

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра гідрології суші

Бакалаврська кваліфікаційна робота

на тему: Розробка методики прогнозу характеристик меженного стоку теплового періоду року в басейні р. Сіверський Донець

Виконав студент 3 року навчання
групи МСГ-23б
спеціальності 103 Науки про
Землю
Деркач Катерина Ігорівна

Керівник канд. геогр. наук, ст.
викл. Погорелова Марина
Полікарпівна

Консультант
Рецензент канд. геогр. наук, доцент
Сербов Микола Георгійович

Одеса 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Гідрометеорологічний інститут
Кафедра Гідрології суші
Рівень вищої освіти бакалавр
Спеціальність 103 Науки про Землю
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри гідрології суші
д-р геогр. наук., проф. Шакірманова Ж.Р**

“26” квітня 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Деркач Катерині Ігорівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка методики прогнозу характеристик меженного стоку теплового періоду року в басейні р. Сіверський Донець»

керівник роботи Погорелова Марина Полікарпівна, канд. геогр. наук, ст.викладач

затверджені наказом закладу вищої освіти від “07” грудня 2018 року №343-С

2. Строк подання студентом роботи 17.05.2019р.

3. Вихідні дані до роботи: ОГХ, Ресурси поверхневих вод, гідрологічний ежегодник, Багаторічні матеріали спостережень мережі гідрометслужби України за даними Центральної геофізичної обсерваторії («Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші») та Українського Гідрометцентру, за період 2001-2015 рр.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

- фізико-географічний опис району досліджень, аналіз кліматичних умов з урахуванням сучасних змін, опис гідрометеорологічної вивченості території;

- теоретичні основи прогнозів елементів водного режиму річок в меженний період;

- розробка методики короткострокових прогнозів характеристик меженного стоку р. Сіверський Донець-м.Зміїв;

- оцінка ефективності і якості методики прогнозу, та перевірка на незалежних даних в сучасних кліматичних умовах та водності річок розглядуваного періоду.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

- карто-схеми географічного положення, ґрунтів, рослин;

- карта гідрологічної вивченості;

- комплексний графік ходу максимальних витрат води, температури повітря і опадів, залежність відповідних витрат води від середньодекадних витрат в

русовій системі в період літньо-осінньої межені в басейні р. Сіверський Донець-м.Зміїв.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 26квітня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Коротка фізико-географічна характеристика басейну р. Сіверський Донець-м.Зміїв	29.04-03.05.2019	80	добре
2	Загальний водний режим річки та режим меженного стоку	04.05-07.05.2019	80	добре
3	Збір та аналіз вихідні дані про витрати води на останнє число декади періоду літньо-осінньої межені за період спостережень (2000-2015рр.)	08.05-11.05.2019	78	добре
4	Теоретичні основи прогнозів характеристик водного режиму річок в меженний період на рівнинних річках	11.05.-12.05.2019	80	добре
Рубіжна атестація		13.05.2019		
5	Розробка методика прогнозу середньо декадних витратах за період літньо-осінньої межені на р. Сіверський Донець. Побудова прогностичних залежностей та їх аналіз	14.05-19.05.2019	83	добре
6	Оформлення дипломного проекту	19.05-21.05.2019		
7	Підготовка доповіді, презентації	22.05-02.06.2019		
Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			80	добре

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівникроботи _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Коротка фізико-географічна характеристика басейну р. Сіверський Донець.....	9
1.1. Географічне положення та рельєф.....	9
1.2. Ґрунтовий та рослинний покрив	10
1.3. Кліматична характеристика	11
1.4. Гідрологічна вивченість	13
2. Теоретичні основи прогнозів елементів водного режиму річок в меженний період.....	16
2.1. Закономірності і фактори меженного стоку.....	16
2.2. Фізичні основи прогнозів меженного стоку.....	17
2.3. Теоретична основа прогнозів меженного стоку.....	19
2.4. Рівняння виснаження запасів води та визначення складових меженного стоку річок.....	21
2.5. Методичні основи прогнозів і вигляд залежностей для прогнозу меженного стоку річок.....	23
2.6. Прогнози стоку за даними про запаси води в русловій мережі.....	28
3. Теоретичні основи методу прогнозу стоку за літньо-осінній період	35
3.1. Закономірності і фактори меженного стоку.....	35
3.2. Фізичні основи прогнозів меженного стоку.....	36
3.3. Теоретична основа прогнозів меженного стоку.....	38

3.4. Рівняння виснаження запасів води та визначення складових меженного стоку річок.....	40
3.5. Методичні основи прогнозів і вигляд залежностей для прогнозу меженного стоку річок.....	42
3.6. Прогнози стоку за даними про запаси води в русловій мережі.....	47
4. Розробка методики прогнозу характеристик меженного стоку теплого періоду року в басейні р. Сіверський Донець р. Сіверський Донець-м.Зміїв	55
4.1. Аналіз вихідних даних	55
4.2. Побудова прогнозної методики.....	
Висновки.....	59
Список використаних джерел.....	60
Додатки.....	61

Вступ

Метою і завданням роботи є розробка методики прогнозу середньо декадних витратах за період літньо-осінньої межени на р. Сіверський Донець.

Побудова прогностичних залежностей та їх аналіз

Актуальність теми. Прогнозування річкового стоку має важливе значення для всіх галузей народного господарства, дозволяє підвищити ефективність регулювання стоку, отримати суттєвий економічний ефект.

Об'єктом дослідження є формування річкового стоку літньо-осіннього (меженного) періоду в р. Сіверський Донець.

Вхідні дані. Були використані багаторічні матеріали спостережень мережі гідрометслужби України за даними Центральної геофізичної обсерваторії («Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші») та Українського Гідрометцентру, 2000 - 2015рр..

1. Коротка фізико-географічна характеристика басейну р. Сіверський Донець

1.1 Географічне положення та рельєф

Басейн р. Сіверський Донець знаходиться в межах східної частини України, але частково охоплює і прилеглу частину території Росії. Сіверський Донець бере початок на Середньоруській височині, біля села Подольхи в Прохоровському районі Белгородської області Росії. Сіверський Донець — найбільша річка східної України і найбільша притока Дону. Загальна протяжність річки становить 1053 км, площа басейну 98 900 км². Координати джерела 51°00' пн. ш. 36°59' сх. д., висота джерела біля 200 м над рівнем моря. Частка весняного стоку складає (від річного) - 61%, річного - 9%, осіннього - 12%, зимового – 18 (Рис. 1.1)

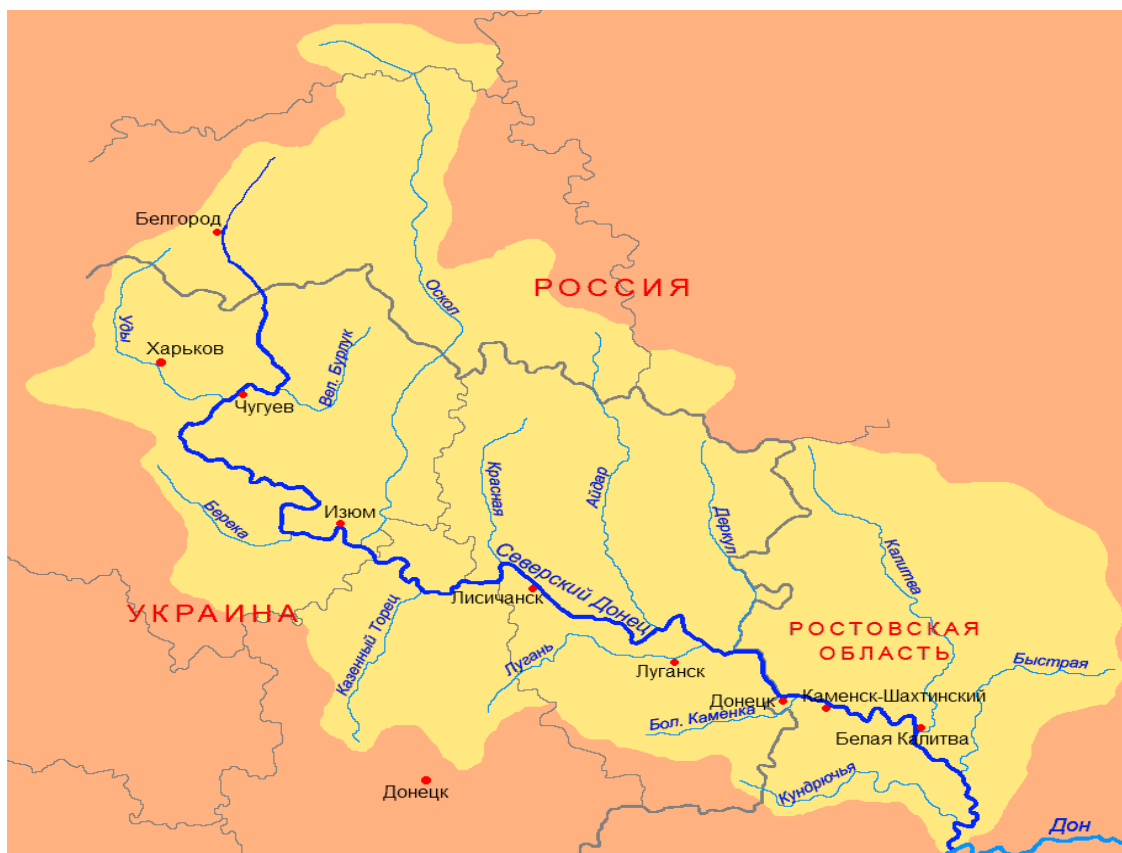


Рисунок 1.1 – Карта фізико-географічного положення басейну р. Сіверський Донець

Басейн Сіверського Донця розташований в межах трьох геоструктурних районів: верхня частина басейну розміщена на Волино-Подільській височині, середня його частина знаходиться в межах Придніпровської височини, нижня течія належить до Причорноморської низовини.

Верхню частину геологічного розрізу складають четвертинні відкладення. Розповсюджені вони усюди і відсутні лише на невеликих ділянках, де оголюються корінні породи.

У берегових обривах оголюються шари ґрунтів і гірських порід, нерідко дуже стародавніх. На берегах часто знаходять численні свідчення стоянки стародавніх людей.

Із сучасних геологічних процесів в межах басейну Сіверського Донця найбільшого поширення набула ерозійна діяльність, заболочування, зсувні процеси, еолова діяльність (еолові лесси), ерозія землі і локально-карстові явища.

В басейні на кристалічному фундаменті розташовані водоносні горизонти палеогена, неогена, сарматських, торонських відкладів і інших, перекритих горизонтами четвертинних відкладів. Водоносний горизонт останніх широко використовується для сільськогосподарського, а також централізованого водопостачання населених пунктів.

Мінералізація вод всіх водоносних горизонтів збільшується на південний схід басейну, досягаючи значень $1,5 \text{ г/дм}^3$ і більше.

1.2. Ґрунтовий та рослинний покрив

За характером ґрунтового покриву басейн Сіверського Донця відноситься до лісостепу та степу. Поверхневий покрив складається із лісів і лесовидних суглинків, чим пояснюється перевага пилеватих легкосуглинистих і піщано-середньосуглинистих ґрунтів. Ґрунти переважно сірі опідзолені, у верхів'ї місцями чорноземні (рис.1.2)

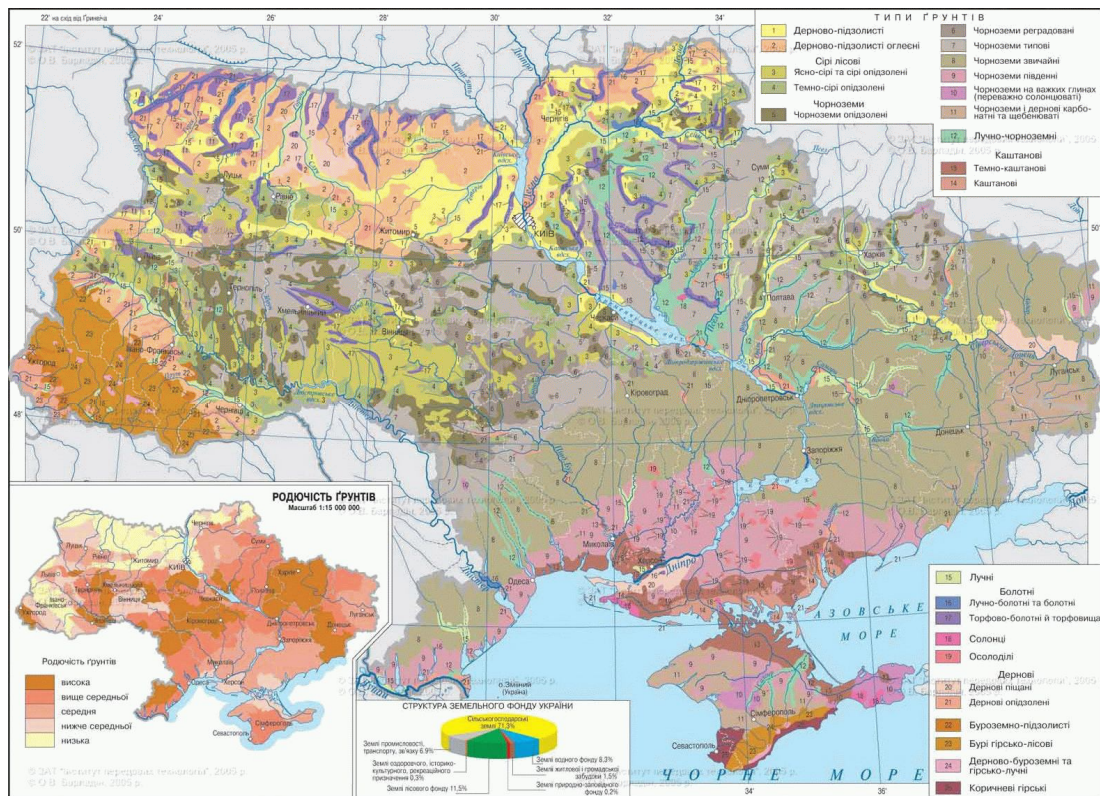


Рисунок 1.2 Карта ґрунтів України

Ґрунти в верхній частині басейну представлені світло-сірими суглинками. Центральну частину басейну вкривають малогумусні чорноземи. На підвищених місцях рельєфу залягають опідзолені чорноземи.

