М.Ф.Менкеля при C_s/C_v =2.0 (за табл.5.9). Забезпеченість прогнозних величин Y_m встановлюється за прогнозними значеннями k_Y =0.95 і розрахованими значеннями C_v=1.19 у вигляді (5.25)

$$P_1 < P_{Y_m} < P_2,$$

де P_1 і P_2- верхнє та нижнє значення забезпеченості (у %), які для весняного водопілля 2006 р. в басейні лиману Хаджибей дорівнюють

$$30\% < P_{Y_m} < 40\%$$

9. Оцінка якості довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля на річках Причорноморської низовини виконується за критерієм якості δ і $\delta_{доп}$. При прогнозуванні шару весняного стоку в басейні лиману Хаджибей оцінка прогнозу виконувалася при оцінці наповнення лиману весняними водами по значенню рівня води в лимані весною 2006 р. (розд.7).

Порядок розрахунку факторів весняного водопілля та етапи прогнозування шарів весняного стоку для Хаджибейського лиману наведені в табл.5.16. Подібним чином був складений прогноз шарів стоку весняного водопілля й для інших річок Причорноморської низовини, які не охоплені даними спостережень за стоком води (див.табл.5.16).

10.Формою представлення прогнозу шарів весняного стоку є побудова карт зміни по території модульних коефіцієнтів k_Y та побудова карти забезпеченості *P%* прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля, як і для інших річок території.

Прогнозні значення k_Y відносяться до геометричних центрів тяжіння опорних створів для території, яка не охоплена даними гідрологічних спостережень. Таким чином, є можливість провести ізолінії прогнозних модульних коефіцієнтів вже для всієї території півдня України, включаючи і територію Причорноморської низовини. Це дає змогу суттєво уточнити розподіл очікуваних шарів стоку весняного водопілля на розглядуваній території, яка не висвітлена даними безпосередніх гідрологічних спостережень (рис.5.6). Теж саме відноситься і до карти забезпеченості *P%* (рис.5.7).

Слід зазначити, що такі оперативні карто-схеми можуть бути побудовані на кожну дату складання прогнозу у відділі гідрологічних прогнозів Гідрометцентру Чорного та Азовського морів і передані замовнику. Тому доцільним є розглянути питання прогнозування шару стоку весняного водопілля для басейну Хаджибейського лиману за наявності карто-схем прогнозних характеристик.

5.6.4 Схема складання прогнозу шарів стоку весняного водопілля при наявності карт очікуваних модульних коефіцієнтів шарів весняного стоку та їх ймовірності

За оперативними карто-схемами очікуваних модульних коефіцієнтів $k_Y = Y_m/Y_0$ та їх ймовірності, можливий випуск прогнозу шару весняного стоку для басейну лиману Хаджибей. Для весняного водопілля 2006 р. з карто-схеми очікуваних величин модульних коефіцієнтів шарів стоку (рис.5.6) для геометричного центру тяжіння водозбору лиману знімається прогнозне значення k_Y, яке складає 0.9. Прогнозна величина шару стоку буде дорівнювати за (5.22):

$$Y_m = k_Y\, Y_o = 0.9 \cdot 10.4 = 9.4 \text{ мм},$$

де Y_0 - норма шарів стоку весняного водопілля, яка для басейну лиману Хаджибей отримана за (4.3) і дорівнює 10.4 мм.

Для оцінювання ймовірності прогнозного значення Y_m з карти ймовірностей териториального прогнозу шарів стоку знаходиться величина забезпеченості *P%.* Для басейну лиману Хаджибей ймовірність настання весняного водопілля 2006 р. у багаторічному розрізі складає *P*=30-40%.

Таблиця 5.16 - Розрахунок факторів, прогноз шарів стоку весняного водопілля 2006 р. та його оцінка на річках Причорноморської низовини, на яких обмежені дані гідрологічних спостережень

Номери постів	Річка-пост	F, км^2	φ в частках °півн.ш.	S_0, мм	S_m, мм	Дата S_m	Прогноз опадів	k_1	X_{1_0},мм	$(k_1X_{1_0})$, мм	k_2	X_{2_0}, мм	$(k_2X_{2_0})$, мм
	Хаджибейський лиман	2700	46.83	34	24	5.03	норма	0.81	21.7	17.6	0.79	14.1	11.1
205	р.Чичиклія-с.Василівка	436	47.83	37	23	10.03	норма	0.82	25	21	0.81	32	26
206	р.Гнилий Єланець-с.Женево-Криворіжжя	1190	47.67	37	18	10.03	норма	0.82	25	21	0.81	37	30
211	р.Тілігул-с.Новоукраїнка	810	47.92	40	20	10.03	норма	0.82	25	21	0.81	35	28
212	р.Тілігул-с.Березівка	3170	47.70	34	5	10.03	норма	0.82	25	21	0.81	42	34
213	р.Ботна-м.Каушани	1210	46.80	32	19	10.03	норма	0.81	24	19	0.79	37	29
214	р.Когильник-м.Котовськ	179	46.68	30	15	10.03	норма	0.81	23	19	0.79	27	22
215	р.Ялпух-зал.ст.Комрат	241	46.50	30	5	10.03	норма	0.81	23	19	0.78	29	23
216	р.Муса-зал.ст.Комрат	83.5	46.50	30	5	10.03	норма	0.81	23	19	0.78	24	19
217	р.Тараклія-с.м.т. Тараклія	103	45.93	30	5	10.03	норма	0.80	22	18	0.77	25	20

Продовження таблиці 5.16

Номери постів	Річка-пост	X, мм	X_0, мм	k_X	$Д_{П.В.}$	Q_{02}, м^3/с	Q_{02_0}, м^3/с	$k_{Q_{п.в}}$	L, см	L_0, см	k_L	$DF1$
	Хаджибейський лиман	52.3	70.8	0.74	14.03	8.1	6.21	1.30	49	54	0.91	0.8
205	р.Чичиклія-с.Василівка	70	57	1.23	-	(1.44)	(1.00)	(1.44)	(53)	(53)	(1.00)	-1.2
206	р.Гнилий Єланець-с.Женево-Криворіжжя	68	99	0.69	-	(3.93)	(2.74)	(1.43)	(52)	(53)	(0.98)	3.3
211	р.Тілігул-с.Новоукраїнка	69	100	0.69	-	(2.67)	(1.86)	(1.44)	(53)	(54)	(0.98)	2.9
212	р.Тілігул-с.Березівка	59	101	1.71	-	(10.5)	(7.29)	(1.44)	(52)	(53)	(0.98)	3.9
213	р.Ботна-м.Каушани	67	93	0.72	-	(3.99)	(2.78)	(1.44)	(50)	(48)	(1.04)	2.9
214	р.Когильник-м.Котовськ	56	82	0.68	-	(0.59)	(0.41)	(1.44)	(49)	(48)	(1.02)	3.2
215	р.Ялпух-зал.ст.Комрат	47	82	0.57	-	(0.80)	(0.49)	(1.63)	(49)	(47)	(1.04)	5.1
216	р.Муса-зал.ст.Комрат	43	77	0.56	-	(0.28)	(0.19)	(1.47)	(49)	(47)	(1.04)	4.6
217	р.Тараклія-с.м.т. Тараклія	43	77	0.56	-	(0.34)	(0.24)	(1.42)	(47)	(44)	(1.07)	4.5

Продовження таблиці 5.16

Номери поста	Річка-пост	k_Y	Y_0, мм	$Y_m{}'$, мм	σ_{Y_m}, мм	C_v,	$P\%$	Y_m,мм	$\delta = Y_m - Y_m{}'$	δ_{don}, мм	δ / δ_{don},
	Хаджибейський лиман	0.95	10.4	9.9	-	1.19	30-40	-	-	11.5	-
205	р.Чичиклія-с.Василівка	0.93	12	11	20.5	1.38	30-40	(14)	3	14	0.21
206	р.Гнилий Єланець-с.Женево-Криворіжжя	0.78	19	15	20.0	1.11	40-50	(11)	-4	14	0.29
211	р.Тілігул-с.Новоукраїнка	0.78	10	8	20.6	1.44	30-40	(15)	7	14	0.50
212	р.Тілігул-с.Березівка	0.48	6	3	20.0	1.71	40-50	(12)	9	14	0.64
213	р.Ботна-м.Каушани	0.89	7	6	17.5	1.65	30-40	(5)	-1	12	0.08
214	р.Когильник-м.Котовськ	0.74	14	10	17.1	1.30	40-50	(5)	-5	12	0.42
215	р.Ялпуг-зал.ст.Комрат	0.52	4	2	16.6	2.00	30-40	(3)	1	11	0.09
216	р.Муса-зал.ст.Комрат	0.44	5	2	16.6	1.82	40-50	(3)	1	11	0.09
217	р.Тараклія-с.м.т. Тараклія	0.44	7	3	10.1	1.61	40-50	(2)	-1	7	0.14

* - значення шарів стоку весняного водопілля у 2006 р. отримані за рівнянням $Y_{2006}= 14(\varphi°-50)+44$

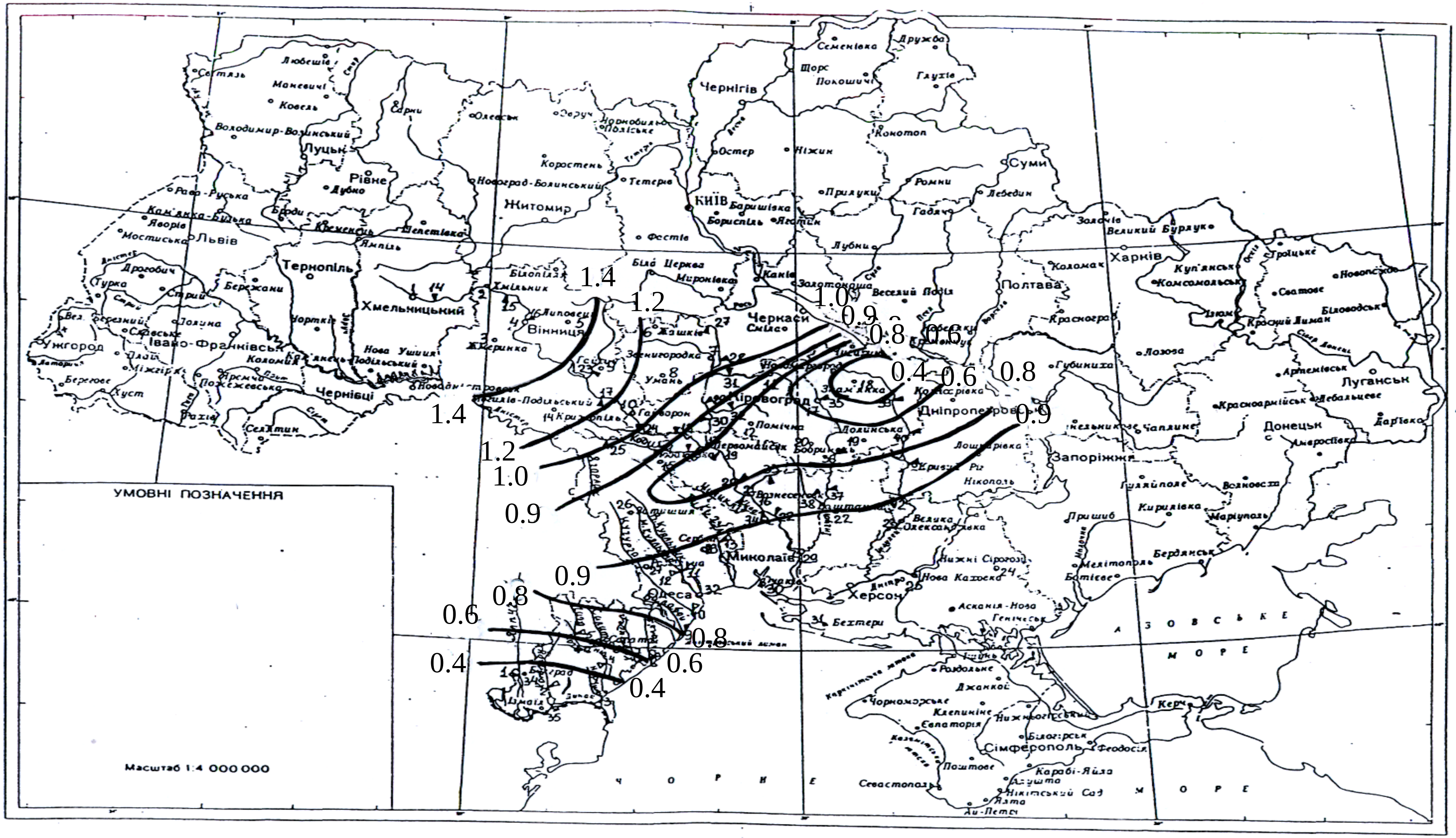


Рисунок 5.6 – Зміна по території модульних коефіцієнтів шарів стоку весняного водопілля 2006 року на території Півдня України, включаючи Причорноморську низовину

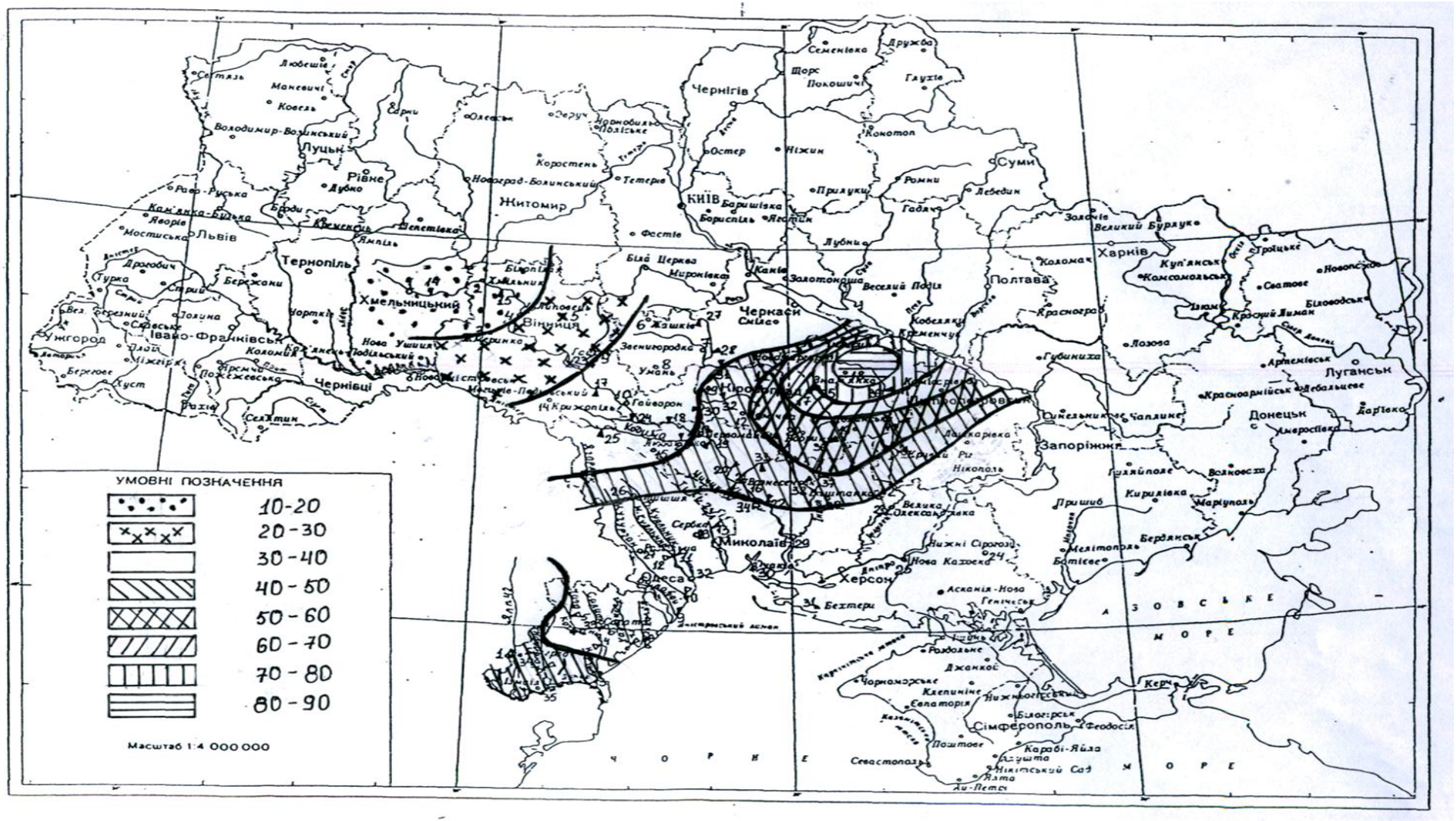


Рисунок 5.7 – Зміна по території забезпеченості (Р%) шарів стоку весняного водопілля 2006 року на території півдня України, включаючи Причорноморську низовину

6 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУ СТРОКІВ ПРОХОДЖЕННЯ ВЕСНЯНИХ ВОДОПІЛЬ В БАСЕЙНАХ РІЧОК ПРИЧОРНОМОРСЬКОЇ НИЗОВИНИ

Терміни проходження весняних водопіль значною мірою залежать від розмірів водозборів, ступеня їх залісеності та заболоченості й для тієї чи іншої географічної зони визначаються кліматичними умовами. У кожному конкретному році терміни розвитку та інтенсивність водопіль цілком визначаються наявністю снігу на водозборах, строками початку сніготанення і температурним режимом повітря цього періоду. В останні роки несталі погодні умови зимового і весняного сезонів призвели до широкої варіації дат як початку водопіль, так і їх максимальних витрат чи рівнів води – від дуже ранніх до досить пізніх строків зимово-весняного періоду.

6.1 Сучасний стан прогнозування строків проходження водопілля

Прогнози дат початку весняного водопілля та проходження його максимальних витрат або рівнів води засновані на їх кореляційній залежності від термінів початку сніготанення і дружності останнього та можливі лише при використанні довгострокового метеорологічного прогнозу температури повітря. Приклади таких прогнозів надані в навчальній літературі [18,29].

На сучасному рівні розвитку метеорологічні прогнози великої завчасності поки не відповідають потребам гідрологічних прогнозів – ні відносно переліку метеорологічних величин, ні відносно можливості прогнозів їх ходу у часі.

Велика мінливість умов погоди в період сніготанення створює значні труднощі навіть у встановленні кореляційних залежностей за фактичними даними, не кажучи вже про невисоку надійність довгострокових метеорологічних прогнозів. З цієї причини довгострокові прогнози строків початку і настання максимуму повені також не відрізняється надійністю і практично реальнішими є прогнози малої завчасності.

