

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до практичних занять та курсового проектування
з дисципліни „Гідрологічні прогнози”
розділ “Прогнози льодового режиму”
для студентів IV-V курсів
гідрометеорологічного інституту
Напрямок підготовки „Гідрометеорологія”
Спеціальність „Гідрологія та гідрохімія”**

Одеса – 2006

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до практичних занять та курсового проектування
з дисципліни „Гідрологічні прогнози”
розділ “Прогнози льодового режиму”
для студентів IV-V курсів
гідрометеорологічного інституту
Напрямок підготовки „Гідрометеорологія”
Спеціальність „Гідрологія та гідрохімія”**

Затвержено
на засіданні методичної комісії
гідрометеорологічного інституту
протокол № 1 від 18.09.2006 р.

Одеса – 2006

Збірник методичних вказівок до практичних занять та курсового проектування з дисципліни „Гідрологічні прогнози”, розділ “Прогнози льодового режиму” для студентів IV-V курсів гідрометеорологічного інституту за спеціальністю “Гідрологія та гідрохімія” / Укладач: Н.С.Лобода – Одеса, ОДЕКУ, 2006 р. – 28 с., укр. мова.

ЗМІСТ

1	Загальні положення.....	4
	1.1 Мета та задачі.....	4
2	Фізичні основи короткострокових прогнозів льодоутворення на річках, озерах та водосховищах.....	5
3	Теоретичні основи короткострокових прогнозів льодоутворення на річках, озерах та водосховищах.....	7
4	Приклади.....	12
	4.1 Збір вихідної інформації.....	12
	4.2 Прогноз дат появи льодових явищ.....	13
	4.3 Прогноз дат утворення льодоставу.....	16
	Перелік літератури.....	25
	Додаток А1.....	26
	Додаток А2.....	27
	Додаток А2.....	28

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Мета та задачі

При вивченні розділу дисципліни „Гідрологічні прогнози”, у якому розглядаються теоретичні та практичні основи випуску короткострокових прогнозів появи льодових явищ та установа льодоставу на річках та водоймах, студенти повинні отримати вміння та знання, які стосуються розуміння фізичних процесів, що визначають процес формування льодових явищ на річках та водоймах у осінньо-зимовий період, та головні прийоми щодо побудови прогностичних методик.

Метою методичних вказівок є закріплення студентами знань, отриманих студентами при вивченні розділу „Короткострокові прогнози замерзання річок, озер та водосховищ, товщина льодяного покриву”.

Задача методичних вказівок - вироблення практичних навичок при розробці методик прогнозів дат появи льодових утворень та льодоставу у осінньо-зимовий період.

У результаті вивчення розділу „Короткострокові прогнози замерзання річок, озер та водосховищ, товщина льодяного покриву”, студенти повинні:

знати

- особливості умов утворення льоду на поверхні водойм та річок за осінньо-зимовий період;
- теоретичні основи існуючих методів прогнозів дат появи льодових утворень;
- особливості побудови прогностичних методик дат появи льодових утворень та формування льодоставу (в залежності від наявності вихідної інформації);

вміти

- ставити задачу прогнозу (згідно з метою прогнозу, заданої завчасності та в залежності від обсягу наявної інформації);
- обирати необхідну для досягнення поставленої мети методику прогнозу;
- визначати суму від’ємних температур необхідних для появи льодових утворень;
- визначати за обраною прогностичною методикою дату появи льодових явищ;
- визначати суму від’ємних температур необхідних для установа льодоставу;
- визначати суму від’ємних температур необхідних для установа стійкого льодоставу;

- випускати прогнози дат появи льодових явищ у осінньо-зимовий період.

Згідно з програмою дисципліни “Гідрологічні прогнози” на вивчення розділу “Прогнози льодового режиму” відведено 4 години лекційного курсу та 4 години практичних занять. Лекційні часи та практичні роботи утворюють 1 модуль, після завершення якого студенти пишуть контрольну роботу. За вибором студенти виконують курсовий проект згідно з тематикою розділу [1]. До модульного контролю виконання практичних робіт входять відповіді на контрольні запитання.

Контрольні запитання до практичного завдання **“Прогноз дати появи перших льодових явищ”**.

1. Перелічити головні фактори льодоутворення.
2. Яка гідрометеорологічна характеристика є головним показником накопичення тепла у водній товщі?
3. Яка метеорологічна характеристика відображає кількість тепла, яку необхідно втратити водоймі, щоб температура водної поверхні була близькою до $0^{\circ}C$?
4. Чому для прогнозу дат утворення перших льодових явищ необхідно проводити нижню огинаючу на графіку залежності $\sum \theta = f(v_0)$?
5. З якою метою використовуються при побудові прогностичної методики суми від’ємних температур повітря, підраховані для випадків, коли льодостав не утворювався?

Контрольні запитання до практичного завдання **“Прогноз дати утворення стійкого льодоставу”**.

1. Які дві умови необхідні для утворення стійкого льодоставу на ділянці річки?
2. Який гідрологічний показник використовується у такого виду прогнозах як непряма характеристика запасів тепла у річці чи водоймі.
3. Що таке “критична температура” повітря?
4. Чому при складанні фізико-статистичних методик прогнозів появи льодових явищ необхідно використовувати безприпливну ділянку річки?

2 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ КОРОТКОСТРОКОВИХ ПРОГНОЗІВ ЛЬОДОУТВОРЕННЯ НА РІЧКАХ, ОЗЕРАХ ТА ВОДОСХОВИЩАХ

Поява льодових утворень на водних об’єктах відбувається тоді, коли температура поверхні води знижується до температури кристалізації, тобто становить $0^{\circ}C$. Формування льоду на мінералізованих водоймах

відбувається при від'ємних температурах. Льодоутворення буває двох видів - поверхнєве та внутрішньоводне. Поверхнєве льодоутворення спостерігається при статичному стані водної маси, внутрішньоводне - при динамічному стані, коли відбувається інтенсивне перемішування води [1].

Головними факторами процесу формування льодяного покриву на ставках, озерах та водосховищах є інтенсивність тепловіддачі з поверхні води у атмосферу, вітрова діяльність та запас тепла у водоймі. На річках до цих факторів додається ще швидкість течії, яка обумовлює турбулентне перемішування води.

Найбільш швидко льодоутворення проходить у тиху морозну погоду на ставках та малих озерах. Навіть незначне охолодження води у поверхневій плівці створює умови для появи дрібних голчатих кристалів льоду. Виникають вони коло центрів кристалізації поблизу від берегів або на поверхні води, швидко ростуть у розмірах та утворюють накопичення "льодяних голок", які схожі на масляні плями, за що й отримали назву "сало". При подальшому переохолодженні уздовж берегів формуються смуги прозорого нерухомого льоду, так звані "забереги". З посиленням вітру забереги можуть відриватись від берегів, а у денні часи навіть танути. З посиленням морозів забереги ростуть, відкрита поверхня водойми зменшується, що приводить і до зменшення впливу вітру на неї. Отже, сало змерзається з заберегами й водойма покривається льодяною кіркою. Малі водойми можуть замерзати за одну ніч, великі (з значними теплозапасами) - за два-три місяці. Утворення льодяної кірки не завжди є початком утворення стійкого льодоставу через дію сильного вітру та відлиг.