Сучасний ґрунтовий покрив верхньої та середньої частин басейну Сіверського Донця сформувався під впливом взаємодії ґрунтоутворюючих порід, рослинного покриву, рельєфу, клімату та господарської діяльності людини. На рівнинних ділянках басейну під покривом степової рослинності утворились чорноземи глибокі, а на ділянках під лісовою рослинністю виникли лесові опідзолені ґрунти. На алювіальних відкладах в долинах річок утворилися лучні та торфво-болотні ґрунти.

Світло-сірі, темно-сірі опідзолені ґрунти та чорноземи опідзолені поширені в верхній і середній частині басейну. Світло-сірі ґрунти найбільше опідзолені та найменш гумусовані серед лісостепових

опідзолених ґрунтів. Гумусо-елювіальний горизонт чорноземів опідзолених неглибокий (до 35 см). В пониззі Сіверського Донця вони переходять в чорноземи слабосолонцюваті та каштанові ґрунти.

Одним із основних чинників, від яких залежить гідрологічний режим басейну, нарівні з кліматичними, ґрунтово-геологічними і геоморфологічними є рослинний покрив. Рослинність кількісно та якісно перерозподіляє опади, що поступають на землю, і дуже змінює гідрологічний режим території.

Більша частина басейну Сіверського Донця знаходиться в межах лісостепової зони і має досить багатий і різноманітний рослинний світ, що зумовлено передусім сприятливим кліматом, рельєфом та родючими ґрунтами. Природна рослинність займає тут 12% усієї площі. Із них 11% припадає на ліси, біля 1% на луки і 0,5% — на болота. Рослинність північно-західної частини басейну представлена молодими і середньовіковими широколистяними лісами, які розташовані окремими масивами (рис.1.3)

Найпоширенішими породами дерев є дуб, граб, ясен, клен, липа, в'яз, вільха. З кущів та чагарників можна зустріти ліщину, шипшину, жимолость та інші. На південь ліси поступово змінюються на лісостеп, спочатку ковилово-різнотравний, а потім ковилово-типчаковий. В цілому, лісистість басейну становить близько 7%, заболоченість — 2%. Орними землями зайнято біля 70% території водозбору.

На частині басейну Сіверського Донця, що зайняті орними землями, обробляються, вирощують культурні види рослин: пшеницю, цукрові буряки, кукурудзу, жито, горох, гречку, картоплю та інші.



Рисунок 1.2 Карта лісистості України

1.3. Кліматична характеристика

В формуванні клімату басейну Сіверського Донця важливу роль відіграє циркуляція атмосфери, з якою пов'язані переміщення повітряних мас з Атлантики, Арктики і Середземномор'я.

У верхів'ї та в середній частині басейну клімат помірно континентальний. Клімат південних районів перебуває під впливом Чорного моря і в нижній течії річки повільно переходить в посушливий.

Значна протяжність території басейну з північного заходу на південний схід спричиняє помітні відмінності в розподілі температури повітря. Середня річна температура повітря змінюється від 7,1 °С до 10,0 °С. Середня багаторічна температура повітря у верхній і середній частинах басейну коливається в межах 7,1-8,1 °С. Максимальна

температура літом сягає 39 °С, мінімальна температура в холодні дні зими — до -38 °С. (Рис. 1.4)

Середньорічна температура повітря тут коливається від 8,0 °С до 10,0 °С. Максимальна температура повітря, до 40 °С, спостерігається в липні-серпні місяцях. Мінімальна температура повітря до мінус 35 °С відмічається в січні місяці. В нижній частині басейну сніговий покрив встановлюється в другій половині грудня і руйнується в кінці лютого — на початку березня. Середня висота снігового покриву 5-8 см. Глибина промерзання ґрунту в середній та нижній частині басейну становить 20-50 см. Річна кількість опадів в нижній частині басейну становить від 470 мм до 540 мм. Відносна середньорічна вологість повітря становить 60-65%. Норми випаровування з водної поверхні складають в верхів'ї і середній частині басейну 530-625 мм, в пониззі — 800-900 мм. Переважаючими вітрами в басейні є вітри північно-західних напрямів. Середньорічна швидкість вітру становить від 3,0 до 4,4 м/с, максимальна — перевищує 30 м/с. Живлення річки Сіверський Донець відбувається за рахунок талих вод у весняний і зимовий періоди та дощових опадів в літній. Підземний стік в басейні незначний.

Рівневий режим річки характеризується явно вираженою весняною повінню, низькою літньою меженню, яка іноді переривається при проходженні дощових паводків та осінньо-зимовими підйомами води.

Пік повені сягає максимального значення в другій половині березня. Літня межень встановлюється в середині травня на початку червня. Найменші рівні спостерігаються в липні-серпні, на пригирловій ділянці — в вересні-жовтні. Найнижчі зимові рівні спостерігаються в кінці грудня — в першій половині січня. У верхній течії Сіверський Донець замерзає в кінці листопада — на початку грудня. В середній та нижній течії — в другій половині грудня. Льодостав малостійкий, середня товщина льоду змінюється від 15 до 35 см, максимальна сягає 80 см. Скресання річки проходить в другій половині березня в верхній течії та в першій

половині березня в нижній і середній течії. Очищення річок басейну від льоду відбувається в кінці березня на початку квітня.



Рисунок 1.4 Карта-схема кліматичних умов на території басейну р.Сіверський Донець

1.4. Гідрологічна вивченість

Гідрологічна вивченість. В басейні річки Сіверський Донець ведуться гідрологічні спостереження на 14 гідрологічних постах.

З них на головній річці розташовано 6 постів, і по 1 посту на р.Уди, р.Хотімля, р.Вовча, р.Харків, р.Оскол. Найбільш тривалий період спостережень з 1914 по 1975 рр. відзначений на р.Сіверський Донець - с. Ізюм, найбільш короткий (1916 - 1946 рр.) – Оскол – Старий оскол. Найбільша площа водозбору 46200 км² р. Сіверський Донець -с. Зміїв, найменша 92,5 км² р.Уди Пересічна.

Ухили річок коливаються в межах від 0,26 ‰ до 2,8 ‰. Залісненій водозборів змінюється від 7% до 84%.



Рисунок 1.5 Карта-схема гідрографічної мережі річки Сіверський Донець

Характеристика гідрографічної мережі. Природні умови і в першу чергу клімат, рельєф, геологічна будова і гідрогеологічні особливості зумовили основні риси гідрографічної мережі на території Східної України і Росії. До складу району входить ряд різко різних в кліматичному відношенні частин. Добре розвинена річкова мережа на Волино-Подільської височини; густина її відповідно дорівнює 0,7 - 0,8 і 0,3 км / км². Форма басейну неправильна, грушоподібна у верхів'ї різко звужена; в середній і нижній частині басейн різко асиметричний. Середня висота водозбору у верхів'ях 500 - 320 м, у пониззі 50 - 20 м абс. Річкова мережа має видатний малюнок; середня густина її близько 0,35 км / км², в басейнах деяких річок перевищує 0,6 - 0,7 км / км².

Сіверський Донець бере початок у с. Подольха, тече переважно з північного заходу на південний схід і впадає в Дон. Долина річки асиметрична, з низькими пологами і крутим правим схилом й широкою

(0,6 - 1,2 км) заболоченою заплавою з пересіченими рукавами, протоками та озерами. Дно піщане, місцями кам'янисте, порожисте. На розглянутій території мається більш 8600 озер, лиманів, водосховищ і ставків загальною площею водної поверхні, що перевищує 2,5 тис.км².

Понад 97% водойм є неглибокими озерами, водосховищами і ставками невеликих розмірів з площею повного дзеркала в межах 0,1 - 0,5 км. Заплавні озера в основному малих розмірів, проте, зустрічаються і великі в десятки і сотні гектарів. Залежно від фази водного режиму глибина їх піддається істотним змінам. Найбільш повноводні вони навесні, влітку сильно всихають. Однак в окремих водоймах навіть влітку зберігаються глибини, що перевищують 10 - 12 м. Дно їх здебільшого піщане, вкрите мулом різної потужності Фізико-географічні умови не сприяють розвитку боліт в описуваному районі. Болота і заболочені землі розподілені по території дуже нерівномірно і характер їх різний.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗІВ ЕЛЕМЕНТІВ ВОДНОГО РЕЖИМУ РІЧОК В МЕЖЕННИЙ ПЕРІОД

2.1 Закономірності і фактори меженного стоку

Під меженным стоком річков розуміють стік літньо-осіннього і зимового періодів, коли річки отримують живлення в основному від підземних вод і лише іноді мають приток від дощів чи від танення снігу у періоди зимових відлиг.

Фактори, які впливають на формування стоку річок у межень поділяють на тимчасові і постійно діючі. До перших з них відносять кліматичні умови (кількість опадів періоду формування стоку) та підземне живлення річок.

Роль рідких опадів в стоці річок меженного періоду залежить від кліматичних умов тої географічної зони, де розташований водозбір. У посушливих зонах суттєвий дощовий стік у межень практично відсутній. В зонах надмірного зволоження (наприклад, північні та північно-східні райони України), навпаки, дощові паводки на річках в період межені – явище часте, особливо восени. Однак, як в цій зоні бувають періоди тривалої відсутності дощу, коли річки переходять на підземне живлення, так і в посушливих зонах, взагалі в степовій частині території України, іноді буває дощове літо і осінь, коли поверхнева складова стоку стає значною.

Зимою, в зонах з м'яким кліматом, річки отримують додаткове живлення за рахунок дощів та танення снігу у періоди зимових відлиг (південні райони України).

Запаси підземних вод, які в основному й обумовлюють меженний стік, складаються з двох джерел вод: глибинних (напірних) та ґрунтових вод.

Доля глибинного підземного живлення обумовлена геологічною та гідрогеологічною будовою водозборів, воно достатньо стає і може бути визначено за мінімальними витратами води літньої або зимової межні.

Ґрунтове живлення відбувається за рахунок першого від поверхні безнапірного водоносного горизонту, має сезонні коливання, поповнення ґрунтових вод здійснюється в період весняних водопіль.

Суттєвий вплив на режим річок в межень мають й постійно діючі фізико-географічні фактори: рельєф, площа водозборів, глибина перерізу русла, наявність озер та боліт. Чим більший розмір водозбору, тим більш плавно відбуваються зміни в режимі річки. Так, в степовій зоні на великих річках дощові паводки слабо виражені, але ж на малих – вони можуть бути катастрофічно високими. Озера та болота на водозборах перерозподіляють сезонний стік, збільшуючи його у меженний період.

На гірських річках Криму та Карпат дощові паводки спостерігаються значно частіше, ніж на рівнинних[4].

Встановлення строків початку періоду межні, тобто моменту завершення потрапляння припливу сезонних дощових та тало-дощових вод в річкову мережу залежить: на рівнинних річках від строків сходу снігу у басейні і максимального часу добігання води по руслах річок, а також від розмірів, заболоченості, залісенності басейнів; на гірських – від висотного положення водозборів і розподілу стоку протягом року (при збільшенні висоти строки закінчення весняно-літнього водопілля спостерігаються пізніше).

2.2 Фізичні основи прогнозів межненого стоку

Особливості гідрологічного режиму річок у літньо-осінній період визначається двома факторами: характером підземного живлення та поверхневим стоком дощових опадів. Взимку водність річок обумовлена в основному підземним живленням, а також припливом тало-дощових вод

при наявності зимових відлиг. Тому для прогнозу елементів водного режиму річок у меженний період необхідно встановити закономірності виснаження підземних вод та характер поверхневого стоку і, на цій основі, визначити параметри зв'язків стоку з факторами, які його визначають (з врахуванням місцевих особливостей даного водозбору).

Режим підземного живлення, особливо глибинного, має меншу змінність, ніж режим поверхневого стоку. Після закінчення суттєвого припливу весняних тало-дощових вод, тобто на спаді водопілля, стік води в річках ще деякий час формується за рахунок запасів води в русловій мережі, озерах та болотах.

У той же час відбувається повільне виснаження й сезонних запасів ґрунтових вод. При цьому витрати води в річках поступово зменшуються і за деякий час (за відсутності поверхневого припливу) досягають сталих мінімальних значень, обумовлених припливом глибинних вод. В залежності від рівня стояння ґрунтових вод, який змінюється по сезонах і з року в рік, коливаються й витрати води у межень.

При значній ролі дощових опадів, зміни у режимі меженного періоду обумовлені підйомом рівнів води і формуванням паводків на річках або підвищенням меженного стоку, особливо для великих річок.

Оцінити дощову складову меженного стоку можливо через кількість опадів і показник водо поглинаючої здатності (вологості) ґрунтів перед початком дощу. За останній може бути прийнятий початковий запас води у річковій мережі.

При цьому опади приймаються за період часу, який дорівнює максимальному часу стікання поверхневих і руслових вод в річковому басейні, тобто за період завчасності прогнозу. Іноді необхідним є врахування опадів, які потрапили на водозбір раніше строку випуску прогнозу. При цьому кількість опадів, які генетично пов'язані зі стоком розглядуваного періоду, має бути розрахована з врахуванням динаміки опадів як у часі, так і по площі водозбору.

Таким чином, фізичні основи довгострокових прогнозів стоку річок у межень витікають з загальних закономірностей формування стоку в цей період – повільного виснаження сезонних запасів води у річковому басейні та поверхневого припливу дощових (талих) вод. Перший фактор є основним, який взагалі визначає можливості довгострокового прогнозу меженого стоку, виходячи з вже складених умов у річковому басейні. Точність та завчасність довгострокових прогнозів знижується в умовах, коли дощова чи тала складові живлення річки у період межені доволі значні і можуть бути оцінені лише за довгостроковим синоптичним прогнозом.