Довгостроковий прогноз строків настання максимальних витрат води або максимальних рівнів води, по суті зводиться до довгострокового прогнозу часу весняного танення снігу. Таке завдання може вирішуватися лише шляхом вивчення і використання закономірностей атмосферної циркуляції.

В практиці гідрологічних прогнозів відомі також методи довгострокового прогнозування дат початку та максимальних витрат води весною на основі встановлення індивідуальних кореляційних зв’язків цих дат із строками сталого переходу температури повітря до плюсових значень весною [18]. Залежності описуються рівнянням прямої у вигляді :

$$D_{Qm} = D_{0^\circ} + A. \qquad (6.1)$$

Але такі залежності, коли вони достатньо точні, дозволяють складати прогноз часу проходження піку водопілля лише на невеликих річках, особливо коли хвиля повені в основному формується у верхній частині басейну. Проте і в цих випадках завчасність прогнозу рідко перевищує 10-15 діб. Кутовий коефіцієнт в рівнянні (6.1) звичайно менший одиниці, що свідчить про те що, при пізньому початку танення більш інтенсивне наростання тепла ймовірніше, ніж при ранньому. Значні коливання погодних умов в період сніготанення, що особливо відчутно на великих водозборах з площею близько 200 тис.км^2, призводять до послаблення залежностей такого виду для прогнозу дат проходження водопілля і часто практично не задовільні.

Відомий досвід і просторових методів прогнозів дат проходження весняного водопілля. В Російському гідрометеологічному центрі (м. Москва) запропонований метод довгострокового прогнозу дат початку і максимальних витрат води в умовах проходження весняної повені на основі аналізу циркуляції атмосфери [30,31]. В основу методу прогнозу строків проходження водопіль покладено аналіз загальних атмосферних процесів, їхню кількісну оцінку та встановлення комплексних зв`язків строків початку та проходження максимальних витрат води водопілля від характеристик атмосферної циркуляції над значимими зонами Північної півкулі в зимові місяці, отриманими при розкладі метеорологічних полів по природних ортогональних складових. Передумовою таких процесів є як однорідність атмосферних процесів на значних просторах протягом довготривалого (синоптичного) сезону, в середині якого формується явище, так і закономірності розвитку (тенденції зміни) цих процесів від сезону до сезону, що дає можливість отримати прогноз погоди на один-два місяці наперед. Розрахунок кількісних показників атмосферних процесів здійснюється в межах характерних районів, де синоптичні процеси в попередні місяці виражають ранні чи пізні дати настання весняних явищ на річках.

6.2 Метод територіального прогнозу строків весняного водопілля на основі метеорологічного прогнозу температури повітря

6.2.1 Науково-методичні основи методу прогнозу строків проходження весняного водопілля

6.2.1.1 Прогнозування дат початку весняного водопілля. При розробці методики прогнозу дат початку водопілля за даними багаторічних спостережень авторами [32] було встановлено, що початок водопіль відбувається після строків накопичення максимальних снігозапасів на водозборі з року в рік у різні дати. Аналіз показав, що цей період, який в основному дорівнює періоду водоутримуючої спроможності снігу, визначається температурними умовами розвитку весни, тобто їхньою інтенсивністю, а не суто максимальними запасами води в сніговому покриві (S_m), величина яких впливала б на строки початку водовіддачі снігу і появи поверхневого стоку.

Визначення дат початку водопілля можна здійснити за схемою:

$$Д'_в = Д_{Sm} + t'_в, \quad (6.2)$$

де $Д'_в$ – очікувана дата початку весняного водопілля;

$Д_{Sm}$ – дата утворення максимальних запасів води в сніговому покриві;

$t'_в$ – очікувана тривалість періоду від дати $Д_{Sm}$ до дати початку водопілля $Д'_в$.

У зв'язку з цим були обгрунтовані залежності тривалості водоутримуючої спроможності снігу $(t_в)$, як періоду від дати утворення максимальних снігозапасів ($Д_{Sm}$) до дати початку водопілля ($Д_в$), визначеного за виразом

$$t_в = Д_в - Д_{Sm}, \quad (6.3)$$

від середньої декадної температури повітря за першу після $Д_{Sm}$ декаду (θ_1,°С), враховуючи досвід.

Слід відзначити, що температура θ_1,°С береться за даними метеостанцій, які розташовані близько до геометричних центрів тяжіння водозборів.

Залежності $t_в = f(\theta_1)$ не досить тісні, але тенденція до зменшення числа днів $t_в$ при підвищенні температури θ_1,°С чітко прослідковується. Такі зв'язки описуються рівняннями прямої

$$t_в = d_1 - c_1 \theta_1, \quad (6.4)$$

де d_1 і c_1 – емпіричні параметри.

На наступному етапі виконано узагальнення параметрів d_1 і c_1 для всієї розглядуваної території і встановлена залежність d_1 від географічної широти геометричних центрів тяжіння водозборів (φ, в частках °півн.ш.), приведених до φ=50°ппівн.ш., тобто

$$d_1 = a(\varphi - 50) + b, \quad (6.5)$$

a і b – параметри рівняння.

Таким чином, для визначення тривалості періоду від дати максимальних снігозапасів до початку водопілля $t_в$(д) отримане рівняння

$$t_в = [a(\varphi - 50) + b] - c_1 \theta_1. \quad (6.6)$$

Дата складання прогнозу $Д'_в$ за схемою (6.2) відповідає даті накопичення максимальних снігозапасів ($Д_{Sm}$). Завчасність прогнозів дат початку водопілля визначається саме величиною $t_в$, тобто дорівнює періоду від дати прогнозу $Д_{Sm}$ до дати початку водопілля $Д_в$.

6.2.1.2 Прогноз дат максимальних витрат води весняного водопілля. Дати проходження максимальних витрат води весняного водопілля ($Д_{Qm}$) відносно строків його початку визначаються інтенсивністю ("дружністю") весняного

сніготанення, кількістю та інтенсивністю опадів періоду танення снігу, швидкістю зростання і накопичення додатніх температур повітря та ін.

Дати проходження максимальних витрат води весняного водопілля визначаються за схемою

$$Д'_{Qm} = Д_в + t'_n, \qquad (6.7)$$

де $Д'_{Qm}$ – очікувана дата максимальної витрати води водопілля;

$Д_в$ – дата початку весняного водопілля, яка може бути отримана за прогнозом по (6.2) або за фактичною спостереженою датою;

t'_n – очікувана тривалість підйому весняного водопілля.

Аналогічно $t_в$, були виявлені залежності тривалості підйому водопілля (t_n, д) вигляду

$$t_n = Д_{Qm} - Д_в \qquad (6.8)$$

від середньої декадної температури повітря за першу після $Д_в$ декаду (θ_2,°С).

В результаті для визначення тривалості періоду підйому водопілля t_n отримано вираз

$$t_n = [x\ lg(F + 1) + y] - z\ \theta_2, \qquad (6.9)$$

де x, y, c_1 – параметри рівняння.

Дата складання прогнозу $Д'_{Qm}$ за схемою (6.7) можлива в фактично спостережену дату початку водопілля ($Д_в$). За наявності прогнозу $Д'_в$ за схемою (6.2) і довгострокового прогнозу температур повітря (близько 2-х декад) схема прогнозу $Д''_{Qm}$ наступна

$$Д''_{Qm} = Д'_в + t'_n, \qquad (6.10)$$

а дата його випуску буде відноситись до дати настання максимальних снігозапасів $Д_{Sm}$. Очевидно, що при цьому завчасність прогнозу дещо збільшується, а точність прогнозу знижується.

6.2.2 Методика встановлення забезпеченості очікуваних строків весняного водопілля

Запропонований метод територіального прогнозу дат весняного водопілля передбачає його використання для річок не досить добре вивчених у гідрологічному відношенні, тобто для річок, на яких спостереження за стоком весняного водопілля не ведуться. Тому необхідним є визначення повторюваності цих дат у багаторічному розрізі.

При наявності багаторічних рядів гідрологічних характеристик (X) задача визначення ймовірності їх настання (P%) вирішується шляхом побудови емпіричних кривих забезпеченості $X = f(P\%)$.

У гідрології забезпеченість випадкової величини P_m є ймовірність того, що випадкова величина X більше деякого фіксованого значення x, тобто

$$Pm = P(X > x). \quad (6.11)$$

Співвідношення забезпеченості та функції розподілу має вигляд:

$$Pm = 1 - F(x), \text{ а також } Pm + F(x) = 1, \quad (6.12)$$

де $F(x)$ – функція розподілу випадкової величини.

Криві розподілу ймовірностей будуються в декартових координатах, які використовуються в гідрології. Вони звичайно мають випукло - увігнутий вигляд. Тому виникають проблеми в екстраполяції емпіричних кривих забезпеченостей в області малих та великих забезпеченостей. Для усунення цих недоліків використовують клітчатки ймовірностей, які значною мірою вирівнюють залежності. Вирівнювання досягається за рахунок трансформації шкали забезпеченостей таким чином, щоб у системі координат розглядався інтегральний закон розподілу або крива забезпеченості у вигляді прямої лінії. Як правило, трансформація відбувається за допомогою графічних методів. Стосовно до закону нормального розподілу, використовується клітчата з помірною асиметрією. При позитивній асиметрії крива має дещо ввігнуту форму, при негативній – випуклу [33].

6.2.3 Форма представлення прогнозних дат проходження весняного водопілля

Наглядною формою просторового представлення прогнозу дат весняних водопіль є, безумовно, карти їх зміни по території. Побудова карт може бути здійснена лише для дат початку весняного водопілля, причому таким чином: очікувані дати $Д'_в$ відносять до геометричних центрів тяжіння водозборів і проводяться ізолінії дат по території.

Прогнозні дати проходження максимальних витрат води водопілля $Д'_{Qm}$ залежать від розмірів водозборів, тому не можуть бути картовані безпосередньо.

Для оцінки термінів проходження водопілля в поточному році відносно середньобагаторічних дат доцільним є розрахунок відхилення дат початку та максимальних витрат води весняного водопілля від середньобагаторічних дат, як

$$\Delta Д_в = Д'_в - (Д_в)_0 , \quad (6.13)$$

$$\Delta Д_{Qm} = Д'_{Qm} - (Д_{Qm})_0 . \quad (6.14)$$

Крім того, одночасно з картами прогнозних значень дат початку весняного водопілля надається й карта ймовірності очікуваних дат багаторічному розрізі (P %) у будь-якій частині території, незалежно від стану її

гідрометеорологічної вивченості. Так, наприклад, при Р=20 % - строки проходження водопілля будуть спостерігатися один раз у 5 років, при Р=1 % - один раз у 100 років. Такі карти забезпеченості будуються і для прогнозних дат проходження максимальних витрат і рівнів води.

6.2.4 Оцінка методики прогнозу термінів проходження весняного водопілля

Оцінка методики прогнозу строків настання явищ відповідно до "Наставления по службе прогнозов" [21], а також [34] здійснюється в залежності від дати складання прогнозу. Прогноз строків початку і максимальних витрат (рівнів) води не має фіксованої дати його випуску, тому показником якості методики є середня квадратична похибка

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (Д - Д')^2}}{n}, \qquad (6.15)$$

де $Д$ і $Д'$ - спостережені та прогнозовані дати гідрологічного явища ;
n – кількість прогнозів.
Методика оцінюється за S відповідно до табл. 6.1

Таблиця 6.1 – Показники якості методики прогнозу дат

Оцінка методики	Допустима похибка , д						
	1	2	3	4	5	6	7
добра за S≤	0.7	1.5	2.2	3.0	3.7	4.5	5.2
задовільна за S≤	1.2	2.4	3.6	4.8	5.9	7.1	8.2

Слід зауважити, що "оцінка методик, які базують на короткострокових прогнозах погоди (температур повітря та ін.), виконується за фактичними значеннями метеорологічних величин" [34].

Допустима похибка при короткострокових прогнозах дат настання весняних процесів береться в залежності від їх завчасності (табл.6.2).

Таблиця 6.2 – Значення допустимої похибки при прогнозах дат

Завчасність прогнозів, д	1-3	4-5	6-9	10-13	14-15
Допустима похибка прогнозів $\delta_{доп}$, д	1	2	3	4	5

Тому при завчасності прогнозів близько 10 діб для дат початку водопіль $\delta_{доп}$ дорівнює 4 доби , а за 15 діб для дат максимальних витрат води водопілля- $\delta_{доп}$ дорівнює 5 діб.

Зважаючи на невисоку якість і використання у методиці прогнозних температур повітря, очікувані терміни проходження водопіль на річках представляються у вигляді консультацій .

Оцінка прогнозів дат початку *(Д′в)* і максимальних витрат (рівнів) води *(Д′Qm)* в поточному році виконується шляхом розрахунку похибки прогнозу відносно фактично спостережених дат , як

$$\delta Д'в = Д в - Д'в , \qquad (6.16)$$

$$\delta Д'_{Qm} = Д_{Qm} - Д'_{Qm} . \qquad (6.17)$$

6.3 Статистична обробка рядів дат початку, максимальних витрат води водопілля та дат максимальних запасів води в сніговому покриві

Статистична обробка рядів проводилась по 15 гідрологічних постах (у вигляді кількості днів від 31.01) для дат початку *($N_в$)* і максимальних витрат води *(N_{Qm})* весняного водопілля, а також для дат максимальних запасів води в сніговому покриві *(N_{Sm})* - по 8 метеостанціях.

Розрахунок статистичних параметрів виконувався для періоду спостережень з початку гідрологічних вимірювань по 1997 рр. за двома методами: моментів і найбільшої правдоподібності. Встановлено, що коефіцієнти варіації за двома методами майже співпадають. Так, коефіцієнти варіації *Cv* для дат початку весняного водопілля змінюються від 0.31 до 0.77, для дат максимальних витрат води – від 0.24 до 0.59 для першого періоду. Для дат максимальних снігозапасів *Cv* змінюється від 0.8 до 2.9.

Для узагальнення *Cv* (по методу найбільшої правдоподібності) в басейнах річок Причорноморської низовини були побудовані залежності $Cv= f(\varphi^o - 50)$ і отримані рівняння:

- для дат початку весняного водопілля:

$Cv = 0.51 - 0.051\ (\varphi^o - 50)$, при коефіцієнті кореляції зв'язку r=0.41;

-для дат проходження максимальних витрат води:

$Cv = 0.30 - 0.061\ (\varphi^o - 50)$, при коефіцієнті кореляції зв'язку r=0.71;

де $\varphi°$ – географічна широта геометричного центру тяжіння водозбору;

Також побудована залежність $Cv=f(\varphi^{o\prime} - 50)$ для дат снігового покриву у вигляді:

$Cv = 1.024 - 0.381\ (\varphi^o - 50)$, при коефіцієнті кореляції зв'язку r=0.84, де $\varphi°$ - географічна широта пунктів виміру снігозапасів.

6.4 Розробка методики прогнозу строків проходження весняних водопіль в басейнах річок Причорноморської низовини

6.4.1 Аналіз вихідної інформації для прогнозування строків проходження водопілля

Для розробки методики прогнозу дат початку весняного водопілля за даними багаторічних спостережень (1961-2000 рр.) було вибрано декілька опорних гідрологічних постів, по яких є тривалі гідрологічні і метеорологічні ряди спостережень. Перевірку методики прогнозу строків водопілля здійснено для інших річок Причорноморської низовини, часто при обмеженості гідрологічних спостережень на них. В табл.5.10 наведений перелік використаних гідрологічних постів, для яких зібрані багаторічні матеріали за строками проходження водопіль і метеостанцій – про снігозапаси, включаючи дати максимальних запасів води в снігові, а також середні декадні температури повітря січня-травня за період з 1961 по 2000 рр. За даними багаторічних характеристик весняного водопілля та метеорологічних спостережень було створено комп'ютерну базу даних в програмі *«Excel»*.

6.4.2 Прогноз дат початку весняного водопілля

При аналізі строків проходження весняного водопілля встановлено, що дати його початку спостерігаються після строків накопичення максимальних снігозапасів на водозборі в залежності від температурних умов розвитку весни кожного року. Менш проявляється вплив самих величин максимальних запасів води в сніговому покриві (S_m), які визначають тривалість водоутримуючої спроможності снігу і строки початку водовіддачі снігу, при подальшій появі поверхневого стоку і припливу тало-дощової води до річкової мережі, тобто моменту початку весняного підйому рівнів води.

На етапі розробки методики прогнозу дат початку весняного водопілля на річках були отримані залежності тривалості водоутримуючої спроможності снігу *($t_в$),* як періоду від дати утворення максимальних снігозапасів *($Д_{Sm}$)* до дати початку водопілля *($Д_в$)*, визначеного різницею

$$t_в = Д_в - Д_{Sm}, \qquad (6.18)$$

від середньої декадної температури повітря за першу після $Д_{Sm}$ декаду θ_1,˚С. Приклад такої залежності для р.Кодима-с.Катеринка представлено на рис.6.1.

Залежності $t_в = f(\theta_1)$ не досить тісні, але тенденція до зменшення числа днів $t_в$ при підвищенні температури θ_1,°С чітко прослідковується. Такі зв'язки описуються рівняннями прямої (при θ_1 до 5.0-5.5 °С)

$$t_в = d_1 – c_1\, \theta_1, \qquad (6.19)$$

де d_1 *і* c_1 - емпіричні параметри.