Однак, вітер може не тільки ламати льодяний покрив, але й сприяти його утворенню. При сильному вітрі відбувається перемішування різних шарів водойми, що сприяє переохолодженню води по всій товщині водної маси та відведенню тепла в атмосферу. За умови сильного вітру та низьких температур льодоутворення може початися одразу по всій товщі води. У такому випадку виникають кристали внутрішньоводного льоду, які можуть бути у підвішеному стані та коло дна. Щільність льоду менша за щільність води, тому кристали донного та внутрішньоводного льоду, змерзаючись, піднімаються на поверхню, утворюючи шугу. Під дією вітру шуга прибивається до берегів, змерзаючись з ними. Таким чином відбувається формування стійкого льодяного покриву - від берега до центру водойми.

На річках процес льодоутворення йде дещо по іншому. Можна виділити три основні фази. **Початкова фаза** пов'язана з формуванням заберегів, що утворюються на мілководді завдяки інтенсивному переохолодженню. Початкова фаза закінчується з появою сала та шуги. У **другій фазі** сало та внутрішньоводний льод змерзаються, утворюючи

кригу. Так починається осінній льодохід. На **третій фазі** щільність льодового покриву настільки збільшується, що у звуженнях русел, на мілководних ділянках утворюються льодові пробки - затори. Важливість формування заторів полягає у тому, що вони є осередками формування льодоставу. У процесі льодоутворення на річці ділянки з льодовим покривом чергуються з ділянками, на яких спостерігається льодостав, льодохід, шуга та відкрита водна поверхня. Таким чином замерзають поступово великі річки.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОРОТКОСТРОКОВИХ ПРОГНОЗІВ ЛЬОДОУТВОРЕННЯ НА РІЧКАХ, ОЗЕРАХ ТА ВОДОСХОВИЩАХ

Умови початку льодоутворення можна отримати з *рівняння теплового балансу водної поверхні* [2, 3]

$$A + B = 0, \quad (3.1)$$

де A - потік тепла від водної маси до поверхні поділу “вода – повітря”;

B - результуюча теплових потоків на водній поверхні, яка розраховується за рівнянням

$$B = R - LE + LC + P_T \pm m; \quad (3.2)$$

$$R = S - I_{E\Phi}, \quad (3.3)$$

R - променистий теплообмін;

S - складова променистого теплообміну, приплив тепла прямої та розсіяної радіації;

$I_{E\Phi}$ - складова променистого теплообміну, ефективне випромінювання;

LE - витрати тепла на випаровування з водної поверхні;

LC - додаткове надходження тепла за рахунок конденсації водяної пари;

P_T - турбулентний теплообмін з атмосферою;

$+ m$ - надходження додаткового тепла за рахунок рідких опадів;

$- m$ - втрати тепла на танення твердих опадів.

Складова A визначається різницею температур на поверхні води та в середині водної маси

$$\alpha(\vartheta - \vartheta_n) + B = 0, \quad (3.4)$$

де α - коефіцієнт віддачі тепла від водного об'єкта до поверхні поділу вода - повітря;

ϑ - середня температура водотоки чи водойми;

ϑ_n - температура вільної поверхні.

При зміні величини B змінюється ϑ_n та градієнт температури у тонкому поверхневому шарі, отже рівняння (3.1) залишається в силі. Коли ж температура водної поверхні знижується до температури замерзання, то подальше збільшення B вже не може компенсуватися пониженням ϑ_n та зростанням градієнта у тонкому поверхневому шарі. Ця обставина приводить до льодоутворення на поверхні води. Отже, можна зробити висновок, що **льодоутворення починається тоді, коли температура водної поверхні знижується до температури замерзання, а тепловіддача водною поверхнею тепла у атмосферу перевищує приплив тепла з водної товщі**. Сказане можна представити такими математичними виразами [2, 3]

$$\vartheta_{II} = 0; \quad (3.5)$$

$$A \leq -B; \quad (3.6)$$

$$\vartheta_{II} \leq \frac{B}{\alpha}. \quad (3.7)$$

Прогноз появи плавучого льоду можна випускати згідно з умовою (3.7), яка представляється у вигляді

$$\vartheta_n \leq -\frac{B_n}{\alpha_n}, \quad (3.8)$$

де індекс n показує, що ϑ, B, α розраховуються на n -й момент часу.

Прогнозування зводиться до визначення складових теплового балансу. Такий підхід до побудови прогностичної методики має назву „Прогноз появи плавучого льоду за методом Л. Г. Шуляковського”.

Розробка прогностичних методик за рівнянням теплового балансу водної поверхні може базуватися на використанні чинників, які відображають фізичні особливості процесу, що прогнозується, і не в прямий спосіб характеризувати основні складові теплового балансу. Такого роду прогностичні залежності носять назву фізико-статистичних. В

них використовується фізичне розуміння процесу і статистичні залежності між показниками цих процесів.

Для прогнозу появи плавучого льоду використовують залежність вигляду [2, 3]

$$\sum \theta^- = f(\mathcal{Q}_0), \quad (3.9)$$

де $\sum \theta^-$ - сума від'ємних температур повітря на метеорологічній станції, розташованій поблизу ділянки річки;

\mathcal{Q}_0 - початкова температура води напередодні переходу температур повітря від позитивних до від'ємних значень.

У даному випадку $\sum \theta^-$ виступає як характеристика віддачі тепла водою, необхідної для льодоутворення, а \mathcal{Q}_0 - початковий запас тепла у водному потоці. Чим більше \mathcal{Q}_0 , тим більш інтенсивним повинне бути похолодання повітря, щоб цей запас тепла був витрачений і створилися умови для льодоутворення.

Прогнози за побудованою залежністю (3.9) випускаються таким чином:

1. Необхідність складання такого виду прогнозу виникає тоді, коли спостерігається або очікується перехід середньодобової температури повітря через 0^0C . Тобто, щоб випускати прогноз, необхідно, щоб температура повітря перейшла через 0^0C .

2. За заданою температурою водної маси \mathcal{Q}_0 з використанням залежності $\sum \theta^- = f(\mathcal{Q}_0)$ визначається мінімальна сума від'ємних температур повітря $\sum \theta_{\min}^-$, необхідних для охолодження води.