2.3 Теоретична основа прогнозів меженого стоку

Об'єм літньо-осіннього меженого стоку (середня витрата води) за деякий період часу Δt , який перевищує максимальний час добігання води τ_{max} по руслах річок можна представити рівнянням:

$$Q\Delta t = Q_r \Delta t + Q_d \Delta t + W_{t_0}, \quad (2.1)$$

де $Q\Delta t$ – межений стік за час Δt ;

$Q_r \Delta t$ і $Q_d \Delta t$ – стік річок, обумовлений відповідно припливом підземних і дощових (поталих) вод;

W_{t_0} - запас води в річковій мережі в початковий момент часу t_0 .

Для періоду зимової межені за наявності зимових відлиг дощова складова $Q_d \Delta t$ замінюється тало-дощовою $Q_{md} \Delta t$ і рівняння має вигляд:

$$Q\Delta t = Q_r \Delta t + Q_{md} \Delta t + W_{t_0}, \quad (2.2)$$

На сьогодні з складових рівняння (2.1) і (2.2) з достатньою точністю можна визначити лише запас води в річковій мережі W_{t_0} (наприклад, за гідрометричними або морфометричними даними). Ця складова має суттєве значення для крупних річок з максимальним часом руслового добігання, який дорівнює або перевищує період завчасності прогнозу. За відсутності даних для розрахунку руслових запасів води, величину W_{t_0} можна приблизно оцінити через витрату води в замикаючому створі в момент часу t_0 .

Підземну та дощову складові стоку за період завчасності прогнозу визначити значно важче ніж W_{t_0} , особливо для великих річок, де дощовий стік дуже слабо виражений.

Підземне живлення, як вже говорилося, відбувається за рахунок першого від поверхні безнапірного водоносного горизонту та більш глибокого, у тому числі напірного, горизонту підземних вод, визначення яких має певні труднощі.

Дощовий приплив води $Q_d \Delta t$ може бути отриманий через кількість опадів, які приймають участь у формуванні стоку розглядуваного періоду.

У зв'язку з цим для прогнозів меженного стоку рівняння (2.1) і (2.2) не можуть бути використані безпосередньо. Тому в практиці гідрологічних прогнозів будуються емпіричні залежності меженного стоку від факторів, які його визначають. При цьому краща якість прогнозів отримується для річок з незначною долею дощового стоку і для великих річок лісостепової і степової географічних зон.

2.4 Рівняння виснаження запасів води та визначення складових меженного стоку річок

Формування стоку в меженний період відбувається за рахунок виснаження як запасів ґрунтових вод, так і руслових запасів, які ще залишаються у річковій мережі, озерах та болотах після припинення подачі поверхневих тало-дощових вод весняного водопілля.

Спад витрат води у часі за рахунок виснаження цих запасів води можна описати рівнянням вигляду:

$$Q(t) = (Q_0 - q) \exp(-\alpha t) + q, \quad (2.3)$$

де Q_0 - витрата води в річці в початковий момент часу t_0 , м³/с;

q - базисна витрата, яка обумовлена глибоководним живленням, м³/с;

t - час в добах від моменту часу t_0 , на який приймається початкова витрата води Q_0 ;

α – параметр, який є показником інтенсивності виснаження підземних вод. Параметри α і q залежать від гідрогеологічних умов і змінюються для різних за площею басейнів. Так, параметр α зменшується зі збільшенням площ водозборів та змінюється з року в рік у зв'язку зі змінами запасів ґрунтових вод.

Рівняння (2.3) є рівнянням виснаження запасів води в річковому басейні, яке може бути представлено графічно.

Базисний стік q не значно змінюється у часі і може бути оцінений за мінімальною витратою води у межень. Ґрунтова складова меженного стоку рівнинних річок є основною частиною підземного живлення, а його інтенсивність значно змінюється по сезонах року і з року в рік. Так, наприкінці весни після сходу снігу ґрунтові води активного водообміну

найбільш близько знаходяться від поверхні землі, а при тривалій відсутності опадів та після холодної зими – рівень їх значно знижується.

Величина ґрунтового живлення $Q_r \Delta t$ може бути отримана через непрямі показники, наприклад, через запас води у водоносних горизонтах W_1 , через запас води в русловій мережі W_{t_0} або початкову витрату води у річці Q_0 :

$$Q_r \Delta t = f(W_1), \quad (2.4)$$

$$Q_r \Delta t = f(W_{t_0}), \quad (2.5)$$

$$Q_r \Delta t = f(Q_0), \quad (2.6)$$

Для виділення дощового стоку використовують типову криву спаду (виснаження) загальної підземної складової стоку, яка визначається через гарантійну криву зв'язку середніх витрат води за суміжні періоди (наприклад, декаду) за відсутності значних дощових опадів.

Стік дощових вод виражається залежністю:

$$Q_0 \Delta t = f(X, E, W_1, W_2), \quad (2.7)$$

де X - кількість опадів (стокоформуєчих), які беруть участь у річковому стоці періоду завчасності прогнозу, мм;

E – випаровування з поверхні суші, мм;

W_1 - запаси води у ґрунті, мм.

В роки з м'якими зимами при наявності відлиг для періоду зимової межени тало-дощова складова залежить від інтенсивності відлиги при наявності снігу на водозборах з врахуванням водопоглинаючої здатності ґрунтів. В

цьому випадку можливе встановлення цієї складової, наприклад, через суму плюсових температур повітря і рідких опадів X за зимову відлигу, як

$$Q_{mo} \Delta t = f(\sum \Theta_+, X, W_1, W_2), \quad (2.8)$$

2.5 Методичні основи прогнозів і вигляд залежностей для прогнозу меженного стоку річок

Види прогнозів. Найбільш широкий практичний інтерес представляють такі види довгострокових прогнозів стоку (витрат та рівнів води) в періоди літньої, осінньої та зимової межени:

- прогнози сезонного (за весь період межени) стоку;
- прогнози квартального стоку та місячного припливу води у водосховища ГЕС;
- прогнози середніх та мінімальних місячних рівнів води на судноплавних річках.

Такі види прогнозів є необхідними для гідроенергетики, водного транспорту, комунального господарства при забезпеченні побутовим водопостачанням. В останній час такі прогнози потрібні для оцінки можливого забруднення річкових вод, концентрації забруднюючих речовин, у розрахунках самоочищення та розбавлення забруднених вод, а також їхньої охорони від забруднень.

Прогнози мінімальних рівнів води за місяць і всього періоду навігації випускаються для планування роботи річкового флоту. Для судноплавних річок такі прогнози необхідні для тих ділянок, де судноплавні глибини на перекатах у межень не завжди забезпечені і підтримуються через днопоглиблюванні роботи.

Основи складання прогнозів. Методичні основи довгострокових прогнозів меженного стоку витікають з закономірностей виснаження запасів води в річковому басейні. Закономірне зменшення підземного живлення під час меженного періоду обумовлює (при незначній долі поверхневого стоку)

наявність кореляційного зв'язку між попередньою витратою води в момент t_0 і витратою води в наступний період її зміни. Цю закономірність використовують для прогнозу меженного стоку чи середніх місячних витрат і рівнів води у річках.

Існують два підходи до розробки методики довгострокового прогнозу:

- 1) при вирішенні рівняння виснаження запасів води в річковому басейні;
- 2) при побудові емпіричних (статистичних) залежностей меженного стоку розглядуваного періоду (місяць, сезон, квартал) з врахуванням запасів води в річковому басейні та додаткового дощового живлення.

Можливість якісних довгострокових прогнозів літньо-осіннього стоку по початковій витраті води за рівнянням (2.3) існує для басейнів річок, де доля дощового стоку періоду завчасності прогнозу мало відчутна і не порушує кривої виснаження.

Коли дощова складова у межень суттєва, складання прогнозів з великою завчасністю (сезон, квартал, місяць) має певні обмеження у зв'язку з відсутністю метеорологічного прогнозу опадів на такий тривалий період. В цих випадках, враховуючи багатофакторність процесу формування стоку, рекомендується при розробці методики прогнозу меженного стоку використання методів математичної статистики – дискримінантного та регресійного аналізів, які дають можливість виявити сполучення факторів, що впливають на стік і оцінити значимість вкладу кожного з них на стік літньо-осіннього періоду.

Ще одним прийомом, який дає змогу оцінити долю дощового припливу в період межені – є врахування середньобогаторічних добавок витрат води за рахунок дощової складової, які додаються до прогнозних величин витрат, що отримані за рівнянням виснаження або по статистичних залежностях. Такий спосіб використовують для гірських районів і для річок степової зони недостатнього зволоження.

Для рівнинних річок лісостепової зони методи прогнозів меженного стоку дають кращі результати для літніх (липень-вересень) і зимових місяців, за

умови відсутності відлиг. Восени, а також на річках лісової зони при значній змінності опадів методи прогнозів стоку стають практично не прийнятими.

При прогнозуванні навігаційних (середніх і мінімальних) рівнів води на судноплавних річках додаткові труднощі можуть бути пов'язані з деформаційними процесами русла, які порушують зв'язок між витратами та рівнями води. Порушення закономірного виснаження стоку спостерігається й при встановленні льодоставу, особливо на великих річках, в процесі якого спостерігається різке зниження витрат води. Ефективність методики прогнозу у цих випадках знижується.

Етапи розробки методики прогнозу та загальний вигляд прогнозних залежностей меженого стоку. Розробка методики прогнозу на основі рівняння виснаження запасів води в річковій мережі в літній, осінній або зимовий період включає наступні етапи:

1. Збір, аналіз та обробка вихідної гідрометеорологічної інформації, оцінка дощової чи тало-дощової складових стоку періоду завчасності прогнозу
2. Побудова прогнозних залежностей для місячних або декадних витрат води за період межені. Такі залежності будують окремо для кожного місяця літньо-осіннього періоду, враховуючи тим самим особливості втрат води в різні місяці, які пов'язані з температурним режимом, режимом вологості, різною фазою розвитку рослинності і умовами транспірації та ін. в теплий період року.
3. Отримання параметрів прогнозної схеми в умовах конкретного водозбору річки.
4. Визначення частки дощового живлення через розрахунок стокоформуєчих опадів періоду завчасності прогнозу або введення нормальної добавки сезонного або місячного поверхневого дощового стоку. Така добавка отримується шляхом зрізки гідрографу по типовій кривій виснаження руслових запасів води, тобто як частка стоку над

гарантійною кривою стоку і осереднюються за багаторічний період спостережень.

5. Виконання оцінки ефективності та якості методики прогнозу, точності складених за методикою прогнозів по незалежних матеріалах шляхом визначення допустимої похибки прогнозів.

У теперішній час для прогнозу меженного стоку (наприклад, середніх витрат води за період часу Δt) найбільш часто використовуються залежності вигляду:

- для зони недостатнього зволоження при невеликій кількості опадів або малій змінності їх кількості у літньо-осінній період

$$Q_{t+\Delta t} = f(W_t), \quad (2.9)$$

або

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(Q_t), \quad (2.10)$$

- для зони достатнього зволоження при значних опадах у літньо-осінній період

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(W_t, X), \quad (2.11)$$

або

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(Q_t, X), \quad (2.12)$$

де $\bar{Q}_{t+\Delta t}$ – середня витрата води за період часу Δt , м³/с;

W_t - запас води в річковій мережі на дату випуску прогнозу t , м³;

Q_t - витрата води у замикаючому створі річки на дату випуску прогнозу t , м³/с;

X - кількість опадів періоду завчасності прогнозу Δt середніх витрат води, мм.

Загальний вигляд залежності, наприклад (2.9), для довгострокового прогнозу середньомісячних витрат води при незначній ролі опадів може бути представлений рівнянням прямої:

$$\bar{Q}_{t+30} = aW_t + b, \quad (2.13)$$

де a і b – параметри рівняння, які підлягають встановленню для конкретного річкового басейну [5].

Коли дощовий стік суттєвий, прогнозна залежність місячного стоку від кількості опадів, які приймають участь в його формуванні та витрати води в замикаючому створі перед початком місяця у вигляді (2.12), має такі особливості:

1. При збільшенні початкової витрати води Q_t при даній кількості опадів X ріст величини меженного стоку \bar{Q}_{t+30} уповільнюється, тобто зміна \bar{Q}_{t+30} / Q зменшується з ростом Q_t , а криві при більших витратах Q_t мають менший нахил до лінії абсцис. Такі ж тенденції зміни відмічаються й для коефіцієнту дощового стоку, який обумовлений змінами вологості ґрунтів при випадінні даного дощу.
2. При даному значенні витрати води Q_t і збільшенні кількості опадів X величина приросту меженного стоку \bar{Q}_{t+30} приблизно дорівнює величині, на яку збільшуються опади. Це пов'язано зі збільшенням коефіцієнту стоку при збільшенні опадів.
3. За умови, що перша крива побудована по нижньому краю поля точок, вона виражає зв'язок місячного стоку з початковим запасом води в русловій мережі і водомістких горизонтах, які живлять річку, і визначає гарантовану криву стоку при даних умовах водності у початковий період.

Слід зазначити, що за дату t , на яку визначаються величини W_t або Q_t , тобто дату складання прогнозу місячного стоку, приймається 20-те, 25-те чи 30(31)-те число попереднього місяця, що залежить від характеру і часу спорожнення руслової мережі басейну. Прогнози навігаційних мінімальних витрат води складаються наприкінці весняного водопілля чи на початку літа.

2.6 Прогнози стоку за даними про запаси води в русловій мережі

Теоретичною основою прогнозів стоку меженого періоду є рівняння виснаження об'єму руслових запасів води W_t , які знаходяться в річковій ємності на момент часу t .

Об'єм води в русловій системі W включає до себе запаси води (за Р.О.Нежиховським)

$$W = W_{кр} + W_{сер} + W_{м}, \quad (2.14)$$

де $W_{кр}$, $W_{сер}$, $W_{м}$ - об'єм води у крупній, середній та мілкій і найбільш мілкій русловій мережі.

Однак, на практиці кількість води в річковій мережі на момент часу t визначається як сума об'ємів води на окремих її ділянках:

$$W_t = W_{1,t} + W_{2,t} + \dots + W_{n,t} \quad (2.15)$$

де W_t - запас води в русловій мережі у момент часу t , м³;

$W_{1,t}$ - запас води на i -й ділянці розглядуваної річкової системи у момент часу t , м³;

n - кількість ділянок.