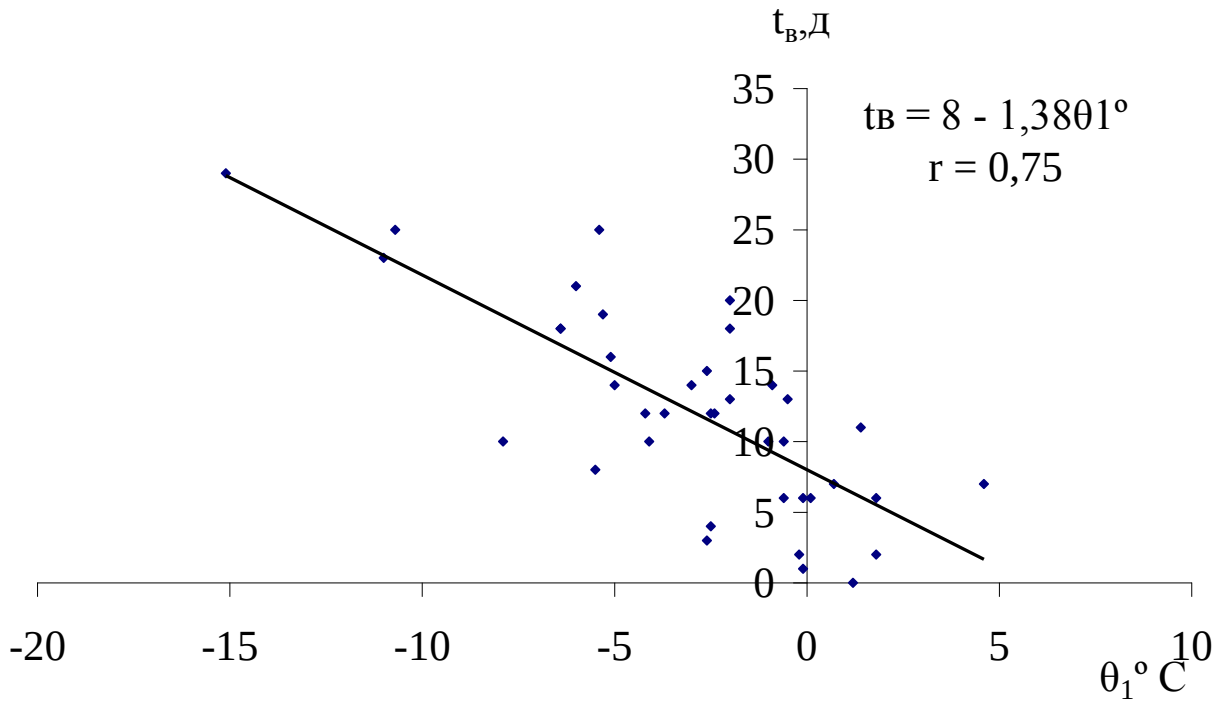


Рисунок 6.1 - Залежність $t_в = f(\theta_1)$ для басейну р. Кодима - с. Катеринка (температура повітря взята по метеостанції Любашівка)

За значеннями цих коефіцієнтів в межах рівнинної території України, у тому числі й для річок Причорноморської низовини, було отримано регіональне рівняння для визначення $t_в$

$$t_в = [0.43(\varphi - 50) + 7.72] - [0.16(\varphi - 50) + 1.64] \cdot \theta_1. \qquad (6.20)$$

Визначення дат початку водопілля здійснюється за схемою

$$Д'_в = Д_{Sm} + t'_в, \qquad (6.21)$$

де $Д'_в$ - очікувана дата початку весняного водопілля;

$Д_{Sm}$ - дата утворення максимальних запасів води в сніговому покриві;

$t'_в$ - очікувана тривалість періоду від дати $Дs_m$ до дати початку водопілля. Визначається $Д_в$ за (6.21) при використанні метеорологічного прогнозу температури повітря (θ_1 °С) за декаду, наступну після $Дs_m$.

Дата складання прогнозу $Д'_в$ за схемою (6.21) відповідає даті накопичення максимальних снігозапасів ($Дs_m$). Завчасність прогнозів дат початку водопілля визначається саме величиною $t_в$, тобто дорівнює періоду від дати прогнозу $Дs_m$ до дати початку водопілля $Д_в$.

6.4.3 Прогноз дат максимальних витрат води весняного водопілля

Дати проходження максимальних витрат води весняного водопілля ($Д_{Qm}$) зміщені відносно строків його початку на період, який дорівнює тривалості гілки підйому весняної хвилі і залежить від інтенсивності весняних процесів, пов'язаних з інтенсивністю підвищення плюсових температур повітря та ін.

При цьому були виявлені залежності тривалості підйому водопілля (t_n,доби)

$$t_n = Д_{Qm} - Д_в \qquad (6.22)$$

від середньої декадної температури повітря за першу, після дати початку водопілля $Д_в$, декаду (θ_2, °С).

Графічний вигляд залежностей $t_n = f(\theta_2)$ показаний на рис.6.2.

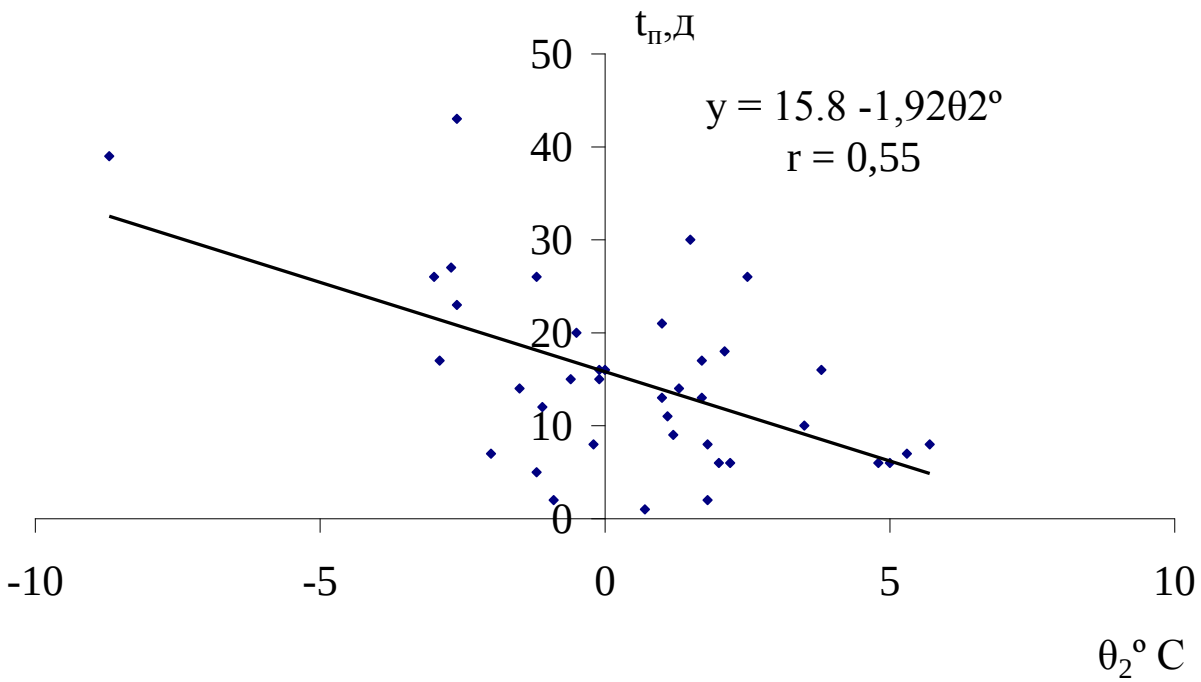


Рисунок 6.2 - Залежність $t_n = f(\theta_2)$ для басейну р.Кодима – с.Катеринка (температуру повітря взято по метеостанції Любашівка)

Такі залежності для деяких річок півдня України мають спадний характер при зростанні температури повітря $(\theta_2°,C)$ і описуються рівняннями вигляду (при θ_2 до 5 °С)

$$t_n = d_2 - c_2\,\theta_2 \qquad (6.23)$$

де d_2 і c_2 - емпіричні параметри.

В межах рівнинної території України, у тому числі й для річок Причорноморської низовини було отримано рівняння для визначення t_n

$$t_n = \{3.45 \cdot exp\,[0.42 \cdot lg(F+1)]\} - [-0.12(\varphi - 50) + 1.75] \cdot \theta_2. \quad (6.24)$$

Дати проходження максимальних витрат води весняного водопілля визначаються за схемою

$$Д'_{Qm} = Д_в + t'_n, \quad (6.25)$$

де $Д'_{Qm}$ - очікувана дата максимальної витрати води водопілля;

$Д_в$ - дата початку весняного водопілля, яка може бути отримана за прогнозом по (6.21) або за фактично спостереженою датою;

t'_n - очікувана тривалість підйому весняного водопілля, яка визначається за (6.24), спираючись на метеорологічний прогноз температури повітря θ_2, °С за декаду, наступну після дати початку водопілля $Д_в$.

Дата складання прогнозу $Д'_{Qm}$ за схемою (6.25) можлива в фактично спостережену дату початку водопілля $(Д_в)$. За наявності прогнозу $Д'_в$ за схемою (6.21) і довгострокового прогнозу температур повітря (близько 2-х декад) схема прогнозу $Д''_{Qm}$ наступна

$$Д''_{Qm} = Д'_в + t'_n \quad (6.26)$$

Завчасність прогнозів дат проходження максимальних витрат води весняного водопілля визначається тривалістю t_n, тобто дорівнює періоду від дати початку водопілля $Д_в$ до дати настання максимуму водопілля $Д'_{Qm}$.

6.4.4 Оцінка методики прогнозу термінів проходження весняного водопілля

Оцінка методики прогнозів строків весняного водопілля виконана шляхом складання перевірних прогнозів дат початку водопілля $Д'_в$ і дат максимальних витрат води $Д'_{Qm}$.

В поточному році оцінка прогнозів строків початку та максимальної витрати води водопілля виконувалася шляхом розрахунку похибки прогнозу відносно фактично спостережених дат, як

$$\delta = \Delta Д'_в = Д_в - Д'_в; \quad (6.27)$$

$$\delta = \Delta Д'_{Qm} = Д_{Qm} - Д'_{Qm}. \quad (6.28)$$

Збіжність прогнозних і спостережених дат проходження водопіль на річках Причорноморської низовини, по яких є тривалі гідрологічні спостереження (за період з 1961 по 2000 рр., тобто за 40 років), ілюструється на прикладі р.Кодима-с.Катеринка:

- для дат початку водопілля $Д_в$ – на рис.6.3.

- для дат максимальних витрат води $Д_{Qm}$ – на рис.6.4.

Зв'язки достатньо тісні: з коефіцієнтами кореляції для дат початку водопілля *r*= 0.78 – 0.93, а для дат максимальних витрат води водопілля *r* =0.72– 0.97 (табл.6.3).

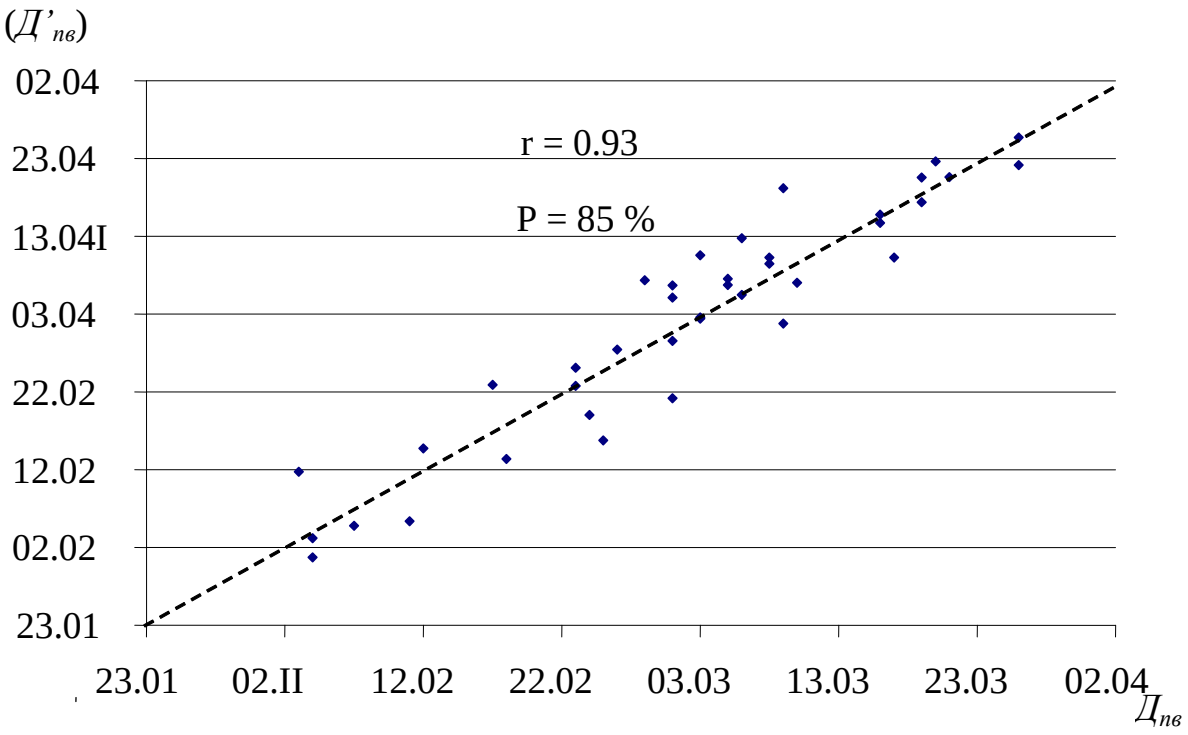


Рисунок 6.3 - Збіжність прогнозних ($Д'_{пв}$) і спостережених ($Д_{пв}$) дат початку весняного водопілля в басейні р.Кодима – с.Катеринка

Допустима похибка при короткострокових прогнозах дат настання весняних процесів, як відомо [21,34], береться в залежності від їх завчасності. Однак, методики прогнозу дат гідрологічних явищ, які базуються на використані очікуваних за метеорологічним прогнозом температур повітря навесні, допустима похибка приймається за рекомендаціями [21,34] і дорівнює 6 діб.

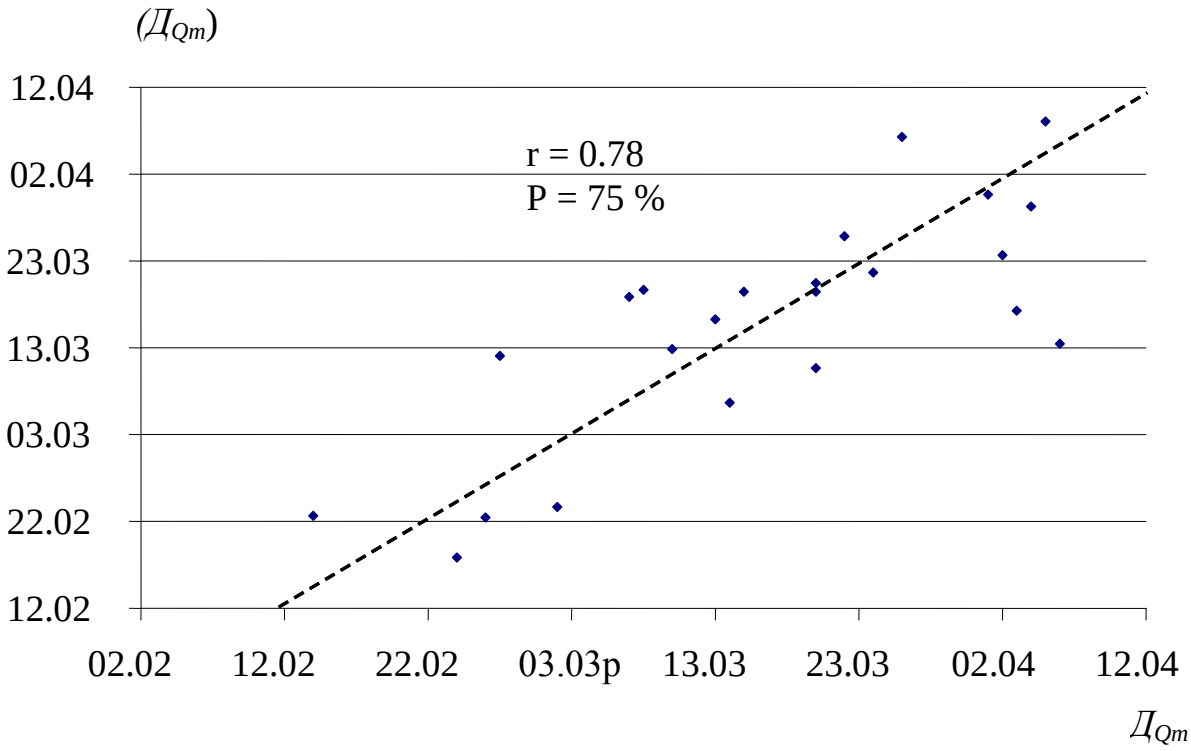


Рисунок 6.4 - Збіжність прогнозних ($Д'_{Qm}$) та фактичних ($Д_{Qm}$) дат максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Кодима - с. Катеринка

Таблиця 6.3 - Оцінка прогнозів дат проходження весняних водопіль на річках Причорноморської низовини, по яких велася розробка методики прогнозів

Номери постів	Річка – пост	F, км²	Період для перевірних прогнозів	Кількість Років для прогнозів	$Д_{пв}$			$Д_{Qm}$		
					r	*S*, д	*P* %	*r*	*S*, д	*P* %
197	Кодима – с. Катеринка	2390	1961-2000	40	0.93	5	85	0.78	8	75
200	Велика Вись – с. Ямпіль	2820	1961-2000	40	0.84	9	61	0.90	9	65
201	Ятрань - с.Покотилово	2140	1961-2000	40	0.80	8	91	0.97	8	52
203	Чорний Ташлик – с. Тарасівка	2230	1961-2000	40	0.78	10	58	0.82	10	52

Показником якості методики є середня квадратична похибка *S*, при значенні якої до 4.5 - методика вважається «доброю», а при значені до 7.1 - «задовільною». Значення показника якості *S* для дат початку весняного водопілля річок, дані по яких використовувалися при розробці методики прогнозу, змінюється в межах від 5 до 10. Значення показника якості *S* для дат максимальної витрати води весняного водопілля річок півдня України становлять 8-10.

Забезпеченість допустимої похибки прогнозів за табл.6.3, дорівнює :

- для дат початку весняного водопілля $P = 58 – 91\%$;
- для дат максимальних рівнів чи витрат води $P = 52 – 75\ \%$.

Зважаючи на не дуже високу якість і використання у методиці прогнозних температур повітря, очікувані терміни проходження водопіль на річках представляються у вигляді консультацій.

Перевірку методики прогнозування строків початку та настання максимальних рівнів або витрат води весняного водопілля було виконано на інших річках Причорноморської низовини, дані яких не увійшли до розробки методики прогнозу. Перелік річок, періоди і результати прогнозів строків водопіль представлені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 - Оцінка прогнозів дат проходження весняних водопіль на річках Причорноморської низовини при обмеженості гідрологічних рядів спостережень

Номери постів	Річка – пост	F, км²	Період для перевірних прогнозів	Кількість років для прогнозів	$Д_{пв}$		$Д_{Qm}$	
					S, д	*P* %	*S*, д	*P* %
204	р.Мертвовід-с.Крива Пустош	252	1961-1997	37	7	83	17	50
205	р.Чичиклія-с.Василівка	436	1961-1988	28	7	79	12	57
206	р.Гнилий Еланець-с.Женєво-Криворіжжя	1190	1961-1988	28	6	89	15	71
210	р.Громоклея-с.Михайлівка	1410	1961-1988	28	5	75	12	54
211	р.Тілігул-с.Новоукраїнка	810	1961-1988	28	6	86	14	54
212	р.Тілігул-с.Березівка	3170	1961-1997	37	5	89	15	54
213	р.Ботна-м.Каушани	1210	1968-1983	16	5	75	14	68
214	р.Когильник-м.Котовськ	179	1968-1983	16	6	81	12	61
215	р.Ялпух-з.ст.Комрат	241	1969-1983	15	5	80	13	57
216	р.Муса- з.ст.Комрат	83.5	1968-1977	10	4	100	13	60
217	р.Тараклія-с.м.т. Тараклія	103	1968-1983	16	4	75	11	69

Якість методики весняних водопіль краща при прогнозах дат початку водопіль – забезпеченість методики *P*=75-100 %. При прогнозах максимальних рівнів чи витрат води водопілля необхідний ретельний аналіз снігових максимумів, і за відповідних умов весняного сезону, приймання в прогнозній схемі середньої температури повітря за пентаду, а не за декаду.