3. Далі за даними спостережень та метеорологічним прогнозом підраховується сума очікуваних $\sum \theta_{Oч}^-$ від'ємних температур **від дати переходу температури через 0^0 до дати, на яку випускається прогноз.**

4. Якщо за період похолодання $\sum \theta_{Oч}^- < \sum \theta_{\min}^-$, і плавучий лід не утворився, то при продовженні похолодання у наступну добу випускається новий прогноз з урахуванням нових даних про тепловий стан води (\mathcal{Q}_0) та результатів метеорологічних прогнозів. Коли ж $\sum \theta_{Oч}^- \geq \sum \theta_{\min}^-$, то за дату прогнозу появи льодових явищ приймається дата накопичення $\sum \theta_{\min}^-$.

Для прогнозу установалення льодоставу на річках необхідно виконання двох умов:

1. Тепловіддача водного потоку повинна досягти значення, необхідного для утворення широких заберегів та накопичення на річці плавучого льоду у такій кількості, щоб було можливим встановлення льодової перемички.

2. Температура повітря після виконання першої умови не повинна зменшуватись нижче деякої критичної температури. **Критичною температурою називається температура повітря, при якій відбувається змерзання криги та встановлюється льодяна перемичка.**

Розрахунки необхідної віддачі тепла відбуваються за прогностичною залежністю вигляду [2, 3]

$$\sum \theta^- = f(H_{\text{Л}}) \quad (3.10)$$

або

$$\sum \theta^- = f(H_{\text{ПЛ}}), \quad (3.11)$$

де $\sum \theta^-$ - сума від'ємних температур повітря, мінімально необхідних для подальшого (після появи плавучого льоду) охолодження води, яке супроводжується встановленням льодоставу;

$H_{\text{Л}}$ - рівень води безпосередньо перед встановленням льодоставу;

$H_{\text{ПЛ}}$ - рівень води у день появи плавучого льоду.

Величина $H_{\text{ПЛ}}$ використовується у тому разі, коли рівні води у день появи плавучого льоду не дуже відрізняються від рівнів води перед встановленням льодоставу.

Рівні води у прогностичних залежностях вигляду (3.10) та (3.11) характеризують морфологічні та гідравлічні умови на ділянках, а також теплоємність водної маси: чим більше рівень води, тим більша водна маса, тим пізніше настає переохолодження води по глибині.

Для встановлення критичної температури повітря розробляються залежності вигляду

$$\theta_{\text{КР}} = f(H_{\text{Л}}) \quad (3.12)$$

або

$$\theta_{\text{КР}} = f(H_{\text{ПЛ}}) \quad (3.13)$$

Складання прогнозу відбувається у такому порядку:

1. Прогноз дати встановлення льодоставу випускається після того, як на річці утворився плавучий лід.

2. По залежностях (3.10) або (3.11) за заданим рівнем води встановлюють суму від'ємних температур повітря $\sum \theta^-_{\text{min}}$, мінімально необхідну для встановлення льодоставу.

3. Далі за даними спостережень та метеорологічним прогнозом підраховується сума очікуваних $\sum \theta_{Oч}^-$ від'ємних температур **від дати появи плавучого льоду до дати, на яку випускається прогноз.**

4. Встановлена сума $\sum \theta_{Oч}^-$ порівнюється з $\sum \theta_{min}^-$. Якщо $\sum \theta_{Oч}^- \geq \sum \theta_{min}^-$, то відбувається перехід до визначення θ_{KP} .

5. Критична температура встановлюється за залежностями (3.12) або (3.13). Починаючи з дати накопичення $\sum \theta_{min}^-$, прогнозовані значення повітря за кожну добу співставляються з критичною. День, коли прогнозоване значення температури повітря θ дорівнює або стає нижчим за θ_{KP} , вважається датою настання критичної температури $D_{\theta_{KP}}$.

6. Дата встановлення льодоставу може співпадати з датою $D_{\theta_{KP}}$ або спостерігатися на 1 - 2 дні по тому, що може бути представленим залежністю

$$D_L = D_{\theta_{KP}} + c, \quad (3.14)$$

де c - зсув у часі.

Короткострокові прогнози встановлення льодоставу на **водосховищах та озерах** також складаються на основі фізико-статистичних залежностей для кожної водойми (або її частини окремо) за даними про температуру повітря найближчої метеостанції. Швидкість течії на водосховищах нерічкового типу та озерах, як правило, незначна, тому дати появи льодових явищ та встановлення льодоставу практично співпадають за умови відсутності вітру. Отже, прогноз встановлення льодоставу можна виконувати на основі залежності (3.9). Вплив вітру можна урахувати, користуючись додатковою залежністю

$$\theta_{KP} = f(w), \quad (3.15)$$

де w - швидкість вітру на висоті флюгера в день встановлення льодоставу.

Оцінка якості розроблених прогностичних методик появи осінніх льодових явищ. При короткострокових прогнозах дат наступу льодових явищ використовуються прогнози температур повітря на декілька діб уперед. Допустима похибка у цьому випадку приймається рівною половині завчасності метеорологічного прогнозу за табл. (3.1).

Таблиця 3.1 - Допустимі похибки короткострокових прогнозів льодових явищ

Завчасність прогнозу, кількість діб	2-3	4-5	6-8	9-12
Допустима похибка, кількість діб	± 1	± 2	± 3	± 4

З метою визначення якості прогнозів розраховується забезпеченість допустимої похибки перевірних прогнозів, яка обчислюється як відношення числа випадків m , коли прогноз виправдувався $\delta \leq \delta_{\text{доп}}$, до загального числа випадків n :

$$P = \frac{m}{n + 1} 100\% . \quad (3.16)$$

Мінімальне значення забезпеченості допустимої похибки перевірних прогнозів повинне дорівнювати 60 %.

4 ПРИКЛАДИ

4.1 Збір вихідної інформації

Завдання: Виписати з гідрометеорологічної фондової літератури вихідні дані для розробки прогностичних методик появи льодових утворень та установа льодоставу на безприпливній ділянці річки.

Необхідні дані: 1) Таблиця середньодобових рівнів за осінньо-зимовий період з позначеннями льодових явищ; 2) Таблиця середньодобових температур повітря, починаючи з дати першого переходу температури повітря через 0°C і до установа стійкого льодоставу; 3) Середньодобові температури води за період від дати переходу температури повітря через 0°C і до дати появи перших льодових явищ.

Рішення. Для складання таблиці середньодобових рівнів за осінньо-зимовий період з позначеннями льодових явищ використовуються гідрологічні щорічники (таблиці щоденних рівнів води). За кожен рік виписуються середньодобові рівні за календарні місяці, в які відбувся перехід температури повітря через 0°C та установа льодостав. При цьому наносяться позначки льодових явищ (дод.А). Таблиці рівнів складаються як для верхнього, так і для нижнього створів.

Для цих же календарних місяців виписується середньодобова температура повітря з метеорологічних щомісячників за даними метеостанції або метеостанцій, розташованих на ділянці. Не бажано

використовувати метеостанцію, яка співпадає із нижнім створом, оскільки вона не буде відображати метеорологічні умови для усїєї ділянки в цілому.