Об'єм води W_t , який відповідає певному ступеню наповнення русла, пов'язаний з витратами води в усій річковій мережі на даний момент часу.

При виснаженні руслових запасів води W_t через замикаючий створ середня витрата води в ньому формуватиметься за період максимального часу добігання водив басейні. Тоді:

$$\bar{Q}_{t+\tau_{\max}} = \frac{W_t}{\tau_{\max}}, \quad (2.16)$$

За відсутності суттєвого припливу дощових вод в період завчасності прогнозу між русловим запасом води і середньою витратою води за деякий період існує кореляційна лінійна залежність вигляду:

$$\bar{Q}_{t+\tau_{\max}} = aWt, \quad (2.17)$$

або вигляду (2.13) для середньопентадних витрат води.

Параметри рівнянь (2.13) та (2.17) відображують конкретні фізико-географічні умови даного басейну, а параметр b в рівнянні (2.13) відповідає значенню мінімальної витрати води в замикаючому створі, який обумовлений сталим підземним живленням.

Період $(t + \tau_{\max} = T)$, на який дається прогноз середньої витрати води, за рахунок повільного виснаження руслових запасів води дорівнює або перевищує спорожнення руслової мережі.

Якщо період завчасності прогнозу $T \geq \tau_{\max}$, то розрахунок W_t ведеться для всієї річкової мережі. У випадку ж коли $T \leq \tau_{\max}$ – враховуються руслові запаси W_t лише на тій частині басейну, яка обмежена ізохроною добігання води по руслах річок на рівні T діб. Наприклад, при прогнозуванні середньомісячних витрат води \bar{Q}_{t+30} по залежності:

$$\bar{Q}_{t+30} = f(W_t), \quad (2.18)$$

при $\tau_{\max} > 30$ діб, об'єм води в руслах річок W_t підраховується лише на частині водозбору, обмеженій ізохроною 30 діб.

Методи розрахунку руслових запасів води для річкової системи :

- Розрахунок руслових запасів за морфометричними даними

При наявності гідрометричній мережі об'єм води на ділянці можна визначити за формулою:

$$W_i = \frac{\omega_H + \omega_B}{2} L = \bar{\omega} L, \quad (2.19)$$

де ω_H, ω_B - площа живого перерізу відповідно у нижньому та верхньому створах;

L- довжина ділянки.

Площа водного перерізу на кожній ділянці визначається по графіку зв'язку її з рівнем води $\bar{\omega}_i = f(\bar{H}_i)$. Далі будують криву об'ємів $W_{i,t} = f(\bar{H}_{i,t})$ де $\bar{H}_{i,t}$ - середній рівень води на ділянці у момент часу t .

При відсутності спостережень морфометричні характеристики визначаються на основі моделей річкової мережі. Запропонована низка приблизно рівноцінних моделей річкової мережі.

Середня довжина потоку n-го порядку L_n дорівнює різниці середньої довжини річок n-го та (n-1)-го порядків:

$$L_n = L_n - L_{n-1} \quad (2.20)$$

Визначивши характеристики потоків та їх кількість у групі кожного порядку, можна приблизно обчислити запас води в русловій мережі n-го порядку за виразом:

$$W = l_1 \omega_1 N_1 + l_2 \omega_2 N_2 + \dots + l_n \omega_n N_n = \sum_{n=1}^S l_n \omega_n N_n, \quad (2.21)$$

Тут l_1, l_2, \dots, l_n и $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ - середні значення довжини та площі поперечного перерізу потоків від I-го до n-го порядків; N_1, N_2, \dots, N_n -

кількість потоків від I-го до n-го порядків; S - максимальний порядок потоку даної річкової мережі, тобто порядок цієї мережі.

- Розрахунок руслових запасів води за гідрометричними даними

Визначення руслових запасів на ділянках річок за наявністю гідрометричних даних можна виконувати трьома способами:

1) За рівнянням водного балансу води для ділянки річки

$$\Delta W = [Q_H - (Q_B + Q_{\text{ПР}})] \Delta t, \quad (2.22)$$

де ΔW - зміна руслових запасів води на ділянці за інтервал часу Δt ;

Q_H , Q_B , $Q_{\text{ПР}}$ - відповідно витрати води у нижньому і верхньому створі та боковий приплив.

Підсумовуючи ΔW за ряд послідовних інтервалів часу Δt , дістаємо об'єм руслових запасів води W понад початковий об'єм. Потім будується графік залежності (крива руслових запасів)

$$W = f(Q_{\text{cp}}), \quad (2.23)$$

де Q_{cp} - середня витрата води на ділянці за інтервал часу Δt .

Розрахунок середньої витрати води на ділянці ведеться в залежності від характеру ділянки, розміщення гідрометричних створів, конфігурації басейну, типу та величини бокового припливу. На безприпливній ділянці за наявністю на її кінцях гідрометричних створів середня витрата визначається так

$$Q_{\text{cp}} = \frac{Q_B + Q_H}{2}, \quad (2.24)$$

за наявністю тільки одного створу:

$$Q_{cp} = k * Q_H, \quad (2.25)$$

де k - часто дорівнює 0.5.

Уряді випадків середня витрата може визначатись як середньозважена:

$$Q_{cp} = k * Q_B + (1 - k) * Q_H, \quad (2.26)$$

За приблизною залежністю:

$$W = \bar{\tau} * Q_{cp} \quad (2.27)$$

де τ - середній час руслового добігання на розглядуваній ділянці русла;

Q_{cp} - середня витрата на ділянці.

Якщо ділянка обмежена одним створом, то об'єм води визначається за виразом

$$W_t = \frac{Q_{H,t} \bar{\tau}}{2} \quad (2.28)$$

На припливній ділянці

$$W_t = \frac{Q_H + \sum_1^m Q_{np}}{2} \bar{\tau} \quad (3.29)$$

Тут час добігання визначається як середнє арифметичне із величини часу добігання від верхніх створів до нижнього

$$\tau = \sum_1^m \tau_i / m \quad (2.30)$$

або як середнє зважене;

m - число верхніх (вхідних) створів.

2) За витратами води в замикаючому створі під час спаду повені (наводка), коли нема значного припливу з поверхні басейну та йде вичерпання руслових запасів вода. Для цих випадків справедливе співвідношення

$$(W_t - W_r) / 86400 = \sum_t^{icc} (Q_t - Q_z) \quad (2.31)$$

Тут W_t - об'єм руслових запасів у всій русловій мережі в t -добу, підраховуючи від початку спаду;

$t_{сп}$ - тривалість спаду, доба;

Q_t - середня витрата води t -у добу;

Q_r - середньодобова витрата води ґрунтового живлення за час

W_r - об'єм води в руслі за рахунок ґрунтового живлення

$$W_r = Q_r (t_{сп} - t) \quad (2.32)$$

Виконуючи ряд розрахунків за формулою (2.22), можна побудувати криву руслових запасів води у всій річковій системі

Підсумовування ΔW ведеться в зворотному напрямку в сторону ранніх дат.

Розрахунок за формулою (2.22) принципово дав дійсні запаси води у всій русловій мережі, але за відсутності припливу води зі схилів за весь період спаду паводка (повені).

3) Спосіб Р.О. Нежиховського, який поєднує при розрахунку руслових запасів води морфометричні та гідрометричні дані. За цим способом запаси води у руслі визначаються окремо для річок великих (довжиною більше ніж 100-150 км), середніх (від 10 до 100-150 км) та малих (до 10 км, включаючи водотоки у балках та ярах).

Для підрахунку запасів води в мілкій та середній русловій мережі автор використовує морфометричні характеристики - довжину та площу.

До кожної групи віднесені річки, обмежені створами, віддаленими від витоків на 10, 20 і т.д. км. Для визначення запасів води в середніх та малих річках запропонована формула

$$W_{0-100} = \frac{q_{cp}}{V_{cp}} = (0.5f_0n_0 + f_{10}n_{10} + \dots + f_{90}n_{90} + f_{100}n_{100})10^4 \quad (2.33)$$

Тут q_{cp} та V_{cp} , - осереднені по басейну модуль стоку та швидкість руху вода у руслах річок;

$n_0, n_{10}, \dots, n_{100}$ - число створів, віддалених від витоків на відстань 0, 10, ..., 100 км;

$f_0, f_{10}, \dots, f_{100}$, - середня площа водозборів для цих же градацій від витоків.

Для визначення середньої площі (ї.) водозбору запропонована залежність

$$f_i = 0.58 i^{1.78} \quad (2.34)$$

де f_i - середня площа водотоку кожної і-ої градації.

3. Теоретичні основи методу прогнозу стоку за літньо-осінній період

3.1 Закономірності і фактори меженного стоку

Під меженным стоком рівнинних річок розуміють стік літньо-осіннього і зимового періодів, коли річки отримують живлення в основному від підземних вод і лише іноді мають приток від дощів чи від танення снігу у періоди зимових відлиг.

Фактори, які мають вплив на формування стоку річок у межень є тимчасовими та постійно діючими. До тимчасових відносять кліматичні умови (кількість опадів періоду формування стоку) та підземне живлення річок.

Роль дощових опадів в стоці меженного періоду залежить від кліматичних умов тієї географічної зони, де розташований водозбір. У посушливих зонах суттєвий стік у межень практично відсутній. В зонах надмірного зволоження (наприклад, північні та північно-східні райони України), навпаки, дощові паводки на річках в період межені – явище часте, особливо восени. Однак, як в цій зоні бувають періоди тривалої відсутності дощу, коли річки переходять на підземне живлення, так і в посушливих зонах, взагалі в степовій частині території України, іноді буває дощове літо і осінь, коли поверхнева складова стоку стає значною.

Зимою, в зонах з м'яким кліматом, річки отримують додаткове живлення за рахунок дощів та танення снігу у періоди зимових відлиг (південні райони України).

Запаси підземних вод, які в основному й обумовлюють меженний стік, складаються з двох джерел вод: глибинних (напірних) та ґрунтових вод.

Доля глибинного підземного живлення обумовлена геологічною та гідрогеологічною будовою водозборів, воно достатньо стає і може бути визначено за мінімальними витратами води літньої або зимової межні.

Грунтове живлення відбувається за рахунок першого від поверхні безнапірного водоносного горизонту, має сезонні коливання, поповнення ґрунтових вод здійснюється в період весняних водопіль.

Суттєвий вплив на режим річок в межень мають й постійно діючі фізико-географічні фактори: рельєф, площа водозборів, глибина перерізу русла, наявність озер та боліт. Чим більший розмір водозбору, тим більш плавно відбуваються зміни в режимі річки. Так, в степовій зоні на великих річках дощові паводки слабо виражені, але ж на малих – вони можуть бути катастрофічно високими. Озера та болота на водозборах перерозподіляють сезонний стік, збільшуючи його у межений період.

На гірських річках Криму та Карпат дощові паводки спостерігаються значно частіше, ніж на рівнинних.

Встановлення строків початку періоду межні, тобто моменту завершення потрапляння припливу сезонних дощових та тало-дощових вод в річкову мережу залежить: на рівнинних річках від строків сходу снігу у басейні і максимального часу добігання води по руслах річок, а також від розмірів, заболоченості, залісеності басейнів; на гірських – від висотного положення водозборів і розподілу стоку протягом року (при збільшенні висоти строки закінчення весняно-літнього водопілля спостерігаються пізніше).

3.2 Фізичні основи прогнозів межнього стоку

Особливості гідрологічного режиму річок у літньо-осінній період визначається двома факторами: характером підземного живлення та поверхневим стоком дощових опадів. Взимку водність річок обумовлена в основному підземним живленням, а також припливом тало-дощових вод

при наявності зимових відлиг. Тому для прогнозу елементів водного режиму річок у меженний період необхідно встановити закономірності виснаження підземних вод та характер поверхневого стоку і, на цій основі, визначити параметри зв'язків стоку з факторами, які його визначають (з врахуванням місцевих особливостей даного водозбору).

Режим підземного живлення, особливо глибинного, має меншу змінність, ніж режим поверхневого стоку. Після закінчення суттєвого припливу весняних тало-дощових вод, тобто на спаді водопілля, стік води в річках ще деякий час формується за рахунок запасів води в русловій мережі, озерах та болотах.

У той же час відбувається повільне виснаження й сезонних запасів ґрунтових вод. При цьому витрати води в річках поступово зменшуються і за деякий час (за відсутності поверхневого припливу) досягають сталих мінімальних значень, обумовлених припливом глибинних вод. В залежності від рівня стояння ґрунтових вод, який змінюється по сезонах і з року в рік, коливаються й витрати води у межень.

При значній ролі дощових опадів, зміни у режимі меженного періоду обумовлені підйомом рівнів води і формуванням паводків на річках або підвищенням меженного стоку, особливо для великих річок.

Оцінити дощову складову меженного стоку можливо через кількість опадів і показник водо поглинаючої здатності (вологості) ґрунтів перед початком дощу. За останній може бути прийнятий початковий запас води у річковій мережі.

При цьому опади приймаються за період часу, який дорівнює максимальному часу стікання поверхневих і руслових вод в річковому басейні, тобто за період завчасності прогнозу. Іноді необхідним є врахування опадів, які потрапили на водозбір раніше строку випуску прогнозу. При цьому кількість опадів, які генетично пов'язані зі стоком розглядуваного періоду, має бути розрахована з врахуванням динаміки опадів як у часі, так і по площі водозбору.

Таким чином, фізичні основи довгострокових прогнозів річок у період межень витікають з загальних закономірностей формування стоку в цей період – повільного виснаження сезонних запасів води у річковому басейні та поверхневого припливу дощових (талих) вод. Перший фактор є основним, який взагалі визначає можливості довгострокового прогнозу меженного стоку, виходячи з вже складених умов у річковому басейні. Точність та завчасність довгострокових прогнозів знижується в умовах, коли дощова чи тала складові живлення річки у період межені доволі значні і можуть бути оцінені лише за довгостроковим синоптичним прогнозом.