6.4.5 Встановлення забезпеченості очікуваних строків весняного водопілля та форма представлення прогнозних дат проходження весняного водопілля

Як було указано вище, важливою характеристикою прогнозних строків проходження весняного водопілля є встановлення ймовірності їх настання у багаторічному розрізі. Методика визначення забезпеченості прогнозних дат описана у п. 6.2.2.

Для річок досліджуваної території, на яких є тривалі ряди спостережень, були побудовані криві забезпеченості дат початку та максимальних витрат води весняного водопілля за допомогою програми *"StokStat*". Приклади таких кривих наведені для дат початку весняного водопілля на рис. 6.5 і дат проходження максимальних рівнів води - на рис. 6.6. Для очікуваних дат з кривих знімаються значення їх забезпеченості *P*%.

Формою представлення прогнозних дат початку водопілля і ймовірностей їх настання у багаторічному періоді є карти розподілу цих значень по території. Прогнозні дати та їх забезпеченості відносяться до геометричних центрів тяжіння водозборів і проводяться ізолінії розподілу цих величин по території. Будуються також карти ймовірностей настання дат максимальних витрат чи рівнів води весняного водопілля у поточному році.

6.5 Порядок складання прогнозу строків проходження весняного водопілля в басейні Хаджибейського лиману

6.5.1 Порядок складання прогнозу дат початку весняного водопілля

Прогнозування дат початку весняного водопілля в кожному році включає наступні етапи (табл.6.5):

а) вибір дати максимальних снігозапасів:

За даними снігомірних зйомок по метеостанціях Затишшя і Роздільна було встановлено, що у 2006 р. дата максимальних снігозапасів спостерігалася 5 березня, але к 10 березня сніг все ще утримувався на водозборі, завдяки від'ємним температурам повітря. Дата 5 березня є датою складання прогнозу для дати початку водопілля;

б) вибір декади наступної після дати $Д_{Sm}$ – декада з 6 по 15 березня;

в) отримання для цієї декади березня середньодекадної температури повітря – у 2006 р. вона дорівнювала -4.8 ^{0}С по метеостанції Одеса;

г) розрахунок тривалості водовіддачі снігу $t'_в$ виконується за формулою (6.20):

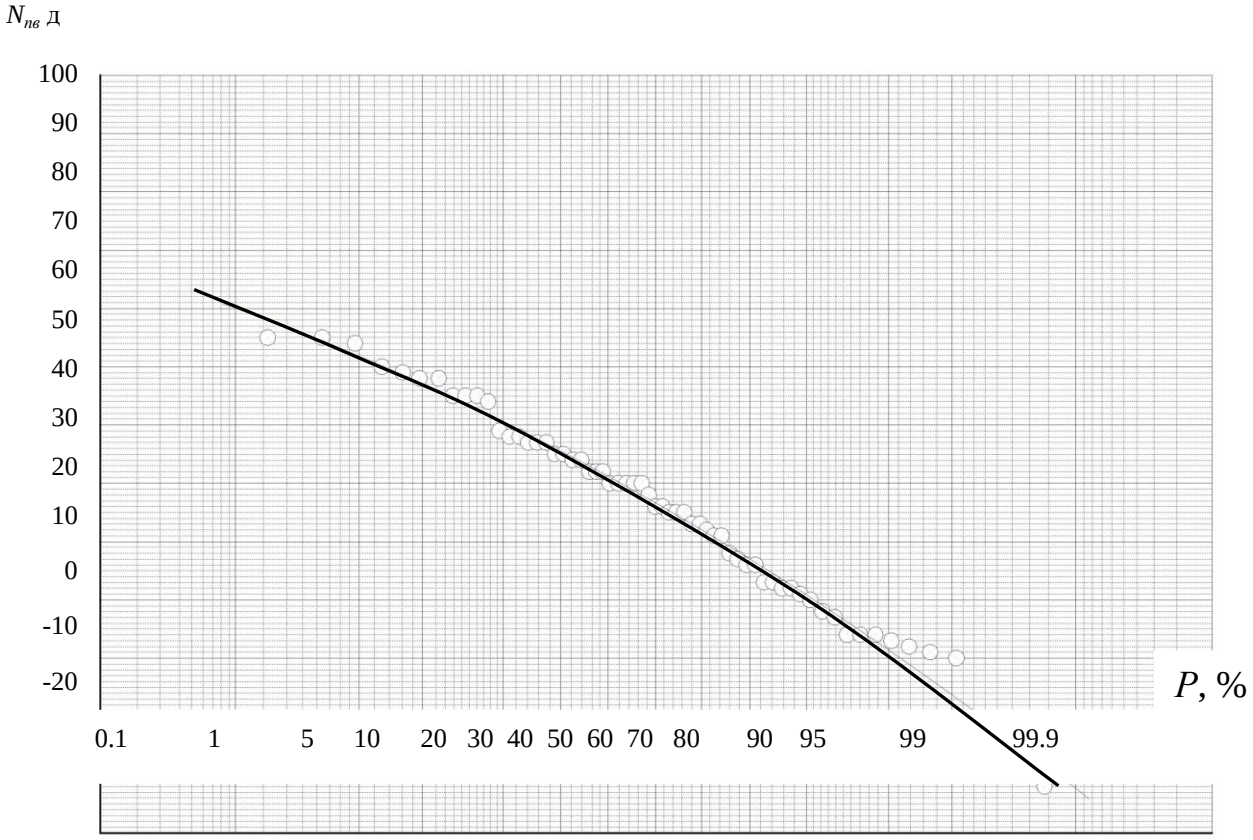


Рисунок 6.5 – Крива забезпеченості дат початку весняного водопілля (у вигляді кількості діб від 31.01)

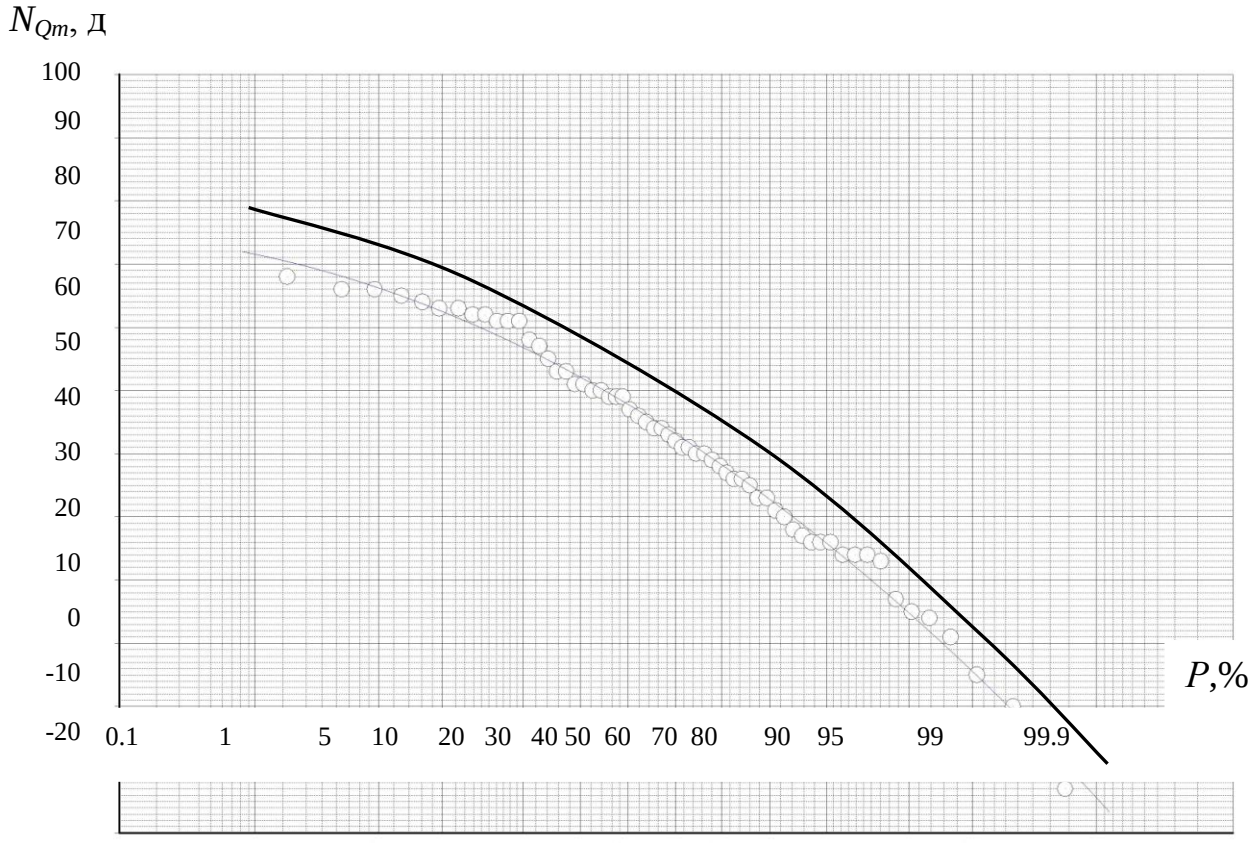


Рисунок 6.6 –Крива забезпеченості дат проходження максимальних витрат (рівнів) води (у вигляді кількості діб від 31.01)

$$t'_в = [0.43(\varphi - 50) + 7.72] - [0.16(\varphi - 50) + 1.64] * \theta_1 =$$
$$= [0.43\cdot(46.83\text{-}50)+7.72] - [0.16\cdot(46.83\text{-}50)+1.64]\cdot(-4{,}8) = 12 \text{ діб},$$

де (φ° -50) – приведена до 50° півн.ш. географічна широта геометричного центру тяжіння водозбору, в частках град.півн.ш.;

θ_1 - температури повітря за десять днів після $Дs_m$, C°;

д) визначення дати початку весняного водопілля ведеться за схемою (6.21):

$$Д'_{пв} = Д_{Sm} + t'_в = 5.03+12 = 17.03 \text{ (17 березня)},$$

де $Д'_в$ – очікувана дата початку весняного водопілля;

$Д_{Sm}$ – дата утворення максимальних запасів води в сніговому покриві;

$t'_в$ – очікувана тривалість періоду від дати $Д_{Sm}$ до дати початку водопілля $Д'_в$;

Таблиця 6.5 – Прогноз дат початку весняного водопілля 2006 р. в басейні Хаджибейського лиману

Дата S_m	Температура повітря θ_1 ^{0}C	Тривалості водовіддачі снігу $t'_в$, доби	Дата початку весняного водопілля за прогнозом $Д'_{пв}$	Дата початку весняного водопілля за картою $Д'_{пв}$	Дата початку весняного водопілля спостережена $Д_{пв}$	Забезпеченість $Д_{пв}$ $P\%$
5.03	-4.8	12	17.03	14.03	14.03	30

е) встановлення ймовірності настання дати початку весняного водопілля 2006. р. за кривими забезпеченості (див. рис.6.5). Так, у 2006 р. по прогнозній даті початку водопілля 16 березня, яку потрібно представити у вигляді кількості діб від 31 січня – $N_{пв}$ = 44 доби, отримаємо з кривої забезпеченість P=30%.

За наявності карто-схем дат початку весняного водопілля та ймовірності їх настання у багаторічному розрізі на території Причорноморської низовини, які можуть бути складені у відділі гідрологічних прогнозів ГМЦ ЧАМ, прогнозування дат початку водопілля у кожному році ведеться більш зручно – по картах розподілу цих дат по території (рис.6.7). З цією метою для будь-якого водозбору розглядуваної території, включаючи басейн Хаджибея, по геометричних центрах тяжіння водозборів по карто-схемі $Д'_в$ встановлюються дати початку водопілля в поточному році (див.табл.6.5).

Так, отримана за картою-схемою (див.рис.6.7) прогнозна дата початку водопілля 2006 р. в басейні лиману Хаджибей припадає на 14 березня. Фактично підйом рівнів води в лимані розпочався в 14 березня 2006 р.

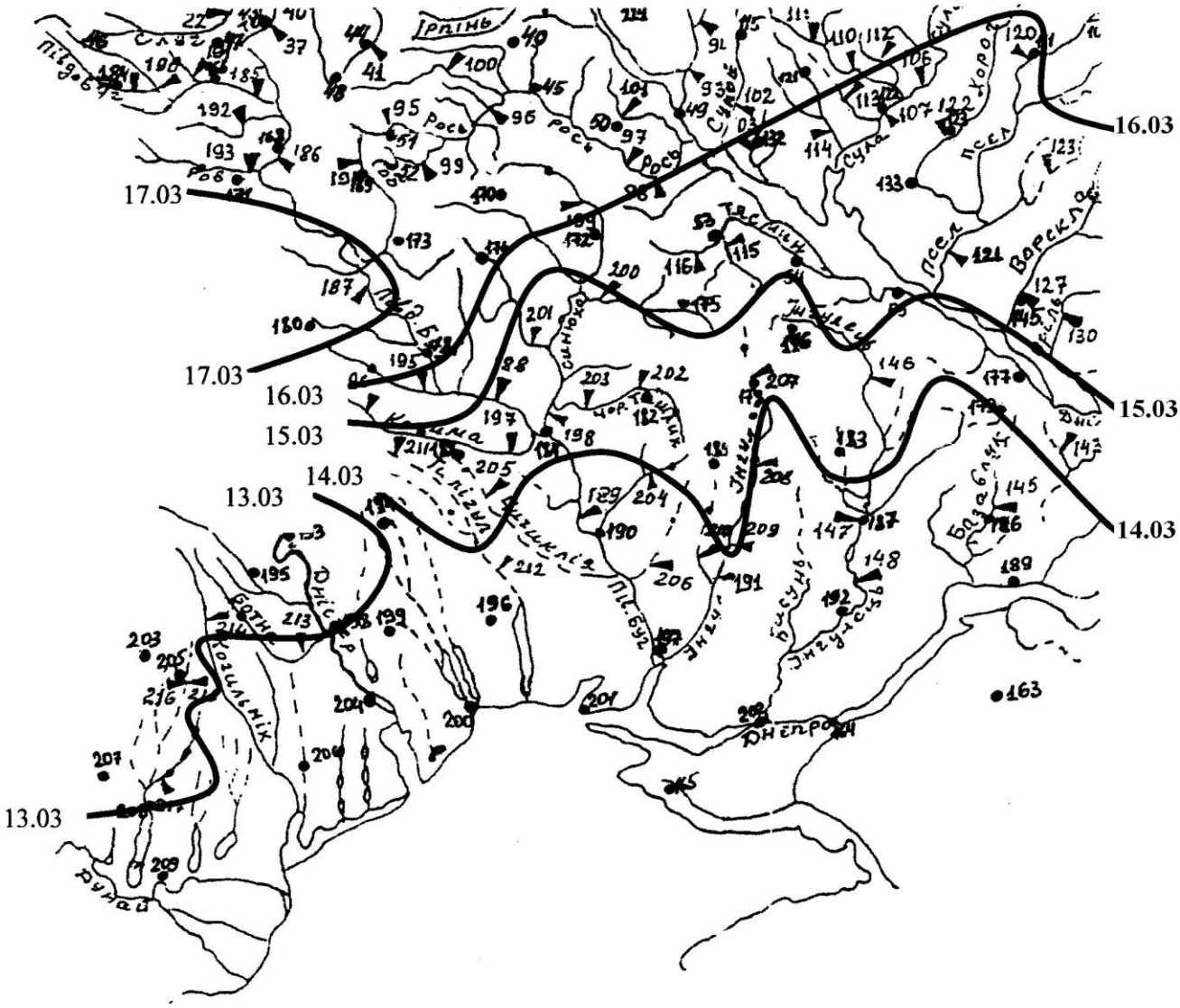


Рисунок 6.7 - Розподіл по території прогнозних дат початку весняного водопілля 2006 р. на рівнинних річках півдня України

Крім того, по картах забезпеченості (рис.6.8) аналогічним чином встановлюється ймовірність настання прогнозних дат початку водопілля у багаторічному розрізі *P%* і у 2006 р. в басейні лиману дорівнює 30 %.

6.5.2 Порядок складання прогнозу дат проходження максимальних рівнів води весняного водопілля

Прогнозування дат проходження максимальних витрат води весняного водопілля в басейні Хаджибейського лиману в кожному році включає наступні етапи:

а) прогноз строків проходження максимальних витрат води весняного водопілля відбувається в спостережену дату початку водопілля $Д_{пв}$, тобто 14 березня 2006 р.:

а) вибір декади наступної після дати $Д_{пв}$– десять діб з 15 по 25 березня;

б) отримання для третьої декади березня середньодекадної температури повітря для метеостанцій, які розташовані в центрі тяжіння водозборів;

в) розрахунок тривалості підйому весняного водопілля t_n ведеться за схемою (6.24):

$$t_n = \{3,45^* \exp [0,42^* \lg(F+1)]\}- [-0,12(\varphi - 50) +1,75]^*\theta_2 =$$
$$=\{3,45^* \exp [0,42^* \lg(2700+1)]\}- [-0,12(46.83 - 50) +1,75]^*(-1.7)=18 \text{ діб},$$

де (φ° -50) - географічна широта геометричного центру тяжіння водозбору, в частках град. півн.ш;

θ_2 - температури повітря за декаду, наступну після $Д_{пв}$,С°;

г) встановлення дати проходження максимальних витрат води весняного водопілля виконується за (6.25):

$$Д'_{Нт} = Д_{пв} + t'_n = 14.03 +18= 2.04 \text{ (2 квітня)},$$

де $Д'_{Нт}$ – очікувана дата максимальної витрати води водопілля;

$Д_в$ – дата початку весняного водопілля;

t'_n – очікувана тривалість підйому весняного водопілля.

Однак, в цьому випадку дати настання максимальних витрат (рівнів) води не можуть бути картографічно представлені у зв'язку з тим, що строки їх проходження залежать від площ водозборів;

д) встановлення ймовірності настання дати проходження максимальних рівнів води весняного водопілля 2006 р. в лимані Хаджибей відбувається за кривими забезпеченості (рис.6.6). Так, у 2006 р. по прогнозній даті максимальних рівнів води 2 квітня або у вигляді кількості діб від 31 січня – $N_{Нт}$ = 77 діб, отримаємо з кривої забезпеченість *P*=28%.