Температура води береться із гідрологічних щорічників за даними, приведеними для розглядуваних створів. У більшості випадків у гідрологічних щорічниках наводиться середньодекадна температура води. Отже, необхідно виписати середньодекадні температури води, починаючи від декади, що передує декаді переходу температури повітря через 0°C і закінчити декадою, коли утворився льодостав. Усі дані представляються у вигляді, наведеному у дод.А.

4.2 Прогноз дат появи льодових явищ

Завдання: Розробити прогностичну методику прогнозу дати появи льодових явищ [4].

Необхідні дані: 1) Таблиця середньодобових рівнів за осінньо-зимовий період з позначеннями льодових явищ; 2) Таблиця середньодобових температур повітря, починаючи з дати першого переходу через 0°C і до установаження стійкого льодоставу; 3) Середньодобові температури води за період від дати переходу температури повітря через 0°C і до дати появи перших льодових явищ.

Рішення:

1. В таблиці середньодобових температур повітря знаходимо дату переходу температури через 0°C . Починаючи з цієї дати підсумовуємо від'ємні температури повітря до дати, коли з'явилися перші льодові явища, включаючи дату появи. Отриману суму $\sum \theta^-$ відносимо до табл.4.1 (граф 3).

2. Температуру води (ϑ_0 , $^{\circ}\text{C}$) за декаду, яка передує декаді переходу температури повітря через 0°C , записуємо у відповідну графу табл.4.1 (граф 4).

3. Якщо перехід через 0°C відбувся, а потім наступило потепління і льодові явища не утворилися, то отриману суму $\sum \theta^-$ і температуру води ϑ за попередню декаду заносимо до табл.4.1 (граф 5).

4. На декартові координати наносимо точки з $\sum \theta^-$ та ϑ для випадків, коли похолодання супроводжувалося появою льодоставу. Надалі проводиться нижня обвідна, вона характеризує мінімальну суму температур повітря необхідну для охолодження води і появи плавучого льоду. Точки, що відповідають випадкам, коли похолодання було, а лід не з'явився, повинні розміщуватися нижче цієї обвідної (рис.4.1).

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для складання методики прогнозу появи плаваючого льоду на річках

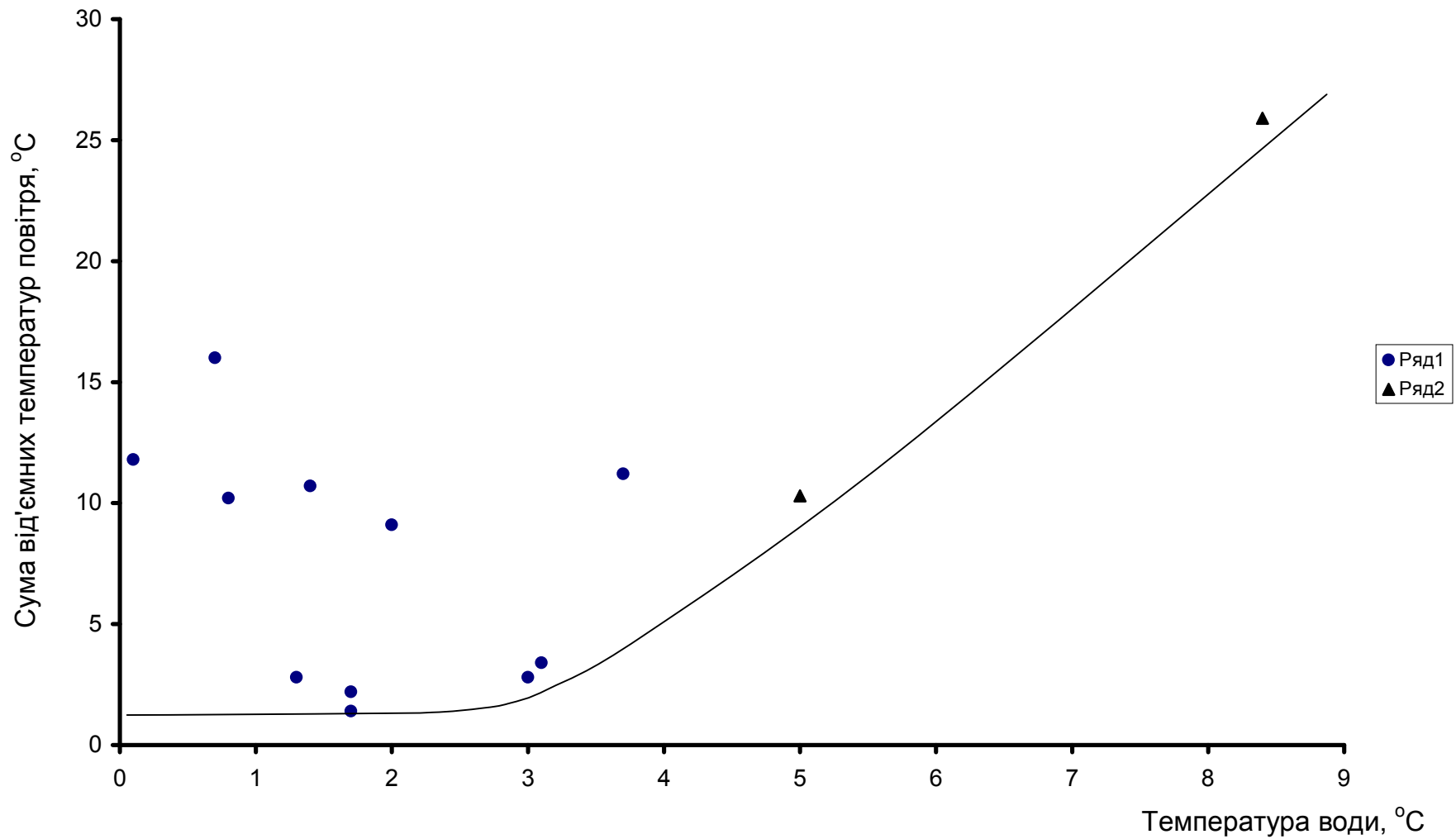
Рік	Дата появи плаваючого льоду, $D_{пл}$	Температура води, ϑ_0 °C,	Сума негативних температур повітря, $\sum \theta^-$ °C	
			при появі плаваючого льоду	льодові явища відсутні
1	2	3	4	5
1968	22.11	0,8	-10,2	
1968	-	8,4	-	-25,9
1969	4.12	3	-2,8	
1970	1.12	1,7	-1,4	
1971	21.11	1,7	-2,2	
1972	27.11	3,7	-11,2	
1973	26.11	2	-9,1	
1973	-	5	-	-10,3
1975	14.11	1,4	-10,7	
1976	25.11	3,1	-3,4	
1977	28.11	1,3	-2,8	
1978	3.12	0,7	-16,0	
1979	2.12	0,1	-11,8	

Примітка 1. Поява заберегів не може розглядатися як поява льодових явищ, оскільки забереги виникають на мілководних місцях, які швидко охолоджуються у порівнянні із усією водною масою.