3.3 Теоретична основа прогнозів меженного стоку

Об'єм літньо-осіннього меженного стоку (середня витрата води) за деякий період часу Δt , який перевищує максимальний час добігання води τ_{max} по руслах річок можна представити рівнянням:

$$Q\Delta t = Q_r \Delta t + Q_d \Delta t + W_{t_0}, \quad (3.1)$$

де $Q\Delta t$ – меженний стік за час Δt ;

$Q_r \Delta t$ і $Q_d \Delta t$ – стік річок, обумовлений відповідно припливом підземних і дощових (поталих) вод;

W_{t_0} - запас води в річковій мережі в початковий момент часу t_0 .

Для періоду зимової межені за наявності зимових відлиг дощова складова $Q_d \Delta t$ замінюється тало-дощовою $Q_{td} \Delta t$ і рівняння має вигляд:

$$Q\Delta t = Q_r \Delta t + Q_{m\partial} \Delta t + W_{t_0}, \quad (3.2)$$

На сьогодні з складових рівняння (2.1) і (2.2) з достатньою точністю можна визначити лише запас води в річковій мережі W_{t_0} (наприклад, за гідрометричними або морфометричними даними). Ця складова має суттєве значення для крупних річок з максимальним часом руслового добігання, який дорівнює або перевищує період завчасності прогнозу. За відсутності даних для розрахунку руслових запасів води, величину W_{t_0} можна приблизно оцінити через витрату води в замикаючому створі в момент часу t_0 .

Підземну та дощову складові стоку за період завчасності прогнозу визначити значно важче ніж, особливо для великих річок, де дощовий стік дуже слабо виражений W_{t_0} .

Підземне живлення, як вже говорилося, відбувається за рахунок першого від поверхні безнапірного водоносного горизонту та більш глибокого, у тому числі напірного, горизонту підземних вод, визначення яких має певні труднощі.

Дощовий приплив водиможе бути отриманий через кількість опадів, які приймають участь у формуванні стоку розглядуваного періоду $Q_{\partial} \Delta t$.

У зв'язку з цим для прогнозів меженного стоку рівняння (3.1) і (3.2) не можуть бути використані безпосередньо. Тому в практиці гідрологічних прогнозів будуються емпіричні залежності меженного стоку від факторів, які його визначають. При цьому краща якість прогнозів отримується для річок з незначною долею дощового стоку і для великих річок лісостепової і степової географічних зон.

3.4 Рівняння виснаження запасів води та визначення складових меженного стоку річок

Формування стоку в меженний період відбувається за рахунок виснаження як запасів ґрунтових вод, так і руслових запасів, які ще залишаються у річковій мережі, озерах та болотах після припинення подачі поверхневих тало-дощових вод весняного водопілля.

Спад витрат води у часі за рахунок виснаження цих запасів води можна описати рівнянням вигляду:

$$Q(t) = (Q_0 - q) \exp(-\alpha t) + q, \quad (3.3)$$

де Q_0 - витрата води в річці в початковий момент часу t_0 , м³/с;

q - базисна витрата, яка обумовлена глибоководним живленням, м³/с;

t - час в добах від моменту часу t_0 , на який приймається початкова витрата води Q_0 ;

α – параметр, який є показником інтенсивності виснаження підземних вод.

Параметри α і q залежать від гідрогеологічних умов і змінюються для різних за площею басейнів. Так, параметр α зменшується зі збільшенням площ водозборів та змінюється з року в рік у зв'язку зі змінами запасів ґрунтових вод.

Рівняння (3.3) є рівнянням виснаження запасів води в річковому басейні, яке може бути представлено графічно.

Базисний стік q не значно змінюється у часі і може бути оцінений за мінімальною витратою води у межень. Ґрунтова складова меженного стоку рівнинних річок є основною частиною підземного живлення, а його

інтенсивність значно змінюється по сезонах року і з року в рік. Так, наприкінці весни після сходу снігу ґрунтові води активного водообміну найбільш близько знаходяться від поверхні землі, а при тривалій відсутності опадів та після холодної зими – рівень їх значно знижується.

Величина ґрунтового живлення $Q_r \Delta t$ може бути отримана через непрямі показники, наприклад, через запас води у водоносних горизонтах W_1 , через запас води в русловій мережі W_{t_0} або початкову витрату води у річці Q_0 :

$$Q_r \Delta t = f(W_1), \quad (3.4)$$

$$Q_r \Delta t = f(W_{t_0}), \quad (3.5)$$

$$Q_r \Delta t = f(Q_0), \quad (3.6)$$

Для виділення дощового стоку використовують типову криву спаду (виснаження) загальної підземної складової стоку, яка визначається через гарантійну криву зв'язку середніх витрат води за суміжні періоди (наприклад, декаду) за відсутності значних дощових опадів [9].

Стік дощових вод виражається залежністю:

$$Q_0 \Delta t = f(X, E, W_1, W_2), \quad (3.7)$$

де X - кількість опадів (стокоформуєчих), які беруть участь у річковому стоці періоду завчасності прогнозу, мм;

E – випаровування з поверхні суші, мм;

W_1 - запаси води у ґрунті, мм.

В роки з м'якими зимами при наявності відлиг для періоду зимової межені тало-дощова складова залежить від інтенсивності відлиги при наявності снігу на водозборах з врахуванням водопоглинаючої здатності ґрунтів. В цьому випадку можливе встановлення цієї складової, наприклад, через суму плюсових температур повітря і рідких опадів X за зимову відлигу, як

$$Q_{mo}\Delta t = f(\sum \Theta_+, X, W_1, W_2), \quad (3.8)$$

3.5 Методичні основи прогнозів і вигляд залежностей для прогнозу меженого стоку річок

Види прогнозів. Найбільш широкий практичний інтерес представляють такі види довгострокових прогнозів стоку (витрат та рівнів води) в періоди літньої, осінньої та зимової межені:

- прогнози сезонного (за весь період межені) стоку;
- прогнози квартального стоку та місячного припливу води у водосховища ГЕС;
- прогнози середніх та мінімальних місячних рівнів води на судноплавних річках.

Такі види прогнозів є необхідними для гідроенергетики, водного транспорту, комунального господарства при забезпеченні побутовим водопостачанням. В останній час такі прогнози потрібні для оцінки можливого забруднення річкових вод, концентрації забруднюючих речовин, у розрахунках самоочищення та розбавлення забруднених вод, а також їхньої охорони від забруднень.

Прогнози мінімальних рівнів води за місяць і всього періоду навігації випускаються для планування роботи річкового флоту. Для судноплавних річок такі прогнози необхідні для тих ділянок, де судноплавні глибини на перекатах у межень не завжди забезпечені і підтримуються через днопоглиблювальні роботи.

Основи складання прогнозів. Методичні основи довгострокових прогнозів меженного стоку витікають з закономірностей виснаження запасів води в річковому басейні. Закономірне зменшення підземного живлення під час меженного періоду обумовлює (при незначній долі поверхневого стоку) наявність кореляційного зв'язку між попередньою витратою води в момент і витратою води в наступний період її зміни. Цю закономірність використовують для прогнозу меженного стоку чи середніх місячних витрат і рівнів води у річках.

Існують два підходи до розробки методики довгострокового прогнозу:

1) при вирішенні рівняння виснаження запасів води в річковому басейні;

2) при побудові емпіричних (статистичних) залежностей меженного стоку розглядуваного періоду (місяць, сезон, квартал) з врахуванням запасів води в річковому басейні та додаткового дощового живлення.

Можливість якісних довгострокових прогнозів літньо-осіннього стоку по початковій витраті води за рівнянням (3.3) існує для басейнів річок, де доля дощового стоку періоду завчасності прогнозу мало відчутна і не порушує кривої виснаження.[3]

Коли дощова складова у межень суттєва, складання прогнозів з великою завчасністю (сезон, квартал, місяць) має певні обмеження у зв'язку з відсутністю метеорологічного прогнозу опадів на такий тривалий період. В цих випадках, враховуючи багатофакторність процесу формування стоку, рекомендується при розробці методики прогнозу меженного стоку використання методів математичної статистики – дискримінантного та регресійного аналізів, які дають можливість виявити сполучення факторів, що впливають на стік і оцінити значимість вкладу кожного з них на стік літньо-осіннього періоду.

Ще одним прийомом, який дає змогу оцінити долю дощового припливу в період межені – є врахування середньобогаторічних добавок

витрат води за рахунок дощової складової, які додаються до прогнозних величин витрат, що отримані за рівнянням виснаження або по статистичних залежностях. Такий спосіб використовують для гірських районів і для річок степової зони недостатнього зволоження.

Для рівнинних річок лісостепової зони методи прогнозів меженного стоку дають кращі результати для літніх (липень-вересень) і зимових місяців, за умови відсутності відлиг. Восени, а також на річках лісової зони при значній змінності опадів методи прогнозів стоку стають практично не прийнятими.

При прогнозуванні навігаційних (середніх і мінімальних) рівнів води на судноплавних річках додаткові труднощі можуть бути пов'язані з деформаційними процесами русла, які порушують зв'язок між витратами та рівнями води. Порушення закономірного виснаження стоку спостерігається й при встановленні льодоставу, особливо на великих річках, в процесі якого спостерігається різке зниження витрат води. Ефективність методики прогнозу у цих випадках знижується.

Етапи розробки методики прогнозу та загальний вигляд прогнозних залежностей меженного стоку. Розробка методики прогнозу на основі рівняння виснаження запасів води в річковій мережі в літній, осінній або зимовий період включає наступні етапи:

1. Збір, аналіз та обробка вихідної гідрометеорологічної інформації, оцінка дощової чи тало-дощової складових стоку періоду завчасності прогнозу

2. Побудова прогнозних залежностей для місячних або декадних витрат води за період межені. Такі залежності будують окремо для кожного місяця літньо-осіннього періоду, враховуючи тим самим особливості втрат води в різні місяці, які пов'язані з температурним режимом, режимом вологості, різною фазою розвитку рослинності і умовами транспірації та ін. в теплий період року.

3. Отримання параметрів прогнозової схеми в умовах конкретного водозбору річки.

4. Визначення частки дощового живлення через розрахунок стокоформуєчих опадів періоду завчасності прогнозу або введення нормальної добавки сезонного або місячного поверхневого дощового стоку. Така добавка отримується шляхом зрізки гідрографу по типовій кривій виснаження руслових запасів води, тобто як частка стоку над гарантійною кривою стоку і осереднюються за багаторічний період спостережень.

5. Виконання оцінки ефективності та якості методики прогнозу, точності складених за методикою прогнозів по незалежних матеріалах шляхом визначення допустимої похибки прогнозів[1].

У теперішній час для прогнозу меженного стоку (наприклад, середніх витрат води за період часу Δt) найбільш часто використовуються залежності вигляду:

- для зони недостатнього зволоження при невеликій кількості опадів або малій змінності їх кількості у літньо-осінній період

$$Q_{t+\Delta t} = f(W_t), \quad (3.9)$$

або

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(Q_t), \quad (3.10)$$

- для зони достатнього зволоження при значних опадах у літньо-осінній період

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(W_t, X), \quad (3.11)$$

або

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(Q_t, X), \quad (3.12)$$

де $\bar{Q}_{t+\Delta t}$ – середня витрата води за період часу Δt , м³/с;

W_t - запас води в річковій мережі на дату випуску прогнозу t , м³;

Q_t - витрата води у замикаючому створі річки на дату випуску прогнозу t , м³/с;

- кількість опадів періоду завчасності прогнозу Δt середніх витрат води, мм.

Загальний вигляд залежності, наприклад (3.9), для довгострокового прогнозу середньомісячних витрат води при незначній ролі опадів може бути представлений рівнянням прямої:

$$\bar{Q}_{t+30} = aW_t + b, \quad (3.13)$$

де a і b – параметри рівняння, які підлягають встановленню для конкретного річкового басейну.

Коли дощовий стік суттєвий, прогнозна залежність місячного стоку від кількості опадів, які приймають участь в його формуванні та витрати води в замикаючому створі перед початком місяця у вигляді (3.12), має такі особливості:

1. При збільшенні початкової витрати води Q_t при даній кількості опадів ріст величини меженного стоку \bar{Q}_{t+30} уповільнюється, тобто зміна \bar{Q}_{t+30} / Q зменшується з ростом Q_t , а криві при більших витратах Q_t мають менший нахил до лінії абсцис. Такі ж тенденції зміни відмічаються й для коефіцієнту дощового стоку, який обумовлений змінами вологості ґрунтів при випадінні даного дощу.

2. При даному значенні витрати води Q_t і збільшенні кількості опадів величина приросту меженного стоку \bar{Q}_{t+30} приблизно дорівнює величині, на яку збільшуються опади. Це пов'язано зі збільшенням коефіцієнту стоку при збільшенні опадів.

3. За умови, що перша крива побудована по нижньому краю поля точок, вона виражає зв'язок місячного стоку з початковим запасом води в русловій мережі і водомістких горизонтах, які живлять річку, і визначає гарантовану криву стоку при даних умовах водності у початковий період.

Слід зазначити, що за дату, на яку визначаються величини W_t або Q_t , тобто дату складання прогнозу місячного стоку, приймається 20-те, 25-те чи 30(31)-те число попереднього місяця, що залежить від характеру і часу спорожнення руслової мережі басейну. Прогнози навігаційних мінімальних витрат води складаються наприкінці весняного водопілля чи на початку літа.

3.6 Прогнози стоку за даними про запаси води в русловій мережі

Теоретичною основою прогнозів стоку меженного періоду є рівняння виснаження об'єму руслових запасів води W_t , які знаходяться в річковій ємності на момент часу t .

Об'єм води в русловій системі W включає до себе запаси води (за Р.О.Нежиховським)

$$W = W_{кр} + W_{сер} + W_m, \quad (3.14)$$

де $W_{кр}$, $W_{сер}$, W_m - об'єм води у крупній, середній та мілкій і найбільш мілкій русловій мережі.

Однак, на практиці кількість води в річковій мережі на момент часу t визначається як сума об'ємів води на окремих її ділянках:

$$W_t = W_{1,t} + W_{2,t} + \dots + W_{n,t} \quad (3.15)$$

де W_t - запас води в русловій мережі у момент часу t , м³;

$W_{i,t}$ – запас води на i -й ділянці розглядуваної річкової системи у момент часу t , м³;

n – кількість ділянок.