Але ж, якщо замовнику будуть передані Гідрометцентром карти забезпеченостей дат настання максимальних рівнів води водопілля (рис.6.9), можливе встановлення їх ймовірності у багаторічному розрізі *P%*, яка у 2006 р. в басейні Хаджибейського лиману дорівнювала 25 %.

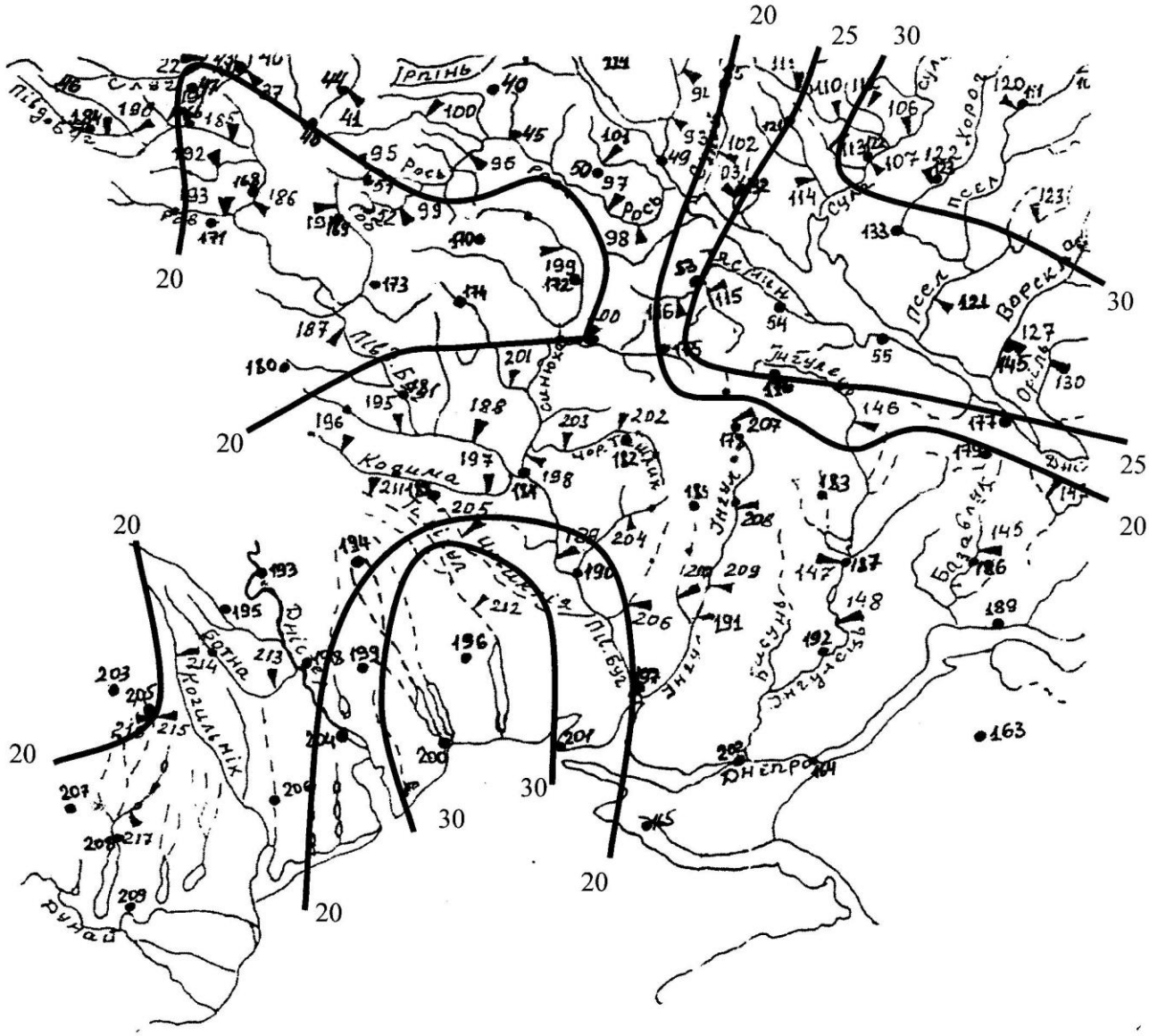


Рисунок 6.8 – Розподіл по території ймовірності настання прогнозних дат початку весняного водопілля 2006 р. на річках півдня України (*P*%)

Результати прогнозу дат максимальних рівнів води та їх забезпеченості наведені в табл.6.6.

Таблиця 6.6 – Прогноз дат максимальних рівнів води весняного водопілля 2006 р. в басейні Хаджибейського лиману

Дата початку водопілля, $Д_{пв}$	Температура повітря, θ_2 ^{0}С	Тривалості підйому водопілля, t'_n, д	Дата максимального рівня води водопілля за прогнозом, $Д'_{Нт}$	Дата максимального рівня води водопілля спостережена, $Д_{Нт}$	Забезпеченість $Д_{Нт}$, $Р\%$
14.03	-1.7	18	2.04	21.3-4.05	25

Фактично спостережені високі рівні води в лимані спостерігалися у період з 21 березня по 4 травня 2006 р. при максимальному рівні на відмітці 238 см над «0» графіку поста с.Усатове 16 квітня.

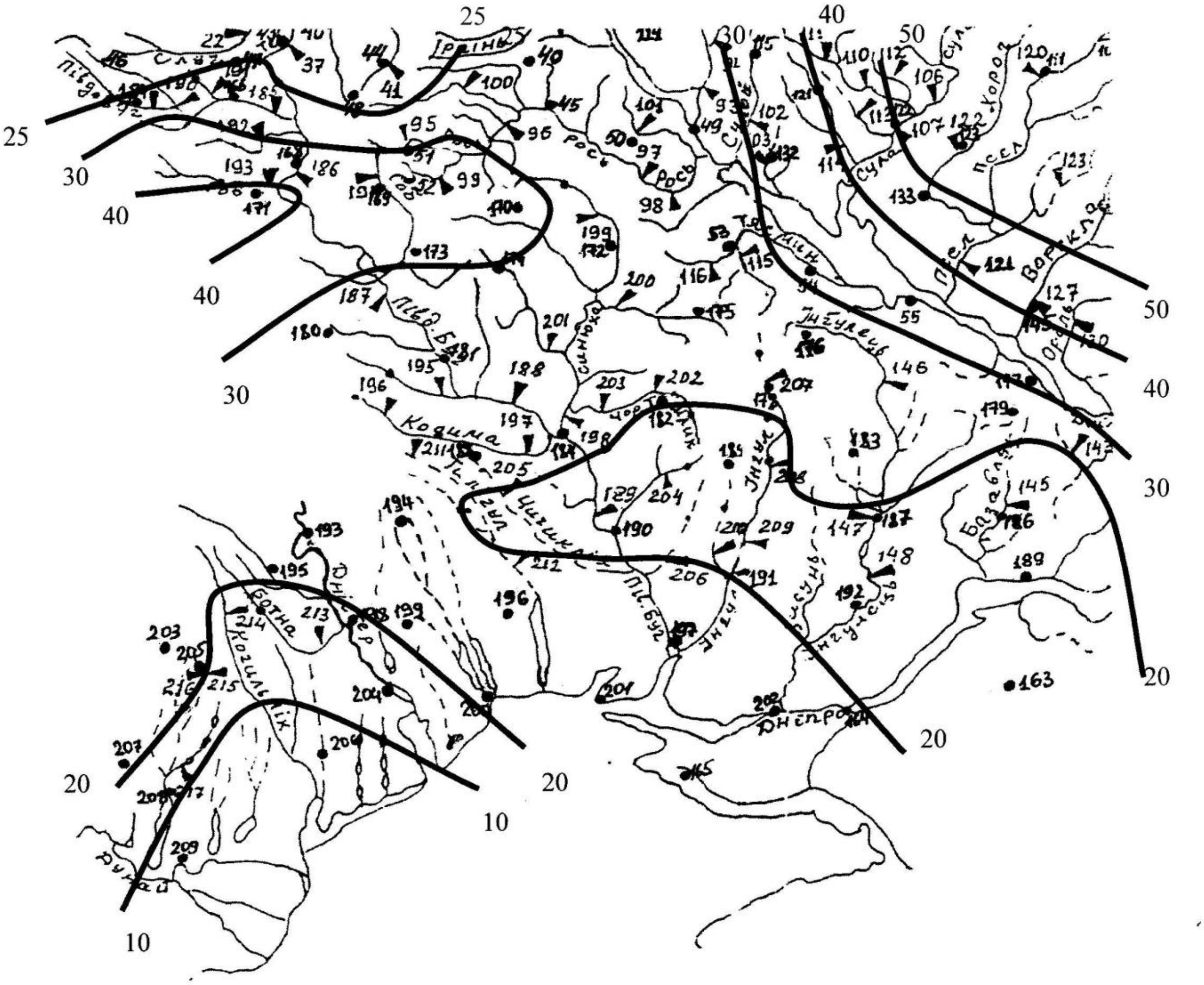


Рисунок 6.9 – Розподіл по території ймовірності настання прогнозних дат проходження максимальних витрат води весняного водопілля 2006 р. на рівнинних річках України (P%)

7 РОЗРОБКА РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ДЛЯ ОЦІНКИ НАПОВНЕННЯ ХАДЖИБЕЙСЬКОГО ЛИМАНУ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ПОВЕРХНЕВОГО ПРИПЛИВУ ВОДИ В ПЕРІОД ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ

Оцінка припливу води до Хаджибейського лиману у найбільш багатоводний період року – весняне водопілля, є важливою задачею у зв'язку з підйомом рівнів води, загрозою переповнення водойми і можливістю затоплення території Пересипу за рахунок значного надходження поверхневих вод під час високих водопіль і дощових паводків.

Так, за умови проекту інституту «УкрПівденДіпроводгосп» був встановлений розрахунковий горизонт щорічного спрацювання водойми перед весняним водопіллям при (НПР) на рівні мінус 0.5 м БС, а в умовах нормального режиму роботи насосної станції для скидів води з лиману обмежений максимальний рівень води у лимані на відмітці плюс 1.57 м БС. При цьому для нормального функціонування автомобільної дороги призначена й відмітка гребеня дамби, яка дорівнює плюс 3.1 м БС [10,11].

В даному розділі запропонована схема розрахунку припливу води до водойми лиману Хаджибей на основі оперативного прогнозу шарів весняного водопілля в басейні лиману у поточному році (при встановленні ймовірності настання у багаторічному розрізі об'єму водопілля) з урахуванням, за необхідністю, відкачки весняних вод насосною станцією з лиману у море. Крім того, обґрунтований метод визначення весняних водопіль і дощових паводків розрахункової виняткової ймовірності P=1%, тобто повторюваність яких складає 1 раз у 100 років, а також оцінені можливі значення відміток води у лимані за умови виникнення водопіль та паводків рідкісної ймовірності настання у багаторічному періоді.

7.1 Адаптація прогнозної моделі до умов функціонування Хаджибейського лиману при його наповненні у весняний період року

Визначення припливу тало-дощових вод до Хаджибейського лиману у весняний період року ведеться на основі довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля і строків його настання в басейні лиману.

Запропонована методика довгострокового прогнозування дає можливість складання оперативних прогнозів шарів стоку (п.5.6.3.2) та строків проходження (п.6.5.1) весняного водопілля для басейну Хаджибейського лиману за гідрометеорологічними даними спостережень, враховуючи синоптичний прогноз опадів і температури повітря. Але у зв'язку з тим, що спостереження за стоком р.Малий Куяльник, яка безпосередньо живить водойму лиману не відбуваються і більшість параметрів прогнозної схеми підлягають їх відновленню, прийнята найбільш зручна схема прогнозу характеристик весняного водопілля на основі оперативних карт очікуваних величин та їх забезпеченостей (п.5.6.4 і 6.6) для басейну лиману Хаджибей, який включає басейни р.Малий Куяльник, а також

численних тимчасових водотоків, які відносяться до долин ярів та балок і обумовлюють боковий приплив води до водойми.

Етапи розрахунку припливу тало-дощової води до лиману Хаджибей на основі прогнозування строків та шарів стоку весняного водопілля наведені нижче.

1.Створення бази вихідної інформації по басейну лиману Хаджибей з метою визначення підйому рівнів води у період проходження весняного водопілля.

2.Аналіз умов формування весняного водопілля у поточному році (приклад для весняного водопілля 2006 р. наведений у п.5.6.1).

3.Визначення тривалості проходження водопілля в лимані на основі прогнозних строків початку водопілля.

4.Оцінка проходження максимального рівня води в басейні Хаджибейського лиману на основі прогнозу дати його настання.

5.Складання прогнозу шарів стоку весняного водопілля для басейну лиману Хаджибей.

6.Оцінка ймовірності настання (забезпеченості) прогнозних строків водопілля та шарів весняного стоку у багаторічному розрізі.

7.Визначення припливу тало-дощових вод до Хаджибейского лиману у весняний період року. Встановлення відміток рівня води при проходженні весняного водопілля.

8.Визначення припливу тало-дощових вод до Хаджибейского лиману у весняний період року при роботі насосної станції каналу «лиман-море».

7.1.1 Створення бази вихідної інформації для басейну Хаджибейського лиману при розрахунку припливу весняних вод

Базова вихідна інформація включає:

1. Морфометричні та басейнові характеристики водозбору Хаджибейського лиману;

- площа водозбору F=2700, км^2;
- крива площ водної поверхні лиману $F_{дз} = f(H)$ (див.рис.1.14);
- крива об'ємів води $W = f(H)$ (див.рис.1.15);
- географічна широта геометричного центру тяжіння водозбору лиману – φ, яка дорівнює 46°50' півн.ш. або 46.83 в частках ° півн. ш.

2. Середні багаторічні дані:

- карто-схема середньобагаторічної тривалості весняних водопіль в басейнах річок півдня України (рис.7.1);
- залежність для встановлення норми шарів стоку весняного водопілля (Y_0) у вигляді (4.3);
- залежність для встановлення коефіцієнтів варіації $(C_v)_Y$ у вигляді (4.2);
- залежність для встановлення норми глибини промерзання ґрунтів (L_0) за (5.16);
- залежність для встановлення середньої витрати води у лютому $(Q_{02})_0$ у вигляді (5.36);

- норма місячного випаровування з водної поверхні (по станції м. Болград);
- норма рідких опадів за період весняного водопілля (по станції с.Усатове або м. Одеса) або розрахункові норми цих опадів за схемою (5.5)-(5.6).

Оперативна вихідна інформація включає такі вихідні дані:

- снігомірних зйомок на дати складання прогнозів;
- глибини промерзання ґрунтів на метеостанціях або залежність для встановлення їх максимальних значень (для зими 2006 р. у вигляді (5.37);
- прогнозні значення шарів стоку весняного водопілля та ймовірності їх настання у багаторічному розрізі в басейні лиману;
- залежність (5.38) для встановлення витрати води у лютому 2006 р.
- метеорологічний прогноз опадів, температури повітря, випаровування у березні – квітні;

7.1.2 Визначення тривалості проходження водопілля в лимані на основі прогнозних строків початку водопілля

Прогнозування строків проходження водопілля у 2006 р. в басейні Хаджибейського лиману наведене в п.6.5.

1. Приймаємо спрогнозовану дату початку весняного водопілля 2006 р., яка припадає на 14 березня 2006 р. при ймовірності її настання Р=30% (див.табл. 6.5).

За карто-схемою розподілу середньобагаторічної тривалості весняного водопілля на річках півдня України (див. рис.7.1) отримуємо для геометричного центру тяжіння басейну лиману значення тривалості водопілля 2006 р. порядку 40 діб.

Таким чином, розрахунковий період основного надходження талодощових вод періоду весняного водопілля 2006 р. до Хаджибейського лиману прийнятий з 14 березня по 24 квітня.

1. Приймаємо прогнозовану дату максимального рівня води у лимані в період весняного водопілля 2006 р., яка відповідає даті 2 квітня 2006 р. при ймовірності її настання Р=25% (див.табл. 6.6).

Тобто, за прогнозною датою максимального рівня води $Д_{Hm}$ (див.табл.6.6) можна очікувати максимальний підйом рівнів води в лимані з початку квітня.

За виміряними рівнями води у лимані в 2006 р. можна відмітити, що максимальний рівень води у водоймі (H_m=238 см) відмічено 16 квітня, але вже з 21 березня позначки поверхні води мали відмітку 236 см над «0» графіка поста с.Усатове і на такому високому рівні вони трималися майже до перших чисел травня.

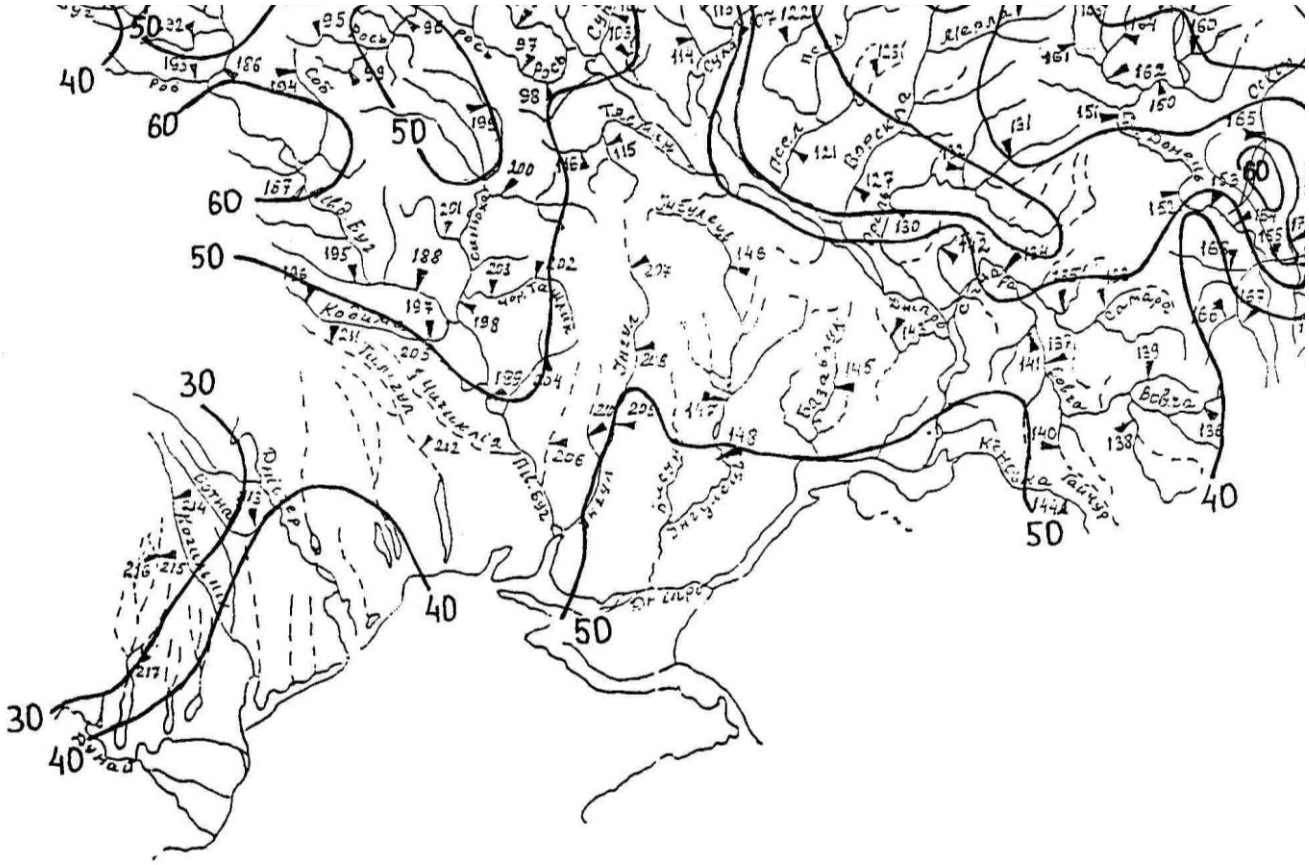


Рисунок 7.1 – Зміна по території середньобагаторічної тривалості весняних водопіль на річках півдня України (доби)

7.1.3 Складання прогнозу шарів стоку весняного водопілля та ймовірності його настання для басейну лиману Хаджибей

Прогноз шарів стоку весняного водопілля з водозбору Хаджибейського лиману, відповідно до пункту 5.6.3.2 (за відсутності даних стокових спостережень), ведеться при відновленні полів гідрометеорологічних характеристик на території (див.табл.5.15).