1. Надалі отримана нижня обвідна розглядається як прогностична залежність, за якою виконується прогнозування. Для оцінки якості і ефективності прогностичної методики виконуються перевірні прогнози (табл.2). За температурою водної маси ϑ_0 з використанням залежності $\sum \theta^- = f(\vartheta_0)$ визначається мінімальна сума від'ємних температур повітря $\sum \theta_{\min}^-$, необхідних для охолодження води.

2. Далі за метеорологічними даними спостережень установлюється дата накопичення $\sum \theta_{\min}^-$ яка може розглядатися як дата появи плаваючого льоду $D_{\sum \theta_{\min}}$.

3. Через те що у прогнозах використовуються середньодобові та середньодекадні температури можлива поява систематичної похибки у прогнозах. Щоб її уникнути, будують графік залежності $D_{ПЛ} = f(D_{\sum \theta_{\min}})$.



ряд 2 – льодові явища відсутні

Рисунок 4.1 - Залежність накопичення суми від'ємних температур повітря ($\sum \theta^-$) від температури води (ϑ_0)
р. Березина – м. Бобруйськ

Якщо отриману залежність можна представити у вигляді

$$D_{ПЛ} = D_{\sum\theta_{\min}} + c, \quad (4.1)$$

де c – зсув у часі.

Отже датою, коли буде спостерігатися поява плавучого льоду, буде не $D_{\sum\theta_{\min}}$, а інша, із запізненням у c діб.

4. Похибка прогнозу знаходиться як різниця у прогнозованих і фактичних датах (табл.4.2, графа 8).

5. Прогноз вважається виправданим, коли похибка менша за допустиму. У свою чергу допустима похибка визначається за табл.3.1 і приймається рівною 2.

6. Підраховується кількість випадків, коли прогноз виправдався, і визначається за (4.1) забезпеченість допустимої похибки перевірних прогнозів.

Примітка 2. Перевірні прогнози бажано виконувати не незалежному матеріалі, тобто із використанням даних, які не були залучені до побудови прогностичної методики.

4.3 Прогноз дат утворення льодоставу

Завдання: Побудувати методику прогнозу дат утворення льодоставу [4,5].

Необхідні дані: 1) Таблиця середньодобових рівнів за осінньо-зимовий період з позначеннями льодових явищ; 2) Таблиця середньодобових температур повітря, починаючи з дати першого переходу через $0^{\circ}C$ і до устанавлення стійкого льодоставу; 3) Середньодобові температури води за період від дати переходу температури повітря через $0^{\circ}C$ і до дати появи перших льодових явищ (дод.А).

Рішення:

1. Якщо після появи плавучого льоду похолодання продовжується, то виникають умови щодо накопичення льоду і устанавлення льодяної перемички. Ці умови також можна охарактеризувати сумою від'ємних температур повітря від дати появи плавучого льоду до дати устанавлення

льодоставу $\sum_{D_{ПЛ}}^{D_{Л}} \theta^{-}$ (табл. 4.3).

Примітка 3. Бувають випадки потепління, коли після появи плавучого льоду льодостав не встановлюється і спостерігається чиста від льоду поверхня.

Таблиця 4.2 – Перевірні прогнози дат появи плавучого льоду

Рік	Дата появи плавучого льоду, $D_{пл}$	Дата переходу температури повітря через 0 °C, $D\theta$	Температура води θ_0 , °C	Сума від'ємних температур повітря від дати переходу через 0 °C до дати появи плавучого льоду, $\sum \theta^-$ °C	Сума мінімальних від'ємних температур повітря від дати переходу через 0 °C до дати появи плавучого льоду, $\sum \theta_{\min}^-$, °C	Дата появи плавучого льоду, $D \sum \theta_{\min}^-$	Похибка
1	2	3	4	5	6	7	8
1968	22.11	18.11	0,8	-10,2	-1,3	19.11	-3
1969	4.12	3.12	3,0	-2,8	-2,4	4.12	0
1970	1.12	28.11	1,7	-1,4	-1,3	2.12	1
1971	21.11	5.12	1,7	-2,2	-1,3	21.11	0
1972	27.11	19.12	3,7	-11,2	-4,5	26.11	-1
1973	26.11	25.11	2,0	-9,1	-1,3	25.11	-1
1975	14.11	7.12	1,4	-10,7	-1,3	14.11	0
1976	25.11	25.11	3,1	-3,4	-2,5	25.11	0
1977	28.11	26.11	1,3	-2,8	-1,3	26.11	-2
1978	3.12	2.12	0,7	-16,0	-1,3	2.12	1
1979	2.12	29.11	0,1	-11,8	-1,3	29.11	-3

Таблиця 4.3 – Вихідні дані для складання прогнозу дат встановлення льодоставу

Рік	Дата появи плавучого льоду, $D_{ПЛ}$	Дата встановлення льодоставу, $D_{ВЛ}$	$D_{Л} \sum \theta^{-\circ C}$ $D_{ПЛ}$	Рівень води в перед встановленням льодоставу, $H_{Л}$, см	Рівень води в дату встановлення плавучого льоду, $H_{ПЛ}$, см	Рівень води в дату встановлення льодоставу, $H_{ВЛ}$, см
1	2	3	4	5	6	7
1968	22.11	8.12	40,2	30	50	44
1969	4.12	19.12	14,9	130	80	162
1970	1.12	21.12	27,2	42	74	42
1971	21.11	15.12	35,3	32	48	58
1972	27.11	27.12	28,5	51	70	65
1973	26.11	24.12	14,2	91	51	87
1975	14.11	25.11	20,5	-18	16	-2
1976	25.11	26.12	46,2	26	21	56
1977	28.11	6.12	49,8	33	64	55
1978	3.12	17.12	6,5	75	66	80
1979	2.12	4.12	13,9	50	38	58

У такому разі прогноз появи плаваючого льоду повторюють уже при нових вихідних даних.

2. На графік, віссю x для якого є $H_{ПЛ}$ - рівень води у день появи плаваючого льоду, а віссю y - $\sum_{D_{ПЛ}}^{D_{Л}} \theta^-$, наносяться точки і проводиться нижня обвідна (рис.4.2-4.4).

3. Надалі відбувається пошук мінімально необхідної для утворення льодяної перемички від'ємної температури повітря $\sum_{D_{ПЛ}}^{D_{Л}} \theta_{\min}^-$ за проведеною залежністю $\sum \theta^- = f(H_{ПЛ})$.

4. Дата накопичення мінімально необхідної суми від'ємних температур позначається як $D_{\sum \theta_{\min} Л}$ (табл.4.4).

5. Для змерзання криги перед льодяною перемичкою необхідне подальше зниження температур повітря. Температура повітря, при якій відбудеться установлення льодового покриву, починаючи з дати $D_{\sum \theta_{\min} Л}$, і є критичною. Якщо льодостав довго не встановлюється і температури повітря підвищуються, а не знижуються, то це означає, що відбувається потепління (ситуація характерна для України). Такі вихідні дані можна не використовувати для побудови залежності $\theta_{КР} = f(H_{ПЛ})$, оскільки є ймовірність великої похибки.