Об'єм води W_t , який відповідає певному ступеню наповнення русла, пов'язаний з витратами води в усій річковій мережі на даний момент часу.

При виснаженні руслових запасів води W_t через замикаючий створ середня витрата води в ньому формуватиметься за період максимального часу добігання води в басейні. Тоді:

$$\bar{Q}_{t+\tau_{\max}} = \frac{W_t}{\tau_{\max}}, \quad (3.16)$$

За відсутності суттєвого припливу дощових вод в період завчасності прогнозу між русловим запасом води і середньою витратою води за деякий період існує кореляційна лінійна залежність вигляду:

$$\bar{Q}_{t+\tau_{\max}} = aWt, \quad (3.17)$$

або вигляду (2.13) для середньопентадних витрат води.

Параметри рівнянь (2.13) та (2.17) відображують конкретні фізико-географічні умови даного басейну, а параметр b в рівнянні (2.13) відповідає значенню мінімальної витрати води в замикаючому створі, який обумовлений сталим підземним живленням.

Період $(t + \tau_{\max} = T)$, на який дається прогноз середньої витрати води, за рахунок повільного виснаження руслових запасів води дорівнює або перевищує спорожнення руслової мережі.

Якщо період завчасності прогнозу $T \geq \tau_{\max}$, то розрахунок W_t ведеться для всієї річкової мережі. У випадку ж коли $T \leq \tau_{\max}$ враховуються руслові запаси W_t лише на тій частині басейну, яка обмежена ізохроною добігання води по руслах річок на рівні T діб. Наприклад, при прогнозуванні середньомісячних витрат води \bar{Q}_{t+30} по залежності:

$$\bar{Q}_{t+30} = f(W_t), \quad (3.18)$$

при $\tau_{\max} > 30$ діб, об'єм води в руслах річок W_t підраховується лише на частині водозбору, обмеженій ізохроною 30 діб.

Методи розрахунку руслових запасів води для річкової системи :

- *Розрахунок руслових запасів за морфометричними даними*

При наявності гідрометричній мережі об'єм води на ділянці можна визначити за формулою:

$$W_i = \frac{\omega_H + \omega_B}{2} L = \bar{\omega} L, \quad (3.19)$$

де ω_H, ω_B - площа живого перерізу відповідно у нижньому та верхньому створах;

L - довжина ділянки.

Площа водного перерізу на кожній ділянці визначається по графіку зв'язку її з рівнем води $\bar{\omega}_i = f(\bar{H}_i)$. Далі будують криву об'ємів $W_{i,t} = f(\bar{H}_{i,t})$ де $\bar{H}_{i,t}$ - середній рівень води на ділянці у момент часу t .

При відсутності спостережень морфометричні характеристики визначаються на основі моделей річкової мережі. Запропонована низка приблизно рівноцінних моделей річкової мережі.

Середня довжина потоку n-го порядку L_n дорівнює різниці середньої довжини річок n-го та (n-1)-го порядків:

$$L_n = L_n - L_{n-1} \quad (3.20)$$

Визначивши характеристики потоків та їх кількість у групі кожного порядку, можна приблизно обчислити запас води в русловій мережі n-го порядку за виразом:

$$W = l_1 \omega_1 N_1 + l_2 \omega_2 N_2 + \dots + l_n \omega_n N_n = \sum_{n=1}^S l_n \omega_n N_n, \quad (3.21)$$

Тут l_1, l_2, \dots, l_n и $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ - середні значення довжини та площі поперечного перерізу потоків від I-го до n-го порядків; N_1, N_2, \dots, N_n - кількість потоків від I-го до n-го порядків; S - максимальний порядок потоку даної річкової мережі, тобто порядок цієї мережі.

- *Розрахунок руслових запасів води за гідрометричними даними*

Визначення руслових запасів на ділянках річок за наявністю гідрометричних даних можна виконувати трьома способами:

- За рівнянням водного балансу води для ділянки річки

$$\Delta W = [Q_H - (Q_B + Q_{PP})] \Delta t, \quad (3.22)$$

де ΔW - зміна руслових запасів води на ділянці за інтервал часу Δt ;

Q_H, Q_B, Q_{PP} - відповідно витрати води у нижньому і верхньому створах та боковий приплив.

Підсумовуючи ΔW за ряд послідовних інтервалів часу Δt , дістаємо об'єм руслових запасів води W понад початковий об'єм. Потім будується графік залежності (крива руслових запасів)

$$W = f(Q_{cp}), \quad (3.23)$$

де Q_{cp} - середня витрата води на ділянці за інтервал часу Δt .

Розрахунок середньої витрати води на ділянці ведеться в залежності від характеру ділянки, розміщення гідрометричних створів, конфігурації басейну, типу та величини бокового припливу. На безприпливній ділянці за наявності на її кінцях гідрометричних створів середня витрата визначається так

$$Q_{cp} = \frac{Q_B + Q_H}{2}, \quad (3.24)$$

за наявності тільки одного створу:

$$Q_{cp} = k * Q_H, \quad (3.25)$$

де k - часто дорівнює 0.5.

Уряді випадків середня витрата може визначатись як середньозважена:

$$Q_{cp} = k * Q_B + (1 - k) * Q_H, \quad (3.26)$$

За приблизною залежністю:

$$W = \bar{\tau} * Q_{cp} \quad (3.27)$$

де τ - середній час руслового добігання на розглядуваній ділянці русла;
 Q_{cp} - середня витрата на ділянці.

Якщо ділянка обмежена одним створом, то об'єм води визначається за виразом

$$W_t = \frac{Q_{H,t} \bar{\tau}}{2} \quad (3.28)$$

На припливній ділянці

$$W_t = \frac{Q_H + \sum_1^m Q_{np}}{2} \bar{\tau} \quad (3.29)$$

Тут час добігання визначається як середнє арифметичне із величини часу добігання від верхніх створів до нижнього

$$\tau = \sum_1^m \tau_i / m \quad (3.30)$$

або як середнє зважене;

m - число верхніх (вхідних) створів.

- За витратами води в замикаючому створі під час спаду повені (наводка), коли нема значного припливу з поверхні басейну та йде вичерпання руслових запасів вода. Для цих випадків справедливе співвідношення

$$(W_t - W_r) / 86400 = \sum_t^{icc} (Q_t - Q_r) \quad (3.31)$$

Тут W_t - об'єм руслових запасів у всій русловій мережі в t -удобу, підраховуючи від початку спаду;

$t_{сп}$ - тривалість спаду, доба;

Q_t - середня витрата води t -у добу;

Q_r - середньодобова витрата води ґрунтового живлення за час

W_r - об'єм води в руслі за рахунок ґрунтового живлення

$$W_r = Q_r(t_{cp} - t) \quad (3.32)$$

Виконуючи ряд розрахунків за формулою (2.22), можна побудувати криву руслових запасів води у всій річковій системі

Підсумовування ΔW ведеться в зворотному напрямку в сторону ранніх дат.

Розрахунок за формулою (2.22) принципово дав дійсні запаси води у всій русловій мережі, але за відсутності припливу води зі схилів за весь період спаду паводка (повені).

- Спосіб Р.О. Нежиховського, який поєднує при розрахунку руслових запасів води морфометричні та гідрометричні дані. За цим способом запаси води у руслі визначаються окремо для річок великих (довжиною більше ніж 100-150 км), середніх (від 10 до 100-150 км) та малих (до 10 км, включаючи водотоки у балках та ярах).

Для підрахунку запасів води в мілкій та середній русловій мережі автор використовує морфометричні характеристики - довжину та площу.

До кожної групи віднесені річки, обмежені створами, віддаленими від витоків на 10, 20 і т.д. км. Для визначення запасів води в середніх та малих річках запропонована формула

$$W_{0-100} = \frac{q_{cp}}{V_{cp}} = (0.5f_0n_0 + f_{10}n_{10} + \dots + f_{90}n_{90} + f_{100}n_{100})10^4 \quad (3.33)$$

Тут q_{cp} та V_{cp} , - осереднені по басейну модуль стоку та швидкість руху вода у руслах річок;

$n_0, n_{10}, \dots, n_{100}$ - число створів, віддалених від витоків на відстань 0, 10, ..., 100 км;

$f_0, f_{10}, \dots, f_{100}$, - середня площа водозборів для цих же градацій від витоків.

Для визначення середньої площі (і.) водозбору запропонована залежність

$$f_i = 0.58 i^{1.78} \quad (3.34)$$

де f_i - середня площа водотоку кожної i -ої градації.

4. 4. Розробка методики прогнозу характеристик меженного стоку теплового періоду року в басейні р. Сіверський Донець-м.Зміїв

4.1. Аналіз вихідних даних

При розробці методики, слід приділити велику увагу вихідним даним. Данні про витрати води періоду літньо-осінньої межени були виписані з гідрологічних щорічників та за допомогою автоматизованого робочого місця гідролога (АРМГідро), за період з 2000 по 2015 рр. Вихідні дані представлені в додатку А.

4.2 Побудова прогнозної методики

По початковим даним побудовані прогностичні залежності $Q_{t+10} = f(Q_t)$ окремо для кожного місяця за весь період, рис. 1-4(додаток Б). Як видно з малюнків, розкид точок відносно осередненої лінії досить невеликий, про що свідчать межі допустимих похибок для кожного місяця.

Відповідно до «Наставлення по службе прогнозів» практична здатність методики прогнозу вирішується при встановленні ступеня її точності й ефективності.

Середнє квадратичне відхилення σ прогнозованого елемента від норми обчислюється по формулі

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}} \quad \text{або} \quad \sigma = \sqrt{\frac{(Q_t - \bar{Q})^2}{n-1}}, \quad (4.1)$$

де Δ_i – зміна прогнозної величини за період завчасності прогнозу (різниця між кінцевим та початковим значенням);

$\bar{\Delta}$ - середнє значення цих змін;

n – число членів ряду.

Розрахунки були проведені по обом формулам. Для подальших розрахунків використовувались σ розраховані за другою формулою.

Методика прогнозу може вважатися практично ефективною, якщо похибки прогнозу не перевищують допустиму похибку ($\delta_{\text{дон}}$).

Виходячи з припущення про те, що похибка будь-якого прогнозу випадкова, а розподіли похибок підпорядковуються нормальному закону, за припустиму похибку приймається ймовірне відхилення значень прогнозованого елементу (наприклад, шару стоку) від середнього у вигляді

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0,674\sigma \quad (4.2)$$

Допустимі похибки прогнозу для кожного місяця складають:

Липень: $\delta_{\text{дон}} = 4.45 \text{ м}^3/\text{с};$

Серпень: $\delta_{\text{дон}} = 4.51 \text{ м}^3/\text{с};$

Вересень: $\delta_{\text{дон}} = 3.78 \text{ м}^3/\text{с};$

Жовтень: $\delta_{\text{дон}} = 4.01 \text{ м}^3/\text{с};$

Мірою точності методики прогнозу є середня квадратична похибка перевірених прогнозів (S), яка при числі членів ряду не менше 25 обчислюється як

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q - Q_i)^2}{n}} \quad (4.3)$$

Тут Q_i і Q_i' - спостережене і передбачене значення елементу весняного водопілля, відповідно.

В нашому випадку середньоквадратична похибка перевірених прогнозів для кожного місяця:

Липень: $S = 2,81 \text{ м}^3/\text{с}$

Серпень: $S = 2,27 \text{ м}^3/\text{с}$;

Вересень: $S = 2,72 \text{ м}^3/\text{с}$;

Жовтень: $S = 2,71 \text{ м}^3/\text{с}$;

За критерій якості методики прогнозів приймається відношення середньої квадратичної похибки S до середнього квадратичного відхилення $\sigma (S/\sigma)$. Методика прогнозу є прийнятною для практики, якщо забезпеченість припустимої похибки перевірочних прогнозів не менше, ніж на 10% перевищує забезпеченість ймовірного відхилення прогнозованої величини від його норми.

Забезпеченість припустимої похибки (P) при цьому повинна складати величину порядку 60 - 80% .

Липень: $P=85\%$;

Серпень: $P=93\%$;

Вересень: $P=85\%$;

Жовтень: $P = 89\%$;

Результати виконаних розрахунків представлені у зведеній таблиці

4.1

Таблиця 4.1 – Оцінок методики прогнозу

Місяць	$S, \text{ м}^3/\text{с}$	$\sigma, \text{ м}^3/\text{с}$	S/σ	$\delta_{\text{доп}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$P\%$
Липень	2,81	6.60	0.43	4.45	85
Серпень	2,27	6.70	0,33	4.51	93
Вересень	2,72	5.60	0.48	3.78	85
Жовтень	2,70	5,95	0,45	4.01	89

Після чого було випущено 5 прогнозів з незалежних даними за липень, серпень, вересень, жовтень за 2016 рік.

Оцінка точності прогнозів, що випускаються, проводиться відповідно до допустимої похибки B в практиці гідрологічних прогнозів прийняті такі критерії оцінки:

1. Прогноз «відмінний» при похибці прогнозу, який не перевищує $0,3 \delta_{\text{доп}}$.

2.Прогноз «добрий» при помилці прогнозу від 0,31 δдоп до 0,6 δдоп.

3.Прогноз «задовільний» при помилці прогнозу від 0,61 δдоп до 1,0 δдоп.

Кожний незадовільний прогноз аналізується з вказаною причиною, які могли викликати похибку, що буде більше допустимої.

Висновки

Було проаналізовано і розроблено методику прогнозу характеристик меженного стоку теплого періоду року в басейні р. Сіверський Донець

1. Для розробки методики прогнозу середніх декадних витрат води на водозборі р. Сіверський Донець замикаючого створу м.Зміїв обрані періоди спостережень з 2000 по 2015 рр..

2. По початковим даним побудовані прогностичні залежності $Q_{t+10} = f(Q_t)$ окремо для кожного місяця за весь період. Розкид точок відносно осередненої лінії досить невеликий, про що свідчать межі допустимих похибок для кожного місяця.

3. При оцінці методик можна дійти висновку, що методика є доброю оскільки критерієм якості та ефективності методики є відношення S/σ . Для розробки методик прогнозу для басейну р. Сіверський Донець відношення S/σ для липня складає 0,43, серпня S/σ - 0,33, вересня S/σ - 0,48, жовтня S/σ - 0,45.