Можливий прогноз і за карто-схемою модульних коефіцієнтів шарів весняного водопілля (на прикладі 2006 р.) – (див. рис. 5.6), яка будується у регіональному центрі з гідрометеорології. З цією метою для геометричного центру тяжіння басейну Хаджибейського лиману знімаємо з карто-схеми прогнозне значення модульного коефіцієнту $k_{Y'}$ (табл.7.1).

Прогнозна величина шару стоку буде дорівнювати:

$$Y'_m = k_{Y'} Y_O .$$

Норма шару стоку Y_0 у звязку з відсутністю стокових спостережень в Хаджибейському лимані визначена за регіональною формулою (4.3).

Таблиця 7.1 – Прогноз шарів стоку весняного водопілля 2006 року в басейні Хаджибейського лиману

Рік	$k_{Y'}$, мм за карто-схемою (рис. 5.6)	Y_0, мм за (4.3)	Y'_m, мм	P,% за карто-схемою (рис.5.7)
2006	0.9	10.4	9.4	30 – 40

7.1.4 Оцінка ймовірності настання (забезпеченості) прогнозних строків водопілля та шарів весняного стоку у багаторічному розрізі

Для можливості передчасного попередження проходження високих весняних водопіль в басейні Хаджибейського лиману, особливо катастрофічних, доцільним є встановлення ймовірності настання прогнозного явища у багаторічному періоді (частоти повторюваності), яке виконується:

- для строків початку водопілля – по оперативних карто-схемах ймовірності настання у багаторічному розрізі дат початку весняного водопілля на території півдня України; у 2006 р. за рис. 6.8 для геометричного центру тяжіння водозбору Хаджибейського лиману отримаємо P=20-30%, тобто повторюваністю кожні 5-3 роки. Аналогічним чином за карто-схемою (рис.6.9) визначена ймовірність встановлення максимальних рівнів води в лимані – вона дорівнює 25 %.
- для шарів стоку – по оперативних карто-схемах ймовірності настання шарів стоку весняного водопілля на території півдня України; у 2006 р. за рис.5.7 для геометричного центру тяжіння водозбору лиману знаходиться величина забезпеченості P=30-40% (див.табл.7.1), тобто повторюваність Y'_m у сторічному періоді буде кожні 3-2 роки.

7.1.5 Визначення припливу тало-дощових вод до Хаджибейського лиману у весняний період року

Порядок розрахунків припливу тало-дощових вод до Хаджибейського лиману з урахуванням прогнозних величин шарів стоку у період весняного водопілля 2006 року має наступні етапи.

1. За передпаводковим рівнем води у лимані (прийнятий середньомісячний рівень води у лимані в лютому по с.Усатове) за кривою площ водної поверхні лиману $F_{дз} = f(H)$ (див.рис.1.14) визначається площа водного дзеркала лиману: для 2006 р. при H_{02} = 424 см (1.4 м БС) отримаємо $F_{дз}$= 113 км^2.

2. Для Хаджибейського лиману при площі водозбору лиману F = 2700 км^2 та площі його водного дзеркала $F_{дз}$ = 113 км^2, сумарний приплив тало-дощових вод (стік р. Малий Куяльник та боковий приплив до чаші лиману) розраховується наступним чином:

$$Y_{дз} = \frac{F}{F_{дз}} Y'_m = \frac{2700}{113} \cdot 9.4 = 23.9 \cdot 9.4 = 225 \text{ мм} = 22.5 \text{ см}, \qquad (7.1)$$

де $Y_{дз}$ - сумарний приплив тало-дощових вод до водойми Хаджибейського лиману, мм або см;

F- площа водозбору лиману, км^2;

$F_{дз}$- площа водної поверхні лиману, км^2;

Y'_m – прогнозна величина шару стоку весняного водопілля 2006 р. в басейні лиману Хаджибей, мм.

3. Розрахунок збільшення опадів за період водопілля на дзеркало лиману ведеться за синоптичним прогнозом опадів (опади очікуються вище, біля або нижче норми). Для перевірки розрахункової схеми прийняті фактичні спостережені опади у 2006 р. за даними метеостанції Одеса з 14.03 по 24.04 (табл. 7.2), сума яких склала 48.1 мм або 4.81 см.

4. Випаровування з водної поверхні Хаджибейського лиману за період з 14 березня по 24 квітня 2006 року оцінене за даними вимірів E на метеостанції Болград та приймається для квітня (за відсутності даних у березні) Е = 59.6 мм або 5.96 см.

5. Розрахунок приросту рівнів води у лимані від тало-дощових вод ΔH при проходженні весняного водопілля 2006 р. ведеться як сума припливу тало-дощових вод з басейну лиману до чаші водойми ($Y_{дз}$, см) та опадів на дзеркало водойми ($X_{дз}$, см), за винятком випаровування з водної поверхні (E, см) під час весняного водопілля. Для весняного періоду 2006 р. розрахунок ведеться наступним чином:

$$\Delta H = Y_{дз} + X_{дз} - E = 22.5 + 4.81 - 5.96 = 21.4 \text{ см} = 0.21 \text{ м} \qquad (7.2)$$

6. Рівні води в Хаджибейському лимані при надходженні тало-дощових вод ($Y_{дз} + X_{дз} - E$) відносно рівня води у лимані на початок весняного водопілля 2006 р. розраховуються наступним чином:

- при H у см над «0» графіка поста

$$H = H_П + \Delta H = 424 + 21.4 = 445 \text{ см}; \qquad (7.3)$$

- при H у м БС

$$H = [H_П + (-2.87)] + \Delta H = [4.24 + (-2.87)] + 0.21 = 1.58 \text{ м БС}, \qquad (7.4)$$

де H - максимальний рівень води в лимані в період весняного водопілля поточного року;

$H_П$ – рівень води у лимані на початок весняного водопілля – для 2006 р. у лютому H_{02} = 424 см або 4.24 м (над «0» графіка поста);

ΔH - величина сумарного приросту рівня води у лимані при надходженні тало-дощових вод в період весняного водопілля поточного року;

-2.87 м БС - відмітка «0» графіка поста.

7. Спостережений максимальний рівень води в лимані (с.Усатове) під час весняного водопілля 2006 р. дорівнював 438 см або 1.51 м БС. Похибка прогнозних і спостережених рівнів води δ визначається як

$$\delta = H_{сп} - H = 1.51 - 1.58 = -0.07 \text{ м}. \quad (7.5)$$

Тобто у розрахунковому варіанті 1 (табл.7.2) – при використанні прогнозних значень припливу тало-дощових вод з басейну лиману до чаші водойми ($Y_{дз}$) та спостережних у 2006 р. опадах ($X_{дз}$) і випаровуванні (E), похибка прогнозу рівня води в лимані у період весняного водопілля 2006 р. (табл.7.2) дорівнює -0.07 м (-7 см).

Таблиця 7.2 – Розрахунок припливу тало-дощових вод до Хаджибейського лиману у весняний період року і визначення очікуваного рівня води у 2006 р.

№	H_{02}, см	H_{02} м БС	$F_{дз}$ км^2	$F/F_{дз}$	$Y_{дз}$, см	$X_{дз}$, см	E, см	ΔH, см	H, см	H, м БС	$H_{сп}$ м БС	δ, м
1	424	1.37	113	23.9	22.5	4.81	5.96	21.4	445	1.58	1.51	-0.07
2	424	1.37	113	23.9	22.5	3.58	6.59	19.5	443	1.56	1.51	-0.05

При перевірці схеми прогнозу наповнення Хаджибейського лиману тало-дощовими водами у прогнозному варіанті 2, на відміну від першого варіанту (див.табл.7.2), враховувалося, що:

1) опади періоду весняного водопілля на дзеркало водойми прийняті за синоптичним прогнозом погоди (на рівні норми), тобто складають величину (табл.7.3)

$$X_0 = X_{1_0} + X_{2_0}, \quad (7.6)$$

де X_0 – норма (середньо багаторічне значення) опадів періоду весняного водопілля;

X_{1_0} - норма опадів періоду танення снігу,отримана за (5.5);

X_{2_0} - норма опадів спаду весняного водопілля, яка визначена за (5.6)

Таблиця 7.3 – Розрахунок норми опадів періоду весняного водопілля в басейні лиману Хаджибей

φ° півн.ш.	φ в долях $^\circ$ півн.ш.	X_{1_0},мм	X_{2_0},мм	X_0, мм	X_0, см
46° 50’	46.83	21.7	14.1	35.8	3.58

б) випаровування періоду весняного водопілля E (в даному році для квітня) прийнято як його норма по м.Болград (E = 65.9 мм).

Результати прогнозу припливу тало-дощових вод до Хаджибейського лиману у весняний період року і визначення очікуваного рівня води в Хаджибейському лимані у 2006 р. у варіанті 2 показало близькі до варіанту 1 результати (при δ = - 0,05 м).

7.1.6 Визначення припливу тало-дощових вод до Хаджибейського лиману у весняний період року при роботі насосної станції каналу «лиман-море»

При проходженні небезпечно високих весняних водопіль в басейні Хаджибейського лиману частина води може скидатися по каналу «лиман-море» за допомогою насосної станції КНС-25, потужність якої складає Q = 7 м^3/с [10].

Шар стоку, який може скидатися у весняний період року за допомогою насосів по каналу «лиман-море» ($Y_{кан}$) може бути розрахований (наприклад, для 2006 р.) як:

- за добу $$Y_{кан} = \frac{Q \cdot T}{F_{дз} \cdot 10^3} = \frac{7 \cdot 86.4}{113} = 5.35 \text{ мм} = 0.54 \text{ см}; \quad (7.7)$$

- за місяць $$Y_{кан} = \frac{Q \cdot T \cdot 30}{F_{дз} \cdot 10^3} = \frac{7 \cdot 86.4 \cdot 30}{113} = 160 \text{ мм} = 16 \text{ см} = 0.16 \text{ м}, \quad (7.8)$$

де T – число секунд у добі, яке дорівнює 86400.

Таким чином, при роботі КНС-25 і скидів води по каналу «лиман-море» на протязі всього періоду водопілля 2006 р. (наприклад, місяця) зниження рівня води може досягати 16 см. При цьому відмітки рівня води у лимані можна встановити за рівняннями:

- при H у см над «0» графіка поста

$$H = H_П + \Delta H - Y_{кан} = 424 + 21.4 - 16 = 429 \text{ см}; \quad (7.9)$$

- при H у м БС

$$H = [H_П + (-2.87)] + \Delta H - Y_{кан} = [4.24 + (-2.87)] + 0.21 - 0.16 = 1.42 \text{ м БС}. \quad (7.10)$$

Очевидно, що при роботі насосної станції і скидах води з лиману до моря протягом місяця рівні води у лимані залишаться практично на їх позначках пе-

ред весняним водопіллям (у лютому H=424 см або 1.37 м БС), тобто H=429 см чи 1.42 м БС.

Слід відмітити, що за проектом інституту «Укрпівдендіпроводгосп» в умовах нормального режиму роботи скидної системи обмежений максимальний рівень води у лимані на відмітці плюс 1.57 м БС [10,11]**,** не був перевищений в період весняного водопілля 2006 р.

7.2 Метод визначення весняних водопіль і дощових паводків виняткової ймовірності перевищення

7.2.1 Розрахункові характеристики весняного водопілля забезпеченістю P=1%

Для періодів весняного водопілля можна записати балансове рівняння

$$Y = (S_m + X)\eta_в, \tag{7.11}$$

де Y – шар стоку , мм;

S_m – максимальні запаси води у сніговому покриві на початку водопілля, мм;

X - опади від дати S_m до кінця водопілля (мм), причому за [12]

$$X = 8.0 + 8.1\lg(F + 1); \tag{7.12}$$

F – площа водозбору, км^2;

$\eta_в$ - коефіцієнт стоку весняного водопілля.

При довільній ймовірності перевищення P% рівняння (7.11) набуде вигляду

$$Y_p = (S_0 + X_0)\, k_p\, \eta_в, \tag{7.13}$$

де Y_p - шар стоку весняного водопілля забезпеченістю P%;

S_0 - середній багаторічний шар снігозапасів перед початком весняного водопілля;

X_0 - середня багаторічна кількість опадів за період водопілля;

$k_p = f\left(C_v; {C_s}/{C_v}\right)$ - модульний коефіцієнт забезпеченістю 1%;

C_v - коефіцієнт варіації складової (S_m+X);

C_s/C_v - нормоване співвідношення між коефіцієнтами асиметрії і варіації складової (S_m+X), як за дослідженнями [12], становить 3.5, тобто ${C_s}/{C_v} = 3.5$.

Коефіцієнт варіації C_v узагальнено по території Причорноморської низовини у вигляді емпіричної залежності

$$C_v = 0.60 + 0.53(S_0 - 20)\cdot 10^{-2} \qquad (7.14)$$

За картою, наведеною на рис.5.1, величина снігозапасів S_0 у басейні лиману Хаджибей становить 35 мм. Таким чином, коефіцієнт варіації C_v при S_0=35 мм буде дорівнювати 0.68. За таблицею трипараметричного гама-розподілу [12] для розрахункової забезпеченості P=1.0% модульний коефіцієнт $k_{1\%} = f\left(C_v = 0.68; {C_s}/{C_v} = 3.5\right) = 3.47$.

Кількість опадів X_0 на водозборі лиману, площа якого становить 2700 км^2, відповідно з (табл.7.3), буде становити 35.8 мм. Коефіцієнт стоку $\eta_в$, за табл..2.1, при F=2700 км^2 дорівнює 0.20. Якщо тепер усі складові балансового рівняння підставити в (7.13), то отримаємо шар стоку $Y_{1\%}$ (мм) з водозбору лиману Хаджибей (табл.7.4), тобто

$$Y_{1\%} = (35 + 35.8)\cdot 3.47 \cdot 0.20 = 49.1 \text{мм} \qquad (7.15)$$

Таблиця 7.4 – Розрахунок шару весняного водопілля 1%-ї ймовірності перевищення в басейні Хаджибейського лиману

S_0, мм	X_0, мм	$k_{1\%}$	$(S_0+X_0)k_{1\%}$, мм	$\eta_в$	$Y_{1\%}$, мм
35	35.8	3.34	211	0.20	49.1

Щоб перерахувати $Y_{1\%}$ з водозбору до збільшення рівня води у лимані, необхідно скористатись співвідношенням

$$\Delta H = Y_{1\%} \cdot \frac{F}{F_{дз}}, \qquad (7.16)$$

де ΔH - приріст рівнів води у лимані від поверхневих вод;

$F_{дз}$ - площа водної поверхні лиману Хаджибей у той чи інший проміжок часу.

Розрахунок приросту рівнів води у лимані від тало-дощових вод ΔH при проходженні весняного водопілля 1%-ої ймовірності перевищення (на прикладі 2006 р.) ведеться, користуючись такими вихідними даними, як: $Y_{1\%}$=49.1 мм (табл.7.4), F=2700 км^2 і $F_{дз}$=113 км^2. Площа дзеркалу водойми $F_{дз}$ отримана за кривою площ водної поверхні лиману $F_{дз}=f(H)$ (див.рис.1.14) при рівні води в лимані на початок водопілля 2006 р. – за середньомісячним рівнем води по с.Усатове у лютому цього року (H_{02}= 424 см = 1.4 м БС). За допомогою (7.16) отримаємо

$$\Delta H = 49.1(2700/113) = 1173 \text{ мм} = 117 \text{ см} = 1.17 \text{ м}. \quad (7.17)$$

Крім $\Delta H = 1.17$ м, необхідно також врахувати й ті опади $X_{1\%}$, які випадуть безпосередньо на водну поверхню лиману в період водопілля, причому

$$X_{1\%} = (X_0)k_{1\%} = 35.8 \cdot 3.47 = 124 \text{ мм} = 12.4 \text{ см} = 0.12 \text{ м}, \quad (7.18)$$

а також й величину випаровування з водної поверхні E, яка в даному прикладі прийнята як спостережена величина для квітня 2006 р.(за ст.Болград) і дорівнює E=59.6 мм=5.96 см=0.056 м.

Таким чином, за наведеним прикладом величина підвищення рівнів води у лимані $\Delta H_{1\%}$ буде складати:

$$\Delta H_{1\%} = \Delta H + X_{1\%} - E = 117 + 12.4 - 5.96 = 123 \text{ см} = 1.23 \text{ м}, \quad (7.19)$$

де ΔH - приріст рівня води в лимані за рахунок припливу до нього поверхневих тало-дощових вод 1%-ї ймовірності перевищення;

$X_{1\%}$ - розрахункові опади забезпеченістю P=1%, що випадають на водну поверхню лиману під час весняного водопілля;

E – випаровування з водної поверхні лиману за період водопілля.