Примітка 4. Найбільш надійними вважаються значення критичної температури, які спостерігалися у дату $D_{\sum \theta_{\min} Л}$, або наступного дня.

6. За нижньою обвідною точок з координатами $(\theta_{КР}, H_{ПЛ})$ можна спрогнозувати необхідну для установлення льодоставу критичну $\theta_{КР}$ температуру повітря.

7. За отриманими залежностями виконують перевірні прогнози та визначають забезпеченість допустимої похибки перевірних прогнозів (табл.4.4).

Примітка 5. Якщо результати перевірних прогнозів незадовільні, можна змінити аргумент $H_{ПЛ}$ на $H_{Л}$. При наявності систематичної похибки можливо урахувати "зсув" у часі шляхом побудови залежності вигляду (3.14).

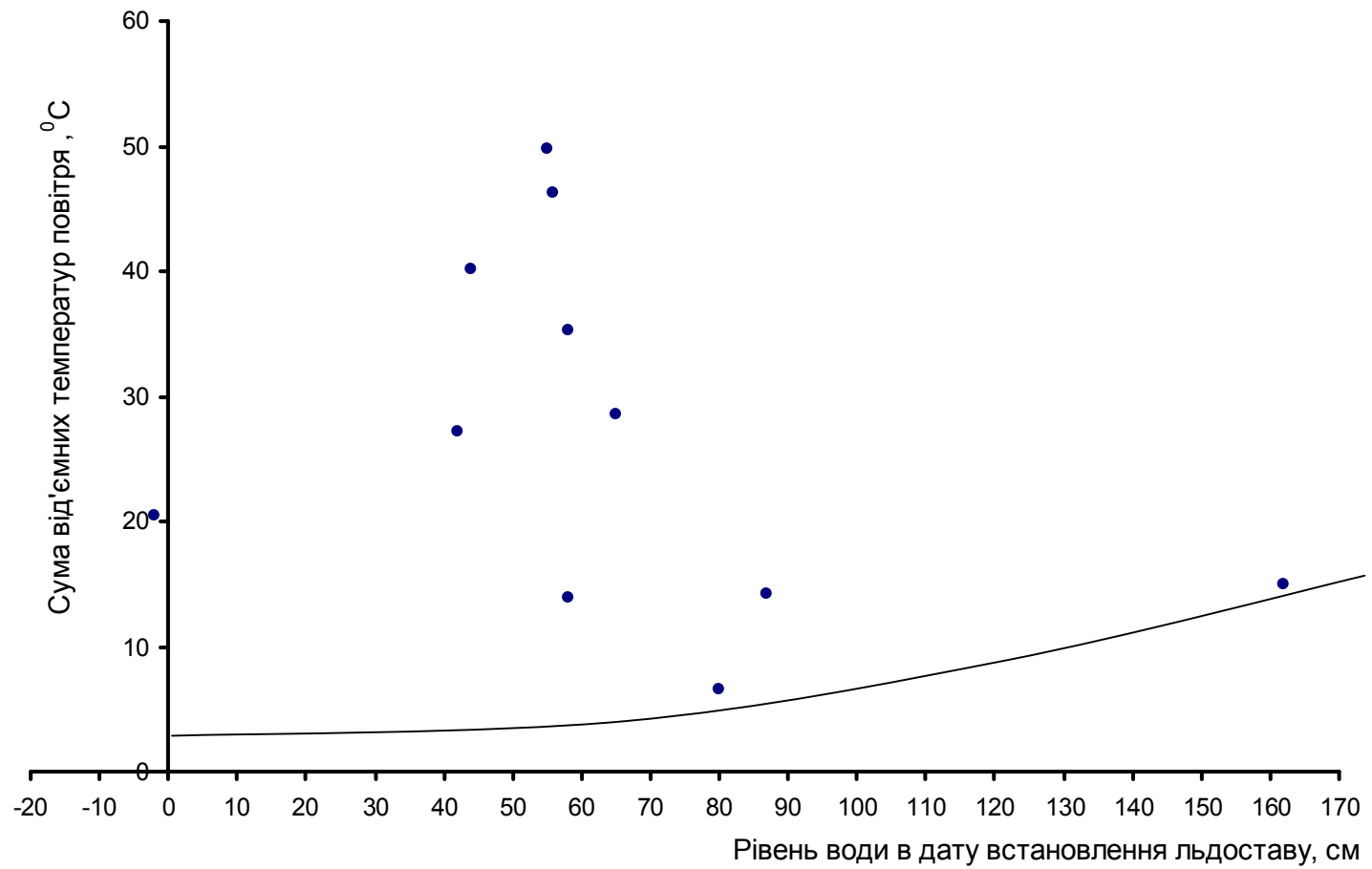


Рисунок 4.2 – Залежність накопичення від'ємних температур повітря ($\sum_{D_{ПЛ}}^{D_{Л}} \theta^-$) від рівня води в дату встановлення льодоставу ($H_{ВЛ}$)