Також оцінюється забезпеченість методики (забезпеченість допустимої похибки), під якою розуміють кількість випадків – прогнозів, які є справджуваними, від загальної кількості складених прогнозів, у відсотках. Всі результати розрахунків знаходяться у додатках А та Б. За якими можна спостерігати, що данні методики можуть використовуватися на практиці.

За отриманими даними було випущено 5 прогнозів. Отримані результати показують, що прогнози отримали оцінку «відміно» та «добре». А отже прогноз вважається справджуваним.

Список використаних джерел

1. Ресурсы поверхностных вод СССР, Том 6, Украина и Молдавия, Среднее и Нижнее Приднепровье. Ленинград Гидрометиздат. 518с.
2. Атлас України / кер. проекту Л.Г. Руденко, В.С. Чабанюк, А.І. Бочковська/Інститут географії Національної академії наук України і Товариство з обмеженою відповідальністю «Інтелектуальні системи ГЕО», Інтелектуальні Системи ГЕО, 1999–2000. URL: <http://www.isgeo.kiev.ua>.
3. Вишневецький В.І., Косоєць О.О. Гідрологічні характеристики річок України. – Київ Ніка-Центр. – 2003. 324 с.
4. Клімат України / За ред. В.М.Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – Київ: Вид-но Раєвського, 2003. 343 с.
5. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В.Гребінь. – Київ Ніка-Центр, 2010. 316 с.
6. Шакірманова Ж.Р. Довгострокові гідрологічні прогнози: Конспект лекцій. Одеса: Видавництво ТЕС, 2010. 154 с.
7. Методичні вказівки «Гідрологічні прогнози»/Укладачі: Сербов М.Г., Шакірманова Ж.Р. Одеса, ОДЕКУ, 2004, с. 65.
8. Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы. Учебник. – СПб., изд. РГГМУ, 2007. 436 с.
9. Апполов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов : Учебник.- Ленинград Гидрометиздат, 1974. 410с.
10. Бефани Н.Ф., Калинин Г.П., Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам.: Учебное пособие.- Ленинград Гидрометиздат, 1983. 390с.
11. Наставление по службе прогнозов.- Ленинград Гидрометиздат, 1962. с. 252, 292.
12. Руководство по гидрологической практике. Сбор и обработка данных, анализ, прогнозирование и другие применения. Всемирная Метеорологическая Организация, 1994. с 844.

Додатки

Додаток А

Таблиця А1 - Розрахунків допустимих похибок прогнозів середньо декадних витрат води р.Сіверський
Донець-Зміїв та оцінка за липень

Рік	Дата ,t	Qз, м ³ /с	Період , t+10	Витр ати води , Qt+1 0	Q` м ³ /с	Qt+ 10- Q`	(Qt+1 0-Q') ²	Qt+10 -Qcp	(Qt+1 0- Qcp) ²	Δ	Δi- Δcp	(Δi- Δcp) ²
2000	30.и юн	29,6	01- 10,07	31,8	29,58	2,22	4,92	4,17	17,10	0,50	0,26	0,07
	10.и юл	31,8	11- 20,07	31,3	31,75	- 0,45	0,21	3,67	13,10	- 6,10	- 6,34	40,15
	20.и юл	31,9	21- 31,07	37,4	31,85	5,55	30,79	9,77	4,40	- 5,70	- 5,94	35,24
2001	30.и юн	48,1	01- 10,07	43,1	47,84	- 4,74	22,46	15,47	26,80	7,60	7,36	54,23
	10.и юл	35,6	11- 20,07	35,5	35,50	0,00	0,00	7,87	1,30	4,50	4,26	18,18
	20.и юл	34,2	21- 31,07	31	34,12	- 3,12	9,74	3,37	11,10	9,40	9,16	83,98
2002	30.и юн	24,3	01- 10,07	21,6	24,35	- 2,75	7,57	-6,03	5,20	- 4,40	- 4,64	21,49
	10.и юл	21,2	11- 20,07	26	21,29	4,71	22,17	-1,63	2,10	0,20	0,04	0,00
	20.и юл	25,8	21- 31,07	25,8	25,83	- 0,03	0,00	-1,83	3,10	- 11,2	- 11,4	130,79
2003	30.и юн	36,6	01- 10,07	37	36,49	0,51	0,26	9,37	27,30	- 6,50	- 6,74	45,38
	10.и юл	37,5	11- 20,07	43,5	37,38	6,12	37,48	15,87	7,90	- 16,8	- 17,0	290,23
	20.и юл	54,2	21- 31,07	60,3	53,86	6,44	41,48	32,67	2,12	23,7 0	23,4 6	550,55
2004	30.и юн	35,7	01- 10,07	36,6	35,60	1,00	1,00	8,97	20,30	- 2,60	- 2,84	8,04
	10.и юл	36,4	11- 20,07	39,2	36,29	2,91	8,45	11,57	12,50	1,50	1,26	1,60
	20.и юл	41,6	21- 31,07	37,7	41,42	- 3,72	13,87	10,07	10,40	- 0,90	- 1,14	1,29
2005	30.и юн	40,1	01- 10,07	38,6	39,94	- 1,34	1,81	10,97	29,40	0,10	0,14	0,02
	10.и юл	42,2	11- 20,07	38,5	42,02	- 3,52	12,37	10,87	27,40	1,50	1,26	1,60
	20.и юл	35,6	21- 31,07	37	35,50	1,50	2,24	9,37	27,30	8,00	7,76	60,28
2006	30.и юн	33,5	01- 10,07	29	33,43	- 4,43	19,63	1,37	1,10	4,40	4,16	17,34
	10.и юл	26,5	11- 20,07	24,6	26,52	- 1,92	3,70	-3,03	9,10	2,40	2,16	4,68
	20.и юл	24,8	21- 31,07	22,2	24,84	- 2,64	6,99	-5,43	29,10	- 7,90	- 8,14	66,20
2007	30.и юн	29,6	01- 10,07	30,1	29,58	0,52	0,27	2,47	6,10	2,70	2,46	6,07
	10.и юл	28,9	11- 20,07	27,4	28,89	- 1,49	2,22	-0,23	0,10	3,20	2,96	8,78
	20.и	25,1	21-	24,2	25,14	-	0,89	-3,43	11,10	5,90	5,66	32,08

Таблиця А2 - Розрахунків допустимих похибок прогнозів середньо декадних витрат води р.Сіверський
Донець-Зміїв та оцінка за серпень

Рік	Дата, t	Q ₃ , М ³ / /с	Періо д, t+10	Витрат и води, Qt+10	Q' М ³ / /с	Qt+1 0-Q'	(Qt+1 0-Q') ²	Qt+1 0-Q _{ср}	(Qt+1 0- Q _{ср}) ²	Δ	Δi- Δср	(Δi- Δср) ²
200 0	31.ию л	42, 9	01- 10,08	37	40,5 5	-3,55	12,60	12,12	146,86	7,70	7,26	52,67
	10.авг	33, 2	11- 20,08	29,3	31,7 4	-2,44	5,95	4,42	19,53	3,10	2,66	7,06
	20.авг	27, 9	21- 31,08	26,2	26,9 3	-0,73	0,53	1,32	1,74	- 3,20	- 3,64	13,27
200 1	31.ию л	29, 6	01- 10,08	29,4	28,4 7	0,93	0,86	4,52	20,42	3,10	2,66	7,06
	10.авг	28, 4	11- 20,08	26,3	27,3 8	-1,08	1,17	1,42	2,01	- 2,20	- 2,64	6,98
	20.авг	24, 3	21- 31,08	28,5	23,6 6	4,84	23,46	3,62	13,10	5,10	4,66	21,69
200 2	31.ию л	26	01- 10,08	23,4	25,2 0	-1,80	3,24	-1,48	2,19	0,90	0,46	0,21
	10.авг	23, 3	11- 20,08	22,5	22,7 5	-0,25	0,06	-2,38	5,67	- 2,10	- 2,54	6,46
	20.авг	23, 2	21- 31,08	24,6	22,6 6	1,94	3,77	-0,28	0,08	- 35,0 0	- 35,4 4	1256,1 7
200 3	31.ию л	53, 7	01- 10,08	59,6	50,3 6	9,24	85,41	34,72	1205,3 9	2,70	2,26	5,10
	10.авг	64	11- 20,08	56,9	59,7 1	-2,81	7,91	32,02	1025,2 0	9,30	8,86	78,45
	20.авг	52, 7	21- 31,08	47,6	49,4 5	-1,85	3,42	22,72	516,14	15,5 0	15,0 6	226,73
200 4	31.ию л	34, 5	01- 10,08	32,1	32,9 2	-0,82	0,67	7,22	52,11	- 0,70	- 1,14	1,31
	10.авг	31, 8	11- 20,08	32,8	30,4 7	2,33	5,44	7,92	62,71	2,00	1,56	2,43
	20.авг	31, 6	21- 31,08	30,8	30,2 9	0,51	0,26	5,92	35,03	- 6,10	- 6,54	42,81
200 5	31.ию л	39, 5	01- 10,08	36,9	37,4 6	-0,56	0,32	12,02	144,45	1,20	0,76	0,57
	10.авг	34, 1	11- 20,08	35,7	32,5 6	3,14	9,88	10,82	117,05	2,30	1,86	3,45
	20.авг	36, 2	21- 31,08	33,4	34,4 6	-1,07	1,13	8,52	72,57	14,3 0	13,8 6	192,03
200 6	31.ию л	20	01- 10,08	19,1	19,7 5	-0,65	0,42	-5,78	33,42	1,10	0,66	0,43
	10.авг	18, 3	11- 20,08	18	18,2 1	-0,21	0,04	-6,88	47,35	- 1,70	- 2,14	4,59
	20.авг	18, 4	21- 31,08	19,7	18,3 0	1,40	1,96	-5,18	26,85	- 3,00	- 3,44	11,85
200 7	31.ию л	23, 9	01- 10,08	22,7	23,2 9	-0,59	0,35	-2,18	4,76	1,20	0,76	0,57
	10.авг	22, 1	11- 20,08	21,5	21,6 6	-0,16	0,03	-3,38	11,43	0,80	0,36	0,13
	20.авг	21, 7	21- 31,08	20,7	21,3 0	-0,60	0,35	-4,18	17,48	- 3,20	- 3,64	13,27

2008	31.июл	22,8	01-10,08	23,9	22,29	1,61	2,58	-0,98	0,96	2,70	2,26	5,10	
	10.авг	25	11-20,08	21,2	24,29	-3,09	9,56	-3,68	13,55	3,20	2,76	7,60	
	20.авг	18,7	21-31,08	18	18,57	-0,57	0,33	-6,88	47,35	-1,60	-2,04	4,17	
2009	31.июл	19	01-10,08	19,6	18,84	0,76	0,57	-5,28	27,89	-1,40	-1,84	3,40	
	10.авг	20,4	11-20,08	21	20,11	0,89	0,78	-3,88	15,06	-0,60	-1,04	1,09	
	20.авг	20,7	21-31,08	21,6	20,39	1,21	1,47	-3,28	10,77	1,50	1,06	1,12	
2010	31.июл	21,6	01-10,08	20,1	21,20	-1,11	1,22	-4,78	22,86	1,80	1,36	1,84	
	10.авг	18,7	11-20,08	18,3	18,57	-0,27	0,07	-6,58	43,31	0,20	0,24	0,06	
	20.авг	18	21-31,08	18,1	17,94	0,17	0,03	-6,78	45,99	-1,70	-2,14	4,59	
2011	31.июл	21,5	01-10,08	19,8	21,11	-1,31	1,73	-5,08	25,82	2,60	2,16	4,65	
	10.авг	18,1	11-20,08	17,2	18,03	-0,83	0,68	-7,68	59,00	-1,50	-1,94	3,77	
	20.авг	17,4	21-31,08	18,7	17,39	1,31	1,72	-6,18	38,21	5,00	4,56	20,77	
2012	31.июл	12,6	01-10,08	13,7	13,03	0,67	0,45	-11,18	125,02	-2,90	-3,34	11,17	
	10.авг	15,8	11-20,08	16,6	15,94	0,66	0,44	-8,28	68,58	-3,10	-3,54	12,55	
	20.авг	16,9	21-31,08	19,7	16,94	2,76	7,64	-5,18	26,85	-0,90	-1,34	1,80	
2013	31.июл	25	01-10,08	20,6	24,29	-3,69	13,64	-4,28	18,33	0,60	0,16	0,02	
	10.авг	21,6	11-20,08	20	21,20	-1,21	1,45	-4,88	23,83	0,50	0,06	0,00	
	20.авг	20	21-31,08	19,5	19,75	-0,25	0,06	-5,38	28,96	0,40	0,04	0,00	
2014	31.июл	19,2	01-10,08	19,1	19,03	0,08	0,01	-5,78	33,42	0,30	0,14	0,02	
	10.авг	19,5	11-20,08	18,8	19,30	-0,50	0,25	-6,08	36,98	0,10	0,34	0,12	
	20.авг	18,3	21-31,08	18,7	18,21	0,49	0,24	-6,18	38,21	-2,40	-2,84	8,08	
2015	31.июл	22,2	01-10,08	21,1	21,75	-0,65	0,42	-3,78	14,30	3,00	2,56	6,54	
	10.авг	17,2	11-20,08	18,1	17,21	0,89	0,79	-6,78	45,99	1,90	1,46	2,12	
	20.авг	19,6	21-31,08	16,2	19,39	-3,19	10,17	-8,68	75,36	0,44		2055,89	
				24,9					225,54			4470,13	44,69
									2,18			9,85	6,69
													4,51

Таблиця А3 - Розрахунків допустимих похибок прогнозів середньо декадних витрат води р.Сіверський
Донець-Зміїв та оцінка за вересень