Для того, щоб встановити рівень води в лимані $H_{1\%}$, необхідно здійснити наступні алгебраїчні розрахунки:

- при H у см над «0» графіка поста

$$H_{1\%} = H_{П} + \Delta H_{1\%} = 424 + 123 = 547 \text{ см}; \quad (7.20)$$

- при H у м БС

$$H_{1\%} = [H_{П} + (-2.87)] + \Delta H_{1\%} = [4.24 + (-2.87)] + 1.23 = 2.6 \text{ м БС}, \quad (7.21)$$

де $H_{1\%}$ - максимальний рівень води в лимані в період весняного водопілля забезпеченістю P=1%;

$H_{П}$ – рівень води у лимані на початок весняного водопілля, наприклад, у лютому 2006 р. H_{02} = 424 см або 4.24 м;

$\Delta H_{1\%}$ - величина сумарного підвищення рівнів води в лимані при проходженні весняного водопілля забезпеченістю P=1%;

-2.87 м БС - відмітка «0» графіка поста.

По запропонованій схемі для басейну Хаджибейського лиману виконані розрахунки приросту рівнів води у лимані від повеневих вод та можливі значення відміток води у ньому за умови виникнення водопіль рідкісної ймовірності настання у багаторічному періоді (табл. 7.5 та рис. 7.1).

Так, за призначеною проектною відміткою дамби Хаджибейського лиману плюс 3.1 м БС, в деякі роки (1987,1990,1996,1998,2004 рр.) при проходженні

катастрофічно високих весняних водопіль 1%-ї ймовірності перевищення, рівні води у лимані майже досягнули критичної відмітки дамби, а у 2003 р. й перевищили її при $H_{1\%}$ = 3.18 м БС (див.рис.7.1). В такі роки критичне підвищення рівнів води в лимані може бути небезпечними і призвести до переливу води, руйнування дамби і затоплення автомобільної дороги та житлових територій.

Таблиця 7.5 – Розрахунок максимального рівня води весняного водопілля виняткової 1%-ї ймовірності перевищення в басейні лиману Хаджибей

Роки	H_{02}, см	$F_{дз}$, км^2	$F/F_{дз}$	ΔH, см	$X_{1\%}$, см	E_{04}, см	$\Delta H_{1\%}$, см	$H_{1\%}$, см	$H_{1\%}$, м БС
1971	304	115	23.5	115	12.4	8.00	120	424	1.37
1972	281	99	27.3	134	12.4	12.20	134	415	1.28
1973	280	99	27.3	134	12.4	5.90	141	421	1.34
1974	302	105	25.7	126	12.4	6.50	132	434	1.47
1975	350	109	24.8	122	12.4	7.20	127	477	1.90
1976	351	109	24.8	122	12.4	6.60	128	479	1.92
1977	394	111	24.3	120	12.4	5.20	127	521	2.34
1978	393	111	24.3	120	12.4	5.60	126	519	2.32
1979	387	111	24.3	120	12.4	6.20	126	513	2.26
1980	401	113	23.9	117	12.4	5.20	125	526	2.39
1981	434	114	23.7	116	12.4	6.60	122	556	2.69
1982	437	114	23.7	116	12.4	5.70	123	560	2.73
1983	444	114	23.7	116	12.4	8.30	120	564	2.77
1984	423	113	23.9	117	12.4	6.70	123	546	2.59
1985	460	115	23.5	115	12.4	7.40	120	580	2.93
1986	467	115	23.5	115	12.4	9.00	119	586	2.99
1987	474	115	23.5	115	12.4	6.90	121	595	3.08
1988	455	114	23.7	116	12.4	6.00	123	578	2.91
1989	476	115	23.5	115	12.4	6.60	121	597	3.10
1990	470	115	23.5	115	12.4	1.90	126	596	3.09
1991	469	115	23.5	115	12.4	6.10	122	591	3.04
1992	464	115	23.5	115	12.4	7.00	121	585	2.98
1993	456	115	23.5	115	12.4	5.60	122	578	2.91
1994	447	114	23.7	116	12.4	7.70	121	568	2.81
1995	470	115	23.5	115	12.4	6.80	121	591	3.04
1996	476	116	23.3	114	12.4	5.80	121	597	3.10
1997	430	114	23.7	116	12.4	5.50	123	553	2.66
1998	476	116	23.3	114	12.4	7.00	120	596	3.09
1999	452	114	23.7	116	12.4	5.40	123	575	2.88
2000	455	114	23.7	116	12.4	6.90	122	577	2.90
2001	464	115	23.5	115	12.4	6.00	122	586	2.99
2002	470	115	23.5	115	12.4	5.80	122	592	3.05

Продовження табл.7.5

Роки	H_{02}, см	$F_{дз}$, км^2	$F/F_{дз}$	ΔH, см	$X_{1\%}$, см	E_{04}, см	$\Delta H_{1\%}$, см	$H_{1\%}$, см	$H_{1\%}$, м БС
2003	486	116	23.3	114	12.4	7.80	119	605	3.18
2004	472	115	23.5	115	12.4	6.20	122	594	3.07
2005	448	115	23.5	115	12.4	6.77	121	569	2.82
2006	424	113	23.9	117	12.4	5.96	123	547	2.60
2007	400	112	24.1	118	12.4	8.07	123	523	2.36
2008	359	109	24.8	122	12.4	6.59	128	487	2.00
2009	373	110	24.5	121	12.4	6.59	126	499	2.12

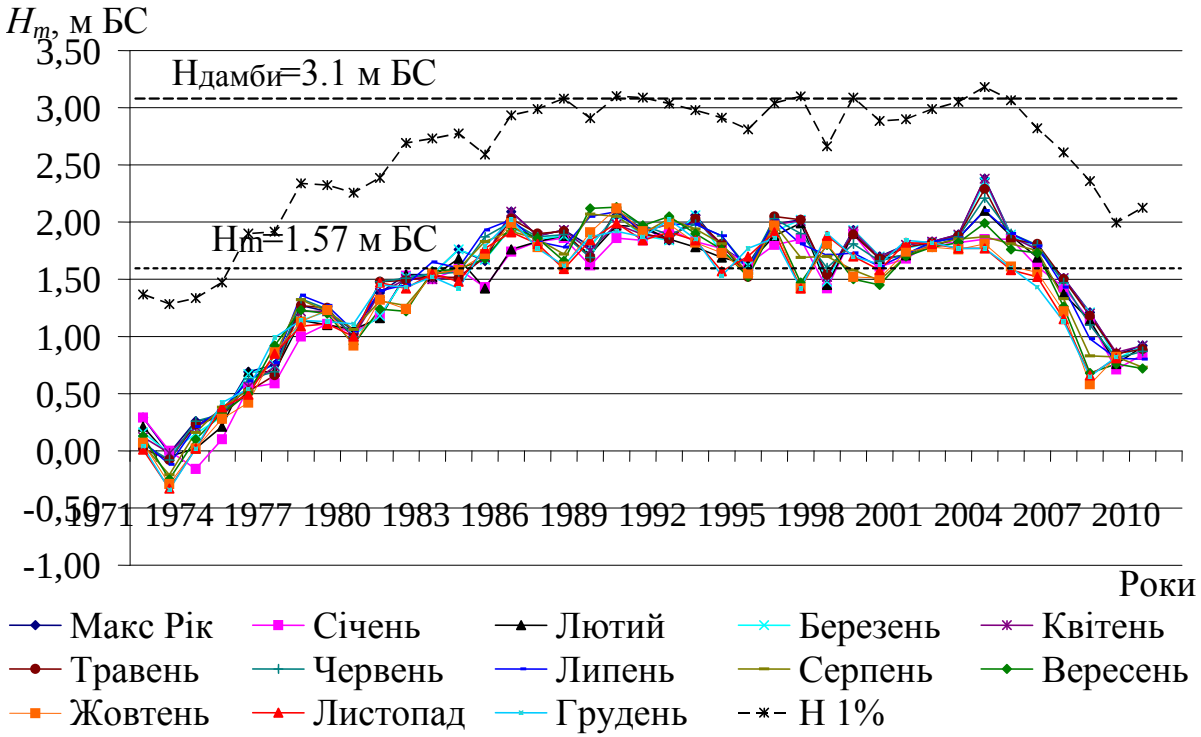


Рисунок 7.1 – Багаторічний хід максимальних за місяць (H_m) та розрахункових максимальних рівнів води весняного водопілля ($H_{1\%}$) в лимані Хаджибей (при P=1%)

7.2.2 Розрахункові характеристики дощових паводків забезпеченістю P=1%

Надходження поверхневих вод до лиману під час дощових паводків у цілому розраховується за схемою, яка аналогічна водопіллю. Головне завдання при цьому полягає у визначення Y_p. У Причорномор'ї високі паводки, як правило, формуються завдяки короткочасним зливам з великою інтенсивністю та

кількістю опадів за дощ. У середньому найбільші річні зливи супроводжуються опадами з $X_д$ =37.9 мм. Просторове узагальнення часових рядів зливових опадів у межах Причорномор'я дало змогу оцінити й інші статистичні параметри розподілу. Зокрема, коефіцієнт варіації C_v дорівнює 0.47, а співвідношення C_s/C_v =3.0.

Розрахункові опади забезпеченістю *P*=1%, таким чином, можна визначити за співвідношенням

$$(X_д)_{1\%} = X_д \cdot k_{1\%}, \tag{7.22}$$

де $(X_д)_{1\%}$ - паводкоформуючі опади забезпеченістю *P*=1%;

$$k_{1\%} = f\left(C_v = 0.47; C_s/C_v = 3.0\right) = 2.54.$$

Для басейну лиману Хаджибей

$$(X_д)_{1\%} = 37.9 \cdot 2.54 = 96.2 \text{ мм} = 9.6 \text{ см}. \tag{7.23}$$

Щоб визначити шар стоку $Y_{1\%}$, маючи $(X_д)_{1\%}$, необхідно врахувати нерівномірність просторового розповсюдження опадів і втрати їх на поверхневе затримання та інфільтрацію. Загальна закономірність полягає в тім, що просторова нерівномірність опадів і сумарні їх втрати в цілому залежать від розміру водозборів. Тому досить часто ці характеристики паводкоутворення на річкових водозборах відображають за допомогою збірного параметра $\eta_д$. Тоді

$$Y_{1\%} = (X_д)_{1\%} \cdot \eta_д. \tag{7.24}$$

Для досліджуваного регіону коефіцієнт $\eta_д$ можна прийняти на рівні 0.29 (див.табл.2.3). Розрахунковий шар стоку, з урахуванням (7.23), буде становити (табл. 7.6)

$$Y_{1\%} = 96.2 \cdot 0.29 = 27.9 \text{ мм} \tag{7.25}$$

Таблиця 7.6 – Розрахунок шару дощових опадів 1%-ї ймовірності перевищення в басейні Хаджибейського лиману

C_v	C_s/C_v	$X_д$, мм	$k_{1\%}$	$X_{1\%}$, мм	$\eta_д$	$Y_{1\%}$, мм
0.47	3	37.9	2.54	96.2	0.29	27.9

Якщо прийняти умови, що дощовий паводок виняткової ймовірності утворився, наприклад, у травні місяці 2006 р., тобто наложився на рівні води весняного водопілля 1% ймовірності, то можливе додаткове збільшення рівнів води у лимані за рахунок дощового паводку $\Delta H_{д}$ при P=1% буде дорівнювати

$$\Delta H_{д} = Y_{1\%} \frac{F}{F_{дз}} = 27.9(2700/118) = 638 \text{ мм} = 63.8 \text{ см} = 0.64 \text{ м}, \qquad (7.26)$$

де площа водної поверхні лиману $F_{дз}$ =118 км^2, отримана за кривою $F_{дз} = f(H)$ за максимальним рівнем води весняного водопілля виняткової ймовірності $H_{1\%}$= 547 см = 2.6 м БС (див.табл.7.5 та рис.1.14).

Безпосередньо на водну поверхню лиману надійде, як видно з (7.23), опадів $X_{1\%}$ = 9.6 см або 0.10 м. Таки чином, сумарне збільшення рівнів води у лимані при проходженні дощового паводку забезпеченістю P=1% ($\Delta H_{д1\%}$) буде становити:

$$\Delta H_{д1\%} = \Delta H_{д} + X_{1\%} = 63.8 + 9.6 = 73.4 \text{ см} = 0.73 \text{ м}, \qquad (7.27)$$

де $\Delta H_{д}$ - додатковий приріст рівня води в лимані за рахунок припливу до нього поверхневих дощових вод забезпеченістю P=1%;

$X_{1\%}$ - розрахункові опади забезпеченістю P=1%, які випадають на водну поверхню лиману під час дощового паводку.

Приймаючи до уваги, що схиловий приплив під час зливових опадів у степовій зоні знаходиться у межах 2 – 5 годин, то слід сподіватись, що можливий катастрофічний збіг обставин, коли у квітні-травні на високі рівні води у лимані будуть накладатись додаткові надходження за рахунок дощових опадів. Враховуючи, що такий дощовий паводок має незначну тривалість, в розрахункову схему не введена величина випаровування з водної поверхні лиману E.

Для того, щоб встановити рівень води в лимані $H_{тд\ 1\%}$ при проходженні тало-дощового стоку забезпеченістю P=1%, тобто коли на максимальні рівні води весняного водопілля 1%-ї ймовірності настання буде накладатися дощовий паводок такої ж ймовірності (P=1%), необхідно здійснити наступні алгебраїчні розрахунки (на прикладі 2006 р. - табл.7.7):

- при H у см над «0» графіка поста

$$H_{тд\ 1\%} = H_{1\%} + \Delta H_{д1\%} = 547 + 73.4 = 620 \text{ см}; \qquad (7.28)$$

- при H у м БС

$$H_{тд\ 1\%} = [H_{1\%} + (-2.87)] + \Delta H_{д1\%} = [5.47 + (-2.87)] + 0.73 = 3.33 \text{ м БС}; \qquad (7.29)$$

де $H_{тд\ 1\%}$ - максимальний рівень води в лимані за рахунок тало-дощового стоку води в період весняного водопілля і дощового паводку забезпеченістю P=1%;

$H_{1\%}$ – рівень води у лимані при проходженні весняного водопілля забезпеченістю P=1% - $H_{1\%}$ = 547 см або 5.47 м (2.6 м БС);

$\Delta H_{д1\%}$ - величина сумарного підвищення рівнів води в лимані при проходженні дощового паводку забезпеченістю P=1%;

-2.87 м БС - відмітка «0» графіка поста.

Таблиця 7.7 – Розрахунок максимального рівня води тало-дощового паводку виняткової 1%-ї ймовірності перевищення в басейні лиману

Роки	$H_{1\%}$, м БС	$F_{дз}$, км^2	$F/F_{дз}$	$\Delta H_{д}$, см	$(X_{д})_{1\%}$, см	$\Delta H_{д1\%}$, см	$H_{тд\ 1\%}$, см	$H_{тд\ 1\%}$, м БС
1971	1.37	113	24.0	66.9	9.6	76.5	500	2.13
1972	1.28	113	24.0	66.9	9.6	76.5	492	2.05
1973	1.34	113	24.0	66.9	9.6	76.5	497	2.10
1974	1.47	113	23.8	66.4	9.6	76.1	510	2.23
1975	1.90	116	23.4	65.2	9.6	74.8	552	2.65
1976	1.92	116	23.4	65.1	9.6	74.7	553	2.66
1977	2.34	117	23.1	64.5	9.6	74.1	595	3.08
1978	2.32	117	23.1	64.5	9.6	74.1	593	3.06
1979	2.26	117	23.2	64.6	9.6	74.2	587	3.00
1980	2.39	117	23.0	64.2	9.6	73.9	599	3.12
1981	2.69	118	22.9	63.7	9.6	73.4	630	3.43
1982	2.73	118	22.8	63.7	9.6	73.3	633	3.46
1983	2.77	118	22.8	63.6	9.6	73.3	638	3.51
1984	2.59	118	23.0	64.0	9.6	73.6	620	3.33
1985	2.93	119	22.7	63.3	9.6	72.9	653	3.66
1986	2.99	119	22.7	63.3	9.6	72.9	659	3.72
1987	3.08	119	22.7	63.2	9.6	72.8	668	3.81
1988	2.91	119	22.7	63.3	9.6	72.9	651	3.64
1989	3.10	119	22.6	63.1	9.6	72.7	670	3.83
1990	3.09	119	22.6	63.1	9.6	72.7	669	3.82
1991	3.04	119	22.7	63.2	9.6	72.8	664	3.77
1992	2.98	119	22.7	63.3	9.6	72.9	658	3.71
1993	2.91	119	22.7	63.4	9.6	73.0	651	3.64
1994	2.81	119	22.8	63.5	9.6	73.1	641	3.54
1995	3.04	119	22.7	63.2	9.6	72.8	664	3.77
1996	3.10	119	22.6	63.1	9.6	72.7	670	3.83
1997	2.66	118	22.8	63.7	9.6	73.3	627	3.40
1998	3.09	119	22.7	63.2	9.6	72.8	669	3.82
1999	2.88	118	22.9	63.7	9.6	73.4	649	3.62

Продовження табл.7.7

Роки	$H_{1\%}$, м БС	$F_{дз}$, км^2	$F/F_{дз}$	$\Delta H_{д}$, см	$(X_{д})_{1\%}$, см	$\Delta H_{д1\%}$, см	$H_{тд\ 1\%}$, см	$H_{тд\ 1\%}$, м БС
2000	2.90	119	22.7	63.4	9.6	73.0	650	3.63
2001	2.99	119	22.7	63.3	9.6	72.9	659	3.72
2002	3.05	119	22.7	63.3	9.6	72.9	665	3.78
2003	3.18	120	22.5	62.7	9.6	72.4	677	3.90
2004	3.07	119	22.7	63.4	9.6	73.0	667	3.80
2005	2.82	119	22.8	63.5	9.6	73.1	642	3.55
2006	2.60	118	22.9	63.8	9.6	73.4	620	3.33
2007	2.36	117	23.1	64.5	9.6	74.1	597	3.10
2008	2.00	116	23.4	65.2	9.6	74.8	561	2.74
2009	2.12	116	23.2	64.7	9.6	74.4	574	2.87

Використовуючи запропоновану схему, для басейну Хаджибейського лиману виконані розрахунки приросту рівнів води у ньому та встановлені значення відміток рівнів води $H_{тд\ 1\%}$ за умови наявності дощового паводку забезпеченістю P=1% у період проходження максимальних рівнів води весняного водопілля тієї ж ймовірності перевищення (табл. 7.7). Хронологічний багаторічний хід максимальних і розрахункових максимальних рівнів води весняного водопілля ($H_{1\%}$) та дощового паводку, який накладений на максимум весняного стоку ($H_{тд\ 1\%}$) в лимані Хаджибей (при P=1%), показаний на рис.7.2. В таких небезпечних умовах, рівні води в Хаджибейському лимані можуть досягти катастрофічних позначок – 3.8-3.9 м БС, причому майже на протязі всього періоду експлуатації водосховища, починаючи з 1976 по 2007рр.