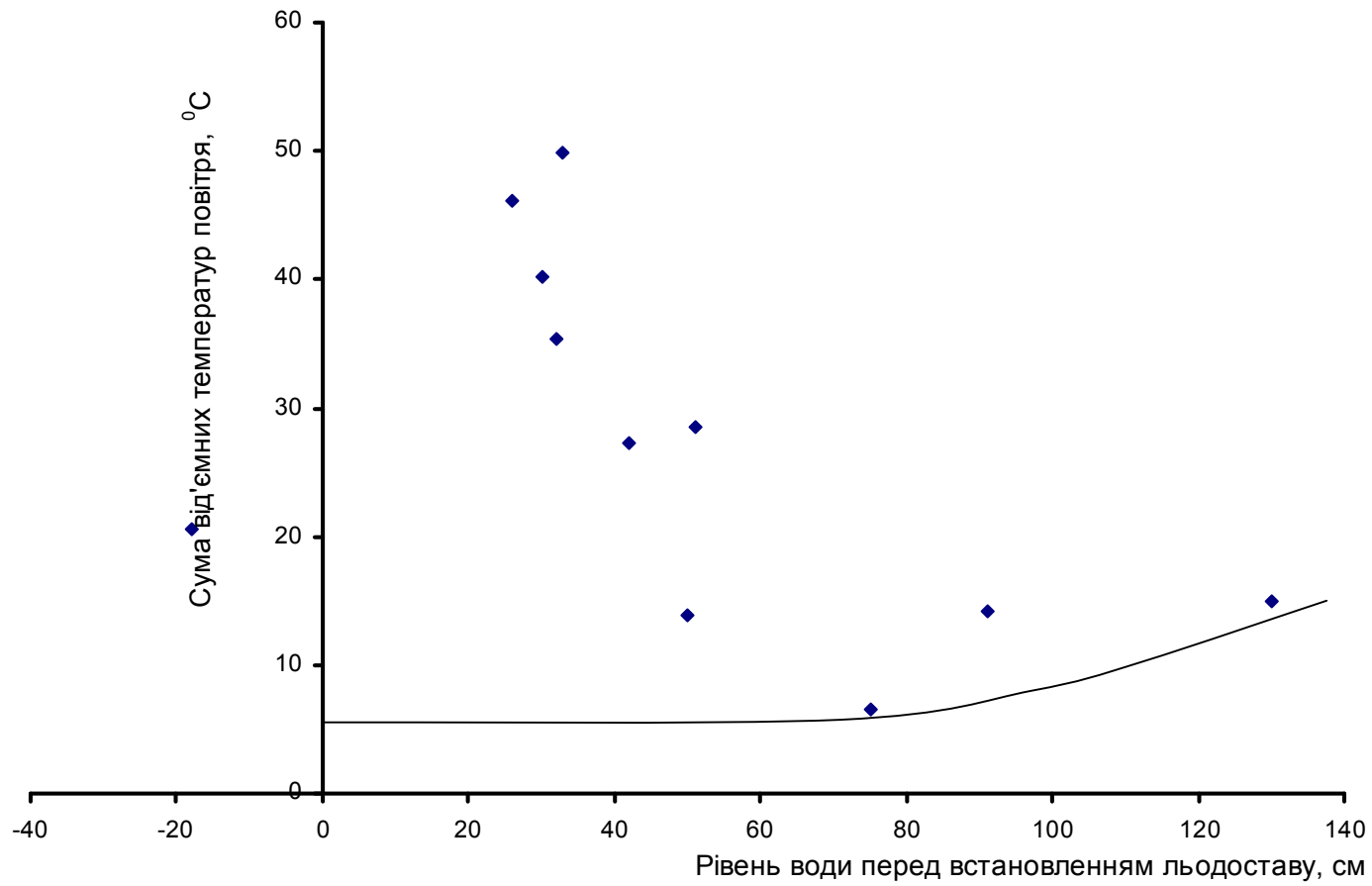


Рисунок 4.3 - Залежність накопичення від'ємних температур повітря ($\sum_{D_{ПЛ}}^{D_{Л}} \theta^-$) від рівня води безпосередньо перед встановленням льодоставу ($H_{Л}$)

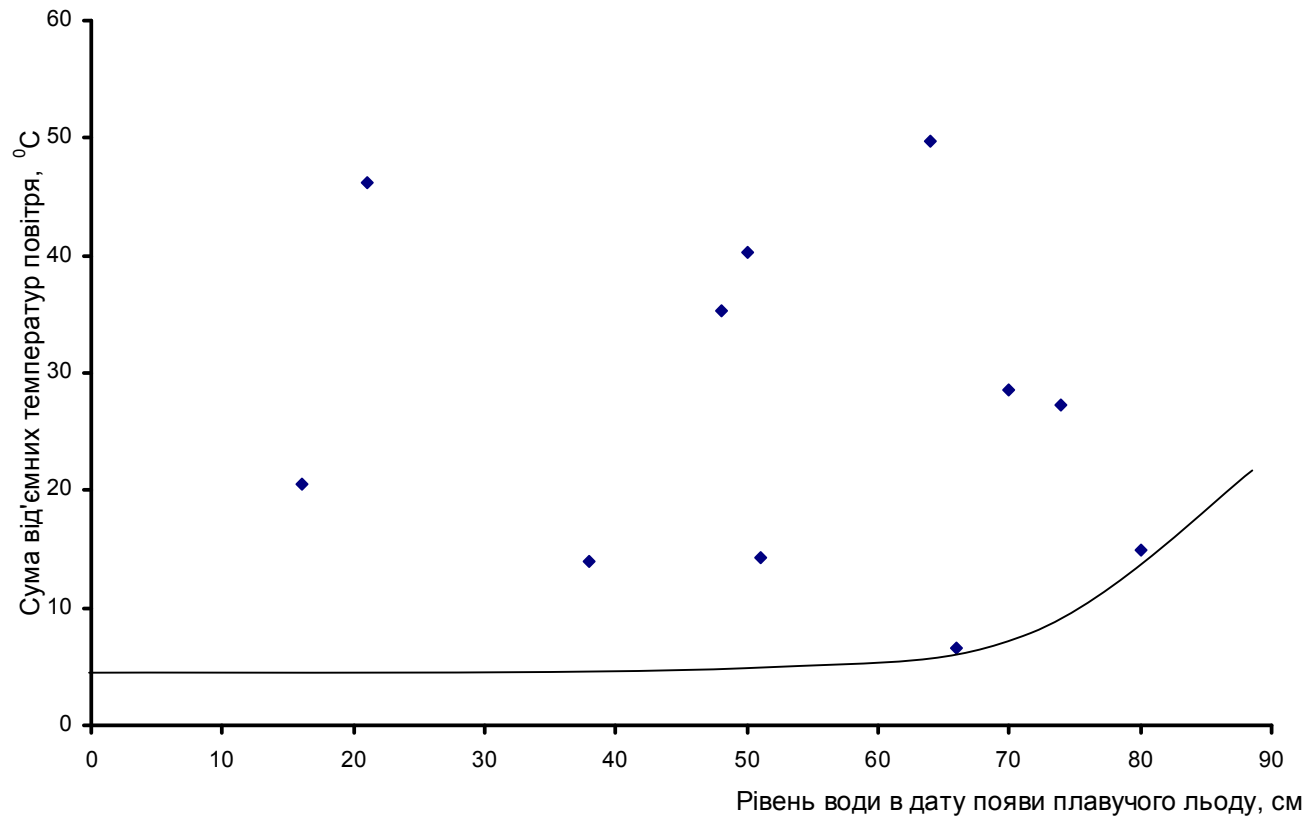


Рисунок 4.4 - Залежність накопичення від'ємних температур повітря ($\sum_{D_{ПЛ}} \theta^-$) від рівня води в дату появлення плавучого льоду ($H_{ПЛ}$)