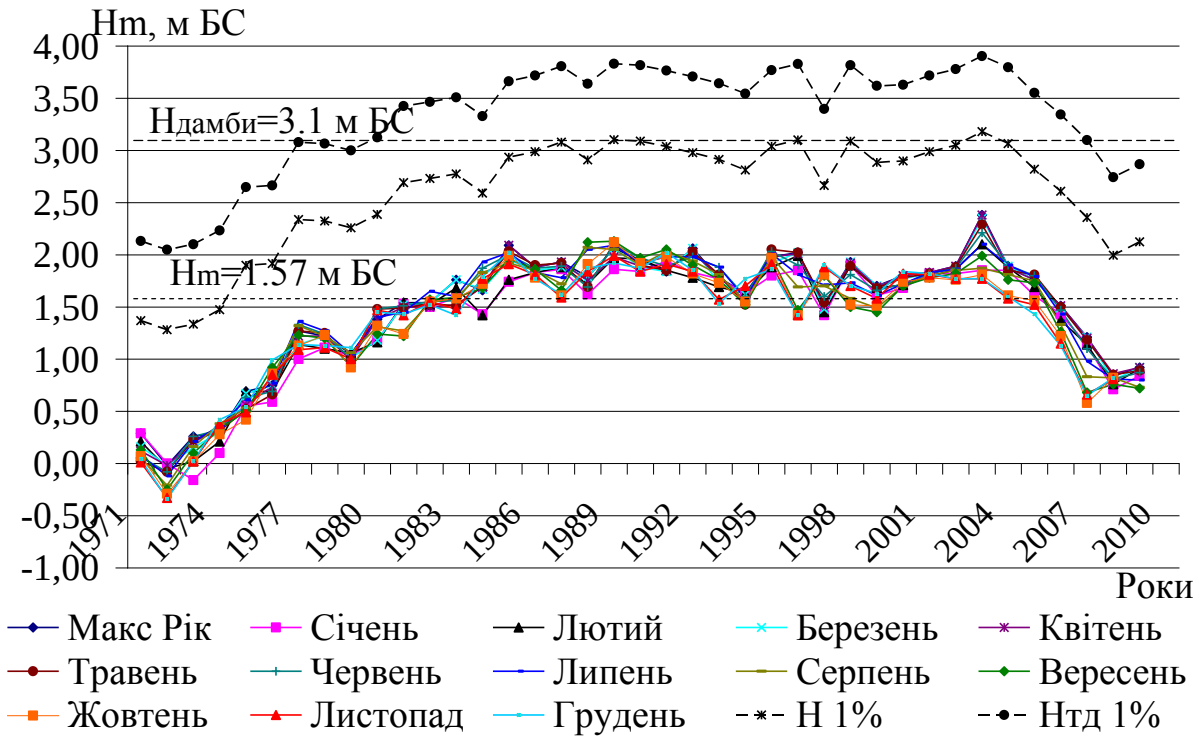


Рисунок 7.2 – Багаторічний хід максимальних за місяць (H_m) та розрахункових максимальних рівнів води весняного водопілля ($H_{1\%}$) та дощового паводку, який накладений на максимум весняного стоку ($H_{тд\ 1\%}$) в лимані Хаджибей (при P=1%)

ВИСНОВКИ

В результаті виконання науково-дослідної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Сучасний гідрологічний режим Хаджибейського лиману - однієї з найбільш великих закритих водойм Північного Причорномор'я, обумовлений природними і антропогенними факторами та характеризується з початку минулого століття ростом його господарського використання при найбільшому антропогенному навантаженні в останні десятиріччя. Інтенсивне скидання у лиман стічних вод м. Одеси призвели до суттєвого підвищення рівнів води у лимані, що є загрозою у найбільш багатоводну фазу водного режиму водойми – весняне водопілля, можливості переливу води через дамбу, яка відокремлює лиман від моря, її руйнування, затоплення житлових територій і підприємств району Пересипу особливо у катастрофічні роки, зокрема, як це було весною у 2003 та 2006 рр.

2. Розрахунки і прогнози гідрологічних характеристик весняного водопілля взагалі для лиманів замкненого типу Одеської області, мають важливе значення у зв'язку з необхідністю регулювання режиму води у водоймах. Однак, в межах розташування лиманів практично відсутня гідрологічна мережа спостережень, тому методична база прогнозування характеристик весняного водопілля і дощових паводків недостатньо розроблена. Немає рекомендацій й для оцінки повторюваності прогнозних величин у багаторічному розрізі.

3. За літературними джерелами та дослідженнями авторів, встановлено, що у рівневому режимі лиману існує періодичність: низьких рівнів води в лимані до 1931 р., коли за рахунок гідравлічного зв'язку з морем відбувалося природне регулювання тало-дощових вод лиманом; після відокремлення лиману від моря піщаною дамбою-пересипом з 1932 р. по 1969 р. рівні води в лимані зросли до критичних позначок, що погрожувало руйнуванню дамби і затопленню прилеглих територій. Тоді при створенні насосної станції до 1972 р. вдалося знизити рівні води в лимані до відмітки рівня моря, але подальше підвищення рівнів води й утримання їх на високих позначках протягом періоду 1985-2002 рр. час від часу викликало загрозу прориву дамби тало-дощовими водами при небезпеці затоплення промислової і житлової зони м. Одеси.

4. Авторами проекту обґрунтовано методику можливого наповнення Хаджибейського лиману у весняний період року на базі довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля в басейні лиману. Це дало можливість об'єктивно оцінювати ступінь наповнення водойми лиману Хаджибей поверхневими водами з довготерміновою завчасністю.

5. У зв'язку з відсутністю гідрологічних спостережень на р.Малий Куяльник, яка живить водойму лиману, до розробки методики були залучені матеріали спостережень по низці річок Причорномор'я. За багаторічний період отримані дані про запаси води в сніговому покриві та опадах (з метеорологічних щорічників), температурах повітря і глибинах промерзання ґрунтів (з агрометеорологічних щорічників), а також по середньомісячних вит-

ратах води в річках та характеристиках весняних водопіль (з видання «Основные гидрологические характеристики» та «Гидрологические ежегодники»), на основі яких створено комп'ютерну базу багаторічних вихідних гідрометеорологічних даних та виконано їх статистичну обробку.

6. В основу методики прогнозу покладені регіональні залежності шарів весняного стоку від сумарних запасів вологи на водозборі і опадів періоду весняного водопілля, виражених у модульних коефіцієнтах. Для встановлення типу весни використана дискримінантна функція, яка включає такі основні чинники (виражені у безрозмірних комплексах): суми максимальних снігозапасів та опадів, які приймають участь у формуванні весняного водопілля; показники зволоження водозбору (середньомісячні витрати води перед водопіллям); максимальні за зиму глибини промерзання ґрунтів.

7. Оцінка якості методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля на річках Причорноморської низовини показала, що якість прогнозів у дату накопичення максимальних снігозапасів ($Д_{Sm}$) добра, критерій ефективності S/σ змінюється від 0.45 до 0.71, забезпеченість допустимої похибки перевірних прогнозів за багаторічний період змінюється від 89% до 71%. Завчасність складених прогнозів шарів весняного стоку знаходиться на рівні 15-25 діб і більше.

8. Виконана перевірка методики прогнозу шарів стоку водопілля на незалежній вибірці, тобто по річках, дані яких не використовувалися при розробці методики. Забезпеченість методики прогнозів P% у дату $Д_{Sm}$ оцінюється на рівні 100-78%. Невисока якість методики прогнозу для окремих річок пов'язана з неточністю вихідної метеорологічної і агрометеорологічної інформації в межах цих басейнів.

9. Розроблено методику прогнозування дат початку та проходження максимальних рівнів чи витрат води весняного водопілля річок Причорноморської низовини. Встановлено, що строки проходження водопіль визначаються кліматичними характеристиками - метеорологічними умовами весняного сезону (середньодекадними температурами повітря). Параметри регіональних прогностичних рівнянь узагальнюються у залежності від географічної широти геометричних центрів тяжіння водозборів і їх розмірів.

10. Методика прогнозу дат проходження весняного водопілля вважається «задовільною» при забезпеченості перевірних прогнозів для дат початку весняного водопілля P = 58 – 91%; для дат максимальних рівнів або витрат води P = 52 – 75%. Перевірка методики прогнозу дат на незалежній вибірці показала, що якість методики весняних водопіль краща при прогнозах дат початку водопіль – забезпеченість методики 75-100%. При прогнозах максимальних рівнів чи витрат води водопілля необхідний ретельний аналіз снігових максимумів, і за відповідних умов весняного сезону приймати в прогнозній схемі середню температуру повітря за пентаду, а не за декаду.

11. Детально представлена схема складання оперативного довгострокового прогнозу шарів стоку та строків проходження водопілля для басейну Хаджибейського лиману на прикладі 2006 р., коли позначки рівнів води у лимані були критично високими – плюс 1.5 м БС. При цьому прогноз для басейну лиману

можливий як за гідрометеорологічними даними (при відновленні полів середньобагаторічних і щорічних факторів і характеристик весняного водопілля), так і за карто-схемами прогнозних величин (модульних коефіцієнтів шарів весняного стоку, строків водопілля, їх забезпеченості), які можуть бути побудовані у регіональних відділах гідрологічних прогнозів державної Гідрометслужби України (зокрема, в ГМЦ ЧАМ). Результати прогнозів за двома методами дали близькі значення шарів стоку весняного водопілля у 2006 р.

12. В розробленій методиці прогнозу передбачено й встановлення ймовірності настання у багаторічному розрізі як стокових характеристик (шару припливу весняних вод до річкової мережі), так і строків настання початку водопілля і проходження максимальних рівнів води, у тому числі й за відсутності стокових спостережень на водоймах, до яких відноситься Хаджибейський лиман. Встановлення повторюваності весняних водопіль у багаторічному періоді є доцільним при оцінці можливих наслідків припливу тало-дощових вод у весняний період року до водойми лиману Хаджибей, особливо у багатоводні весни.

13. Для обґрунтування розрахункової схеми наповнення Хаджибейсьго лиману весняними водами проведені експедиційні дослідження. Здійснені натурні вимірювання й виконана оцінка сучасного стану рельєфу дна лиману, побудовані план в ізобатах батиметричної зйомки, криві об’ємів і площ водної поверхні лиману.

14. Запропонована схема розрахунку щорічного весняного припливу води до лиману на основі оперативного довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля в його басейні. При цьому сумарне надходження весняних вод до лиману Хаджибей складається з прогнозного шару припливу тало-дощових вод з басейну лиману та опадів на дзеркало водойми, з урахуванням випаровування з водної поверхні під час весняного водопілля.

15. На прикладі 2006 року розраховані рівні води у водоймі з урахуванням, за необхідністю, відкачки весняних вод насосною станцією з лиману у море: при роботі КНС-25, потужність якої складає Q = 7 м^3/с і скидів води по каналу «лиман-море» на протязі всього періоду водопілля, зниження рівня води може досягати 16 см, тобто відмітки рівня води у лимані можуть залишатися на позначках рівня води перед весняним водопіллям (лютого місяця Н=424 см або 1.4 м БС) – Н=429 см чи 1.42 м БС.

Слід зазначити, що за проектом інституту «Укрпівденділпроводгосп» в умовах нормального режиму роботи скидної системи обмежений максимальний рівень води у лимані на відмітці плюс 1.57 м БС**,** який не був перевищений в період весняного водопілля 2006 р.

16. Результати розрахунків показали, що відповідно призначеної проектної відмітки дамби Хаджибейського лиману на рівні плюс 3.1 м БС, при виникненні катастрофічно високих весняних водопіль забезпеченістю P=1%, рівні води у лимані майже досягли критичної позначки (1987, 1990, 1996, 1998, 2004 рр.), а у 2003 й перевищили її при $H_{1\%}$ = 3.18 м БС. В такі роки критичне

підвищення рівнів води в лимані може бути небезпечними і призвести до переливу води та до затоплення автомобільної дороги та житлових територій.

17. За збігом можливих обставин, коли на максимальні рівні води весняного водопілля ймовірністю перевищення P=1% накладається дощовий паводок такої ж виняткової забезпеченості, рівні води в Хаджибейському лимані можуть досягти катастрофічних відміток 3.8-3.9 м БС.

18. Автори проекту вважають за доцільне впровадження прогнозної і розрахункової схеми весняного наповнення Хаджибейського лиману в оперативну діяльність відділу гідрологічних прогнозів Гідрометцентру Чорного та Азовського морів (м. Одеса) у вигляді програмного комплексу для випуску щорічного прогнозу шарів стоку водопіль (включаючи й інші річки Причорноморської низовини) і на його основі здійснювати розрахунок наповнення лиману поверхневими водами у весняний період року.

19. Приймаючи до уваги, що починаючи з 2007 р. припинились скиди в лиман комунально-побутових вод СБО «Північна», доцільним є проведення подальших досліджень по оцінці можливого стану водно-сольового режиму Хаджибейського лиману.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Природа Одесской области. Ресурсы, их рациональное использование и охрана. К. – Одесса, «Вища школа», 1979. – 143 с.

2. Лиманы Северного Причерноморья / В.С.Полищук, Ф.С.Замбриборщ, В.М.Тимченко и др. – К.: Наукова думка, 1990. – 204 с.

3. Старушенко Л.И., Бушуев С.Г. Причерноморские лиманы Одещины и их рыбохозяйственное использование. ОФНБЮМ:Одесса, Астропринт.-2001. – 65 с.

4.Тимченко В. М. Эколого-гидрологические исследования северо-западного Причерноморья. – К.: Наук. думка, 1990. – 240 с.

5. Швебс Г.І., М.І. Ігошин Каталог річок і водойм України: Навчально-довідковий посібник – Одеса: Астропринт, 2003. – 392 с.

6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. Вып.1. Западная Украина и Молдавия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 884 с.

7. Клімат України / За ред. В.М.Ліпінського, В.А.Дячука, В.М.Бабіченко. – Київ: 2003. - 343 с.

8. Адобовский В.В., Губанов У.В, Адобовская М.В. К проблеме деградации и реконструкции закрытых лиманов северо-западного Причерноморья //География и природные ресурси // Науч. журнал. № 3 - 2000. - С. 63 - 66.

9. Александров Н. Возрождение Хаджибея. «Среда обитания» // Науч. журнал. - 2005. - С. 10 - 11.

10. Калмыков В. Хаджибей не должен быть опасным. Рубрика «Возвращаясь к напечатанному» / г-та «Вечерняя Одесса», февраль 1996 г.

11. Водный режим Хаджибейского лимана и мероприятия по его регулированию/Исаков М.И., Сирота Б.Я., Решетников Н.Ф., Решетинский Н.Н./ Одесская региональная Академия наук (ОРАН), Украина. – с. 153-157.

12. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 447 с.

13. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. – К.: КНТ, 2005. – 148 с.

14. Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока // Труды ОГМИ, 1958. – Ч.II. – Вып.XIV. – 305 с.

15. Романенко В.А. Расчёт коэффициентов стока талых вод для гидрологических прогнозов // Труды УкрНИГМИ, 1964. – Вып.46. – С.34-43.

16. Шпак И.С., Ищенко Н.Д. Водный баланс полевого и лесного водосборов за 1960-62 гг. // Труды УкрНИГМИ, 1964. – Вып.46. – С.91-109.

17. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. – М.: Изд-во «Наука», 1981. – 255 с.

18. Руководство по гидрологическим прогнозам. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. – Л.: Гидрометеоиздат. – Вып. 1. – 1989. – 357с.

19. Гопченко Е.Д., Шакирзанова Ж.Р. Территориальное долгосрочное прогнозирование максимальных расходов воды весеннего половодья: Учебное пособие. – К.: КНТ, 2005. - 240 с.

20. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1967. – 242 с.

21. Наставление по службе прогнозов. – Вып.3, ч.1,Л.: Гидрометеоиздат. – 1962. – 194 с.

22. Гопченко Е.Д., Шакирзанова Ж.Р., Пометкова М.А. Научно-методические подходы к разработке долгосрочных прогнозов слоев стока весеннего половодья // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – Одеса. – 2002. – Вип. 46. – С. 309-314.

23. Шакирзанова Ж.Р., Пометкова М.А. Метод территориального долгосрочного прогноза слоёв стока весеннего половодья на реках юга Украины / Тези доповідей. - Одеса: ОДЕКУ, 2003. - С.47-50.

24. Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р. Науково-методична база для складання територіальних довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля / Тези доповідей Другої Всеукраїнської наукової конференції „Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія”: Ніка-Центр. - Київ, 2003. - С.35-37.

25. Гопченко Е.Д., Шакирзанова Ж.Р. Территориальные долгосрочные прогнозы характеристик весеннего половодья равнинных рек / Тезисы доклада на VI Всероссийском гидрологическом съезде. 28.09-01.10.2004. - Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2004. – С. 39-40.

26. Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р. Обгрунтування методичної бази для просторових довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля при відсутності гідрологічних спостережень / Україна: Географічні проблеми сталого розвитку, том ІІІ.- Київ, Видав. географ. літер. „Обрії”, 2004. - С. 251-253.

27. Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р. Можливості застосування просторових моделей для прогнозування максимального стоку весняного водопілля при обмеженості гідрологічних спостережень //„Причорноморський екологічний бюлетень”. – Одеса: Вид. ТОВ ”ІНВАЦ”, 2007. – №2(24) – С.63-66.

28. Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р. Метод просторового довгострокового прогнозування максимального стоку весняного водопілля та строків його проходження // Метеорологія, кліматологія та гідрологія: Міжвід. наук. збірник України – Одеса:Вид. „Екологія”, 2008. – Вип. 50. Частина ІІ – С. 158-168.

29. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.П. Курс гидрологических прогнозов: Учебник. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 440 с.

30. Гинзбург Б.М., Борщ С.В., Ефремова Н.Д., Сильницкая М.И., Полякова К.Н. – Метод долгосрочных и среднесрочных прогнозов дат максимальных уровней весеннего половодья на Европейской территории России – Метеорология и гидрология, 2002. – №11 – С. 81-82.

31. Borsch S., Fedorova S. Long-term forecast of dates of spring flood initial and maximum water levels passage in the Dnepr catchment on the territory of Russia and Belarus for improved flood management planning/ NATO Advanced research

Workshop Preprints / Transboundary Floods / Treira S.R.L., Oradea, Romania, May 4-8, 2005.-P. 149-166.

32.Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р. Обґрунтування методики прогнозування строків весняного водопілля в басейні Прип'яті//Український гідрометеорологічний журнал. – Одеса: Вид."ТЕС", 2007. – №2 – С.156-163.

33. Лобода Н.С., Овчарук В.А., Гідрологічні розрахунки: Конспект лекцій. – Дніпропетровськ: ПБП «Екологія» - 2006.-175 с.

34. Бефани Н.Ф. Калинин Г.П. Упражнения и разработки по гидрологическим прогнозам : Учебное пособие. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 390с.