Таблиця 4.4 – Перевірні прогнози дат початку льодоставу

Рік	Дата появлення плавучого льоду, $D_{ПЛ}$	Дата встановлення льодоставу, $D_{ВЛ}$	$D_{ДЛ}$ $\sum \theta^- \text{ } ^\circ\text{C}$ $D_{ПЛ}$	$H_{ДЛ}$, см	$D_{ДЛ}$ ($\sum \theta^-$) $D_{ПЛ}$ прогнозі, $^\circ\text{C}$	TD	T	$T+1$	$T+2$
1	2	3	4	7	6	7	8	9	10
1968	22.11	10.12	-10,2	44	-1,8	5.12	-2,1	-7,3	-9,2
1969	4.12	19.12	-2,8	162	-14	19.12	-6,1		
1970	1.12	21.12	-1,4	42	-1,7	18.12	-4,1	-3,9	-7,6
1971	21.11	15.12	-2,2	58	-2,4	7.12	-1,5	-2,1	-4,2
1972	27.11	27.12	-11,2	65	-3,8	19.12	-1,8	-5,0	-2,0
1973	26.11	24.12	-9,1	87	-5,7	26.12	-1,5		
1975	14.11	25.11	-10,7	-2	0	23.11	-7,3	-8,3	-10,9
1976	25.11	26.12	-3,4	56	-2,2	13.12	-1,1	-4,2	
1977	28.11	6.12	-2,8	55	-2,2	28.11	-1,4	-7,6	-10,0
1978	3.12	17.12	-16	80	-4,8	16.12	-6,5		
1979	11.11	4.12	-2,3	58	-2,4	29.11	-4,9	-14,2	-14,6

Продовження табл.4.4

Рік	$T+3$	$T+4$	$T+5$	$T+6$	$T+7$	$(\Sigma\Theta)_{min}, ^\circ C$	$d(\Sigma\Theta)_{min}, ^\circ C$	Дл	Похибка
1	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1968	-11,3	-4,4				2,1	5.12	8.12	2
1969						6,1	19.12	20.12	2
1970	-8,1					2,6	18.12	21.12	0
1971	-5,1	-4,9	-4,6	-6,1	-8,2	2,2	9.12	12.12	3
1972	-3,0	-5,8	-2,6	-9,5	-9,2	3,9	23.12	26.12	1
1973						4,5	21.12	24.12	0
1975	-10,9					1,6	22.11	25.11	0
1976						1,9	15.12	18.12	7
1977	-5,1	-5,8	-7,6	-5,9	-6,4	2,2	29.11	4.12	2
1978						3,9	16.12	19.12	2
1979	-9,4	-4,5				2,9	30.11	5.12	1

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки на виконання курсового проектування з дисципліни “Гідрологічні прогнози”. – Одеса, 2004 . – 58 с.
- 2.Апполов В.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов: Учебник. - Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 419 с.
- 3.Бефани Н.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам: Учебное пособие. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 390 с.
- 4.Лобода Н.С. Гідрологічні прогнози: Конспект лекцій. – Одеса. - ОДЕКУ, 2003. – 138 с.
- 5.Руководство по гидрологическим прогнозам / Прогноз ледовых явлений на реках и водохранилищах. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – Вып.3. – 167с.

ДОДАТОК А1
ВИХІДНІ ДАНІ НА Р. БЕРЕЗИНА НА ДІЛЯНЦІ
М. БОБРУЙСЬК – С. БЕРЕЗИНО, 1968 Р.

Дата	Н, см БС (н. ст.)		Н, см БС (в. ст.)	Температура повітря, °С	
	11	12	12	11	12
1		24)		-0,5	-1,0
2		24)		-3,2	-2,4
3		26)		-4,3	-3,8
4		31)		-4,8	0,6
5		35)		-0,6	-2,1
6		29)		-0,8	-7,3
7		30)		-2,6	-9,2
8		30	20	-5,5	-11,3
9		30	22	-0,4	-4,4
10		44	24	-2,6	-3,6
11		52	26)	-0,6	-1,6
12		59	28)	0,8	-1,2
13		62	34	0,9	-1,5
14		61	25	1,1	-0,9
15			24	4,0	
16			33	1,0	
17			38	1,3	
18			36	-0,3	
19				-2,5	
20				-4,1	
21				-2,2	
22	50)х			-1,3	
23	52)х			0,0	
24	50)х			-0,5	
25	50)х			-1,0	
26	50)			-1,2	
27	47)			-0,9	
28	42)			-0,7	
29	28)			-1,0	
30					
31					
Температура води, °С:	5,3	0,2			
	0,8				
8,4	0,2				

ДОДАТОК А2
ВИХІДНІ ДАНІ НА Р. БЕРЕЗИНА НА ДІЛЯНЦІ
М. БОБРУЙСЬК – С. БЕРЕЗИНО, 1969 Р.

Дата	Н, см БС (н.ст.)		Н, см БС (в.ст.)	Температура повітря, °С	
	11	12		11	12
1		72	72		1,4
2		74	71		1,4
3		78	71		-0,1
4		80:	71)		-2,7
5		80)х	71)о		-4,7
6		74)х	70)о		-4,6
7		78)х	74		-4,1
8		93	85		-1,3
9		104	92		-0,4
10		110	97		-0,1
11		115:	100)		-1,1
12		113)х	104)о		-1,3
13		126)х	106)о		-2,1
14		128)х	106)о		-3,4
15		94)х	101)о		-3,0
16		53)х	103)о		-0,4
17		61)х	89		-0,2
18		130)·	88		-0,7
19		162	88		-6,1
20		158	84		-6,5
21		152	84		-7,3
22		147			
23		145			
24					
25					
26					
27					
28					
29	71			-0,4	
30	74			-0,6	
31					
Температура води, °С:	3,0	0,4			
	4,7	0,1			
	3,2				

ДОДАТОК АЗ
ВИХІДНІ ДАНІ НА Р. БЕРЕЗИНА НА ДІЛЯНЦІ
М. БОБРУЙСЬК – С. БЕРЕЗИНО, 1970 Р.

Дата	Н, см БС (н.ст.)		Н, см БС (в.ст.)	Температура повітря, °С	
	11	12		11	12
1		74	70		-0,1
2		68)о	65)о		-2,1
3		67)о	62)о		-0,5
4		66)о	63)о		-1,5
5		66)	63)		-4,1
6		62)	58)		-0,9
7		64)	57)		-0,1
8		63)	59)		0,0
9		60)	57)		0,5
10		58)	53)		1,0
11		56)	51)		-0,7
12		54)	50)		-0,9
13		55	50)		-0,1
14		54	51		0,0
15		54	51		0,7
16		54)	52)о		0,1
17		52)о	49)о		-1,2
18		48)о	43)о		-4,1
19		43)о	45		-3,8
20		45)	42		-7,6
21		42	45		-8,1
22		45	50		-7,1
23		50	56		-6,3
24		56			-8,2
25					
26					
27					
28				-0,2	
29	78			-0,5	
30	77			-0,6	
31				0,0	
Температура оди, °С:	1,7	0,4			
	2,0	0,6			
	2,4				

ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до практичних занять та курсового проектування
з дисципліни „Гідрологічні прогнози”
розділ “Прогнози льодового режиму”
для студентів IV-V курсів
гідрометеорологічного інституту

Укладач: д.г.н. Лобода Н.С.

Підп. до друку 09.06 Формат А5 Папір друк. №

Умовн. друк. Арк. 1.9 Тираж 100 Зам. №

Надруковано з готових оригіналів – макетів

Одеський державний екологічний університет
65016, Одеса, вул. Львівська, 15