Рік	Дата, t	Qz, М ³ /с	Період, t+10	Витрат и води, Qt+10	Q' М ³ /с	Qt+1 0-Q'	(Qt+1 0-Q') ²	Qt+1 0- Qcp	(Qt+1 0- Qcp) ²	Δ	Δi- Δcp	(Δi- Δcp) 2
2000	31.ав г	25, 2	01.10.20 09	29,3	24,4 7	4,83	23,29	2,59	6,73	- 10,9 0	- 11,1 7	124,87
	10.се н	34, 7	11-20.09	40,2	33,1 0	7,10	50,38	13,49	182,08	- 7,30	- 7,57	57,37
	20.се н	40, 8	21-31.09	47,5	38,6 4	8,86	78,46	20,79	432,38	16,0 0	15,7 3	247,29
2001	31.ав г	31, 5	01.10.20 09	31,5	30,2 0	1,30	1,70	4,79	22,98	- 0,80	- 1,07	1,15
	10.се н	32, 2	11-20.09	32,3	30,8 3	1,47	2,16	5,59	31,29	0,70	0,43	0,18
	20.се н	30, 1	21-31.09	31,6	28,9 2	2,68	7,16	4,89	23,95	6,10	5,83	33,94
2002	31.ав г	26	01.10.20 09	25,5	25,2 0	0,30	0,09	-1,21	1,46	- 7,90	- 8,17	66,82
	10.се н	26, 5	11-20.09	33,4	25,6 6	7,75	59,99	6,69	44,81	- 1,40	- 1,67	2,80
	20.се н	37, 1	21-31.09	34,8	35,2 8	-0,48	0,23	8,09	65,51	- 4,40	- 4,67	21,85
2003	31.ав г	44, 6	01.10.20 09	39,2	42,0 9	-2,89	8,37	12,49	156,09	6,20	5,93	35,11
	10.се н	33, 2	11-20.09	33	31,7 4	1,26	1,59	6,29	39,61	1,10	0,83	0,68
	20.се н	34, 3	21-31.09	31,9	32,7 4	-0,84	0,70	5,19	26,98	2,50	2,23	4,95
2004	31.ав г	30, 3	01.10.20 09	29,4	29,1 1	0,29	0,09	2,69	7,26	- 1,60	- 1,87	3,51
	10.се н	29, 6	11-20.09	31	28,4 7	2,53	6,40	4,29	18,44	- 3,70	- 3,97	15,80
	20.се н	31, 6	21-31.09	34,7	30,2 9	4,41	19,48	7,99	63,90	2,10	1,83	3,33
2005	31.ав г	32, 4	01.10.20 09	32,6	31,0 1	1,59	2,52	5,89	34,74	- 0,40	- 0,67	0,45
	10.се н	34, 4	11-20.09	33	32,8 3	0,17	0,03	6,29	39,61	2,10	1,83	3,33
	20.се н	31, 2	21-31.09	30,9	29,9 2	0,98	0,95	4,19	17,59	5,90	5,63	31,65
2006	31.ав г	21, 2	01.10.20 09	25	20,8 4	4,16	17,29	-1,71	2,91	- 5,90	- 6,17	38,12
	10.се н	30, 6	11-20.09	30,9	29,3 8	1,52	2,31	4,19	17,59	2,20	1,93	3,71
	20.се н	29, 3	21-31.09	28,7	28,2 0	0,50	0,25	1,99	3,98	5,60	5,33	28,36
2007	31.ав г	20, 8	01.10.20 09	23,1	20,4 8	2,62	6,87	-3,61	13,01	- 4,50	- 4,77	22,80
	10.се н	26	11-20.09	27,6	25,2 0	2,40	5,76	0,89	0,80	- 6,50	- 6,77	45,89
	20.се	28,	21-31.09	34,1	27,2	6,90	47,62	7,39	54,67	14,3	14,0	196,72

Таблиця А1 - Розрахунків допустимих похибок прогнозів середньо декадних витрат води р.Сіверський
Донець-Зміїв та оцінка за жовтень

Рік	Дата, t	Qз, М ³ /с	Період, t+10	Витрат и води, Qt+10	Q' М ³ /с	Qt+1 0-Q'	(Qt+1 0-Q') ²	Qt+1 0-Qcp	(Qt+1 0-Qcp) ²	Δ	Δi- Δcp	(Δi- Δcp) ²
2000	30.се н	47, 8	01.10.20 10	45,20	47,1 2	-1,92	3,70	12,95	167,59	3,30	2,71	7,37
	10.ок т	43, 2	11-20.10	41,90	42,9 5	-1,05	1,10	9,65	93,04	3,10	2,51	6,32
	20.ок т	40, 1	21-31.10	38,80	40,1 3	-1,33	1,78	6,55	42,85	6,80	6,21	38,62
2001	30.се н	32, 9	01.10.20 10	32,00	33,6 0	-1,60	2,56	-0,25	0,06	1,10	0,51	0,27
	10.ок т	32, 9	11-20.10	30,90	33,6 0	-2,70	7,30	-1,35	1,83	- 0,70	- 1,29	1,65
	20.ок т	30, 7	21-31.10	31,60	31,6 0	0,00	0,00	-0,65	0,43	- 3,60	- 4,19	17,52
2002	30.се н	36, 5	01.10.20 10	35,20	36,8 7	-1,67	2,78	2,95	8,68	3,90	3,31	10,99
	10.ок т	35, 4	11-20.10	31,30	35,8 7	-4,57	20,88	-0,95	0,91	- 2,20	- 2,79	7,76
	20.ок т	29	21-31.10	33,50	30,0 6	3,44	11,82	1,25	1,55	0,70	0,11	0,01
2003	30.се н	30, 7	01.10.20 10	32,80	31,6 0	1,20	1,43	0,55	0,30	- 2,30	- 2,89	8,32
	10.ок т	35, 5	11-20.10	35,10	35,9 6	-0,86	0,74	2,85	8,10	- 7,90	- 8,49	72,00
	20.ок т	35, 5	21-31.10	43,00	35,9 6	7,04	49,56	10,75	115,47	2,70	2,11	4,47
2004	30.се н	37, 4	01.10.20 10	40,30	37,6 8	2,62	6,84	8,05	64,74	-9,5	- 10,0	101,71
	10.ок т	41, 9	11-20.10	49,80	41,7 7	8,03	64,51	17,55	307,86	2,20	1,61	2,61
	20.ок т	52, 3	21-31.10	47,60	51,2 1	-3,61	13,01	15,35	235,49	17,8 0	17,2 1	296,35
2005	30.се н	30, 7	01.10.20 10	29,80	31,6 0	-1,80	3,26	-2,45	6,02	- 2,40	- 2,99	8,91
	10.ок т	28, 4	11-20.10	32,20	29,5 2	2,68	7,20	-0,05	0,00	- 4,10	- 4,69	21,95
	20.ок т	36, 8	21-31.10	36,30	37,1 4	-0,84	0,71	4,05	16,37	2,80	2,21	4,91
2006	30.се н	29, 9	01.10.20 10	33,50	30,8 8	2,62	6,87	1,25	1,55	- 2,60	- 3,19	10,14
	10.ок т	35, 3	11-20.10	36,10	35,7 8	0,32	0,10	3,85	14,79	- 0,80	- 1,39	1,92
	20.ок т	36, 8	21-31.10	36,90	37,1 4	-0,24	0,06	4,65	21,58	- 0,60	- 1,19	1,40

2007	30.сеч	37,1	01.10.2010	37,50	37,41	0,09	0,01	5,25	27,52	-4,60	-5,19	26,89	
	10.окт	41,1	11-20.10	42,10	41,04	1,06	1,12	9,85	96,94	4,40	3,81	14,55	
	20.окт	39,6	21-31.10	37,70	39,68	-1,98	3,93	5,45	29,66	11,80	11,21	125,77	
2008	30.сеч	23,1	01.10.2010	25,90	24,71	1,19	1,42	-6,35	40,38	-4,00	-4,59	21,02	
	10.окт	28,9	11-20.10	29,90	29,97	-0,07	0,01	-2,35	5,54	1,40	0,81	0,66	
	20.окт	28,6	21-31.10	28,50	29,70	-1,20	1,44	-3,75	14,09	4,20	3,61	13,07	
2009	30.сеч	24,4	01.10.2010	24,30	25,89	-1,59	2,52	-7,95	63,27	-3,10	-3,69	13,58	
	10.окт	25,2	11-20.10	27,40	26,61	0,79	0,62	-4,85	23,56	-2,70	-3,29	10,79	
	20.окт	27,2	21-31.10	30,10	28,43	1,67	2,79	-2,15	4,64	-0,30	0,89	0,78	
2010	30.сеч	23,9	01.10.2010	30,40	25,43	4,97	24,67	-1,85	3,44	-1,10	-1,69	2,84	
	10.окт	30,1	11-20.10	31,50	31,06	0,44	0,19	-0,75	0,57	-3,80	-4,39	19,23	
	20.окт	32,8	21-31.10	35,30	33,51	1,79	3,20	3,05	9,28	15,40	14,81	219,48	
2011	30.сеч	18,6	01.10.2010	19,90	20,62	-0,72	0,52	-12,35	152,63	-1,80	-2,39	5,69	
	10.окт	20,8	11-20.10	21,70	22,62	-0,92	0,85	-10,55	111,39	-4,90	-5,49	30,09	
	20.окт	24,4	21-31.10	26,60	25,89	0,71	0,51	-5,65	31,97	4,10	3,51	12,35	
2012	30.сеч	21,1	01.10.2010	22,50	22,89	-0,39	0,15	-9,75	95,14	-7,10	-7,69	59,06	
	10.окт	25,6	11-20.10	29,60	26,98	2,62	6,88	-2,65	7,04	-0,70	-1,29	1,65	
	20.окт	32,5	21-31.10	30,30	33,24	-2,94	8,63	-1,95	3,82	-4,50	-5,09	25,86	
2013	30.сеч	36,6	01.10.2010	34,80	36,96	-2,16	4,66	2,55	6,48	-1,50	-2,09	4,35	
	10.окт	34,7	11-20.10	36,30	35,23	1,07	1,14	4,05	16,37	-6,30	-6,89	47,40	
	20.окт	41	21-31.10	42,60	40,95	1,65	2,72	10,35	107,04	17,30	16,71	279,39	
2014	30.сеч	27	01.10.2010	25,30	28,25	-2,95	8,68	-6,95	48,36	-0,90	-1,49	2,21	
	10.окт	24,8	11-20.10	26,20	26,25	-0,05	0,00	-6,05	36,65	0,60	0,01	0,00	
	20.окт	27,8	21-31.10	25,60	28,97	-3,37	11,38	-6,65	44,28	8,50	7,91	62,65	
2015	30.сеч	16,7	01.10.2010	17,10	18,90	-1,80	3,24	-15,15	229,65	-0,50	-1,09	1,18	
	10.окт	17,7	11-20.10	17,60	19,81	-2,21	4,87	-14,65	214,74	-0,10	-0,69	0,47	
	20.окт	17	21-31.10	17,70	19,17	-1,47	2,17	-14,55	211,82	0,59		1626,22	
				32,30					304,50			2745,50	35,35
									2,54			7,72	5,95

Додаток Б

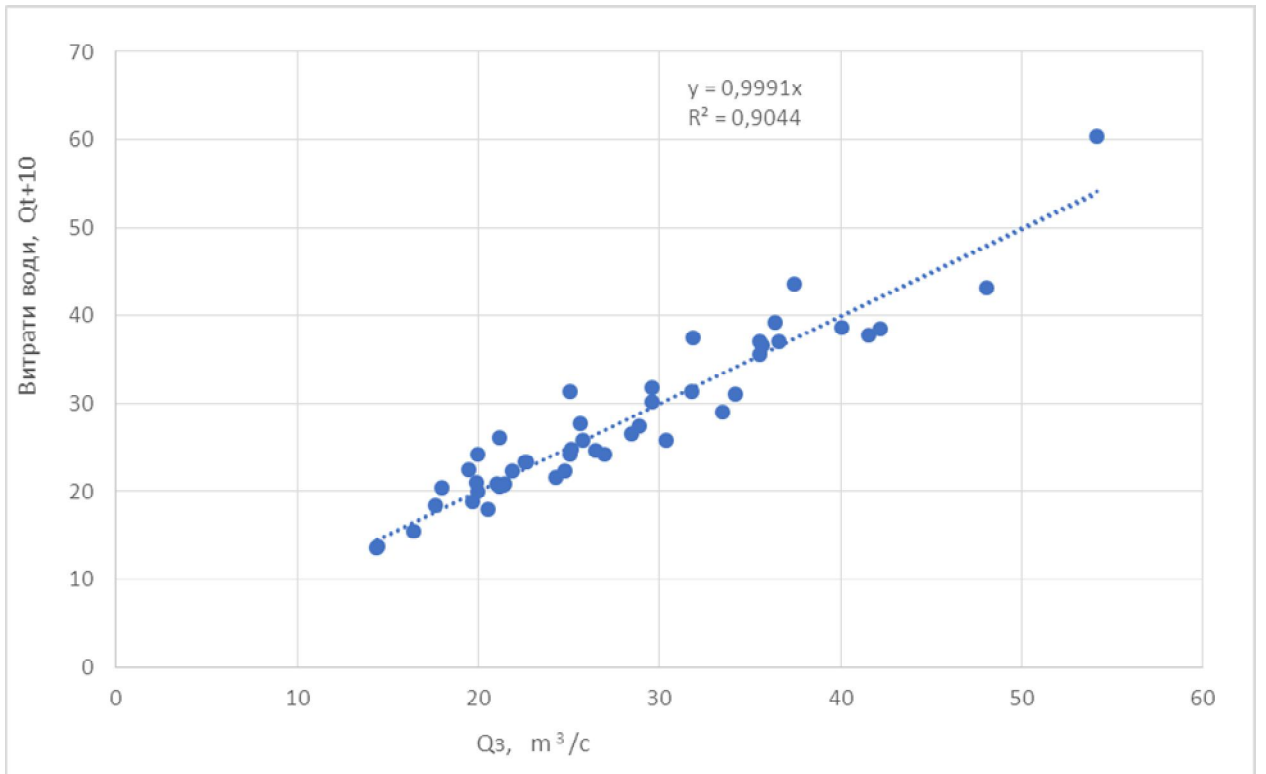


Рис. 1. Графікпохибок прогнозів середньо декадних витрат води р.Сіверський Донець-Зміїв та оцінка за липень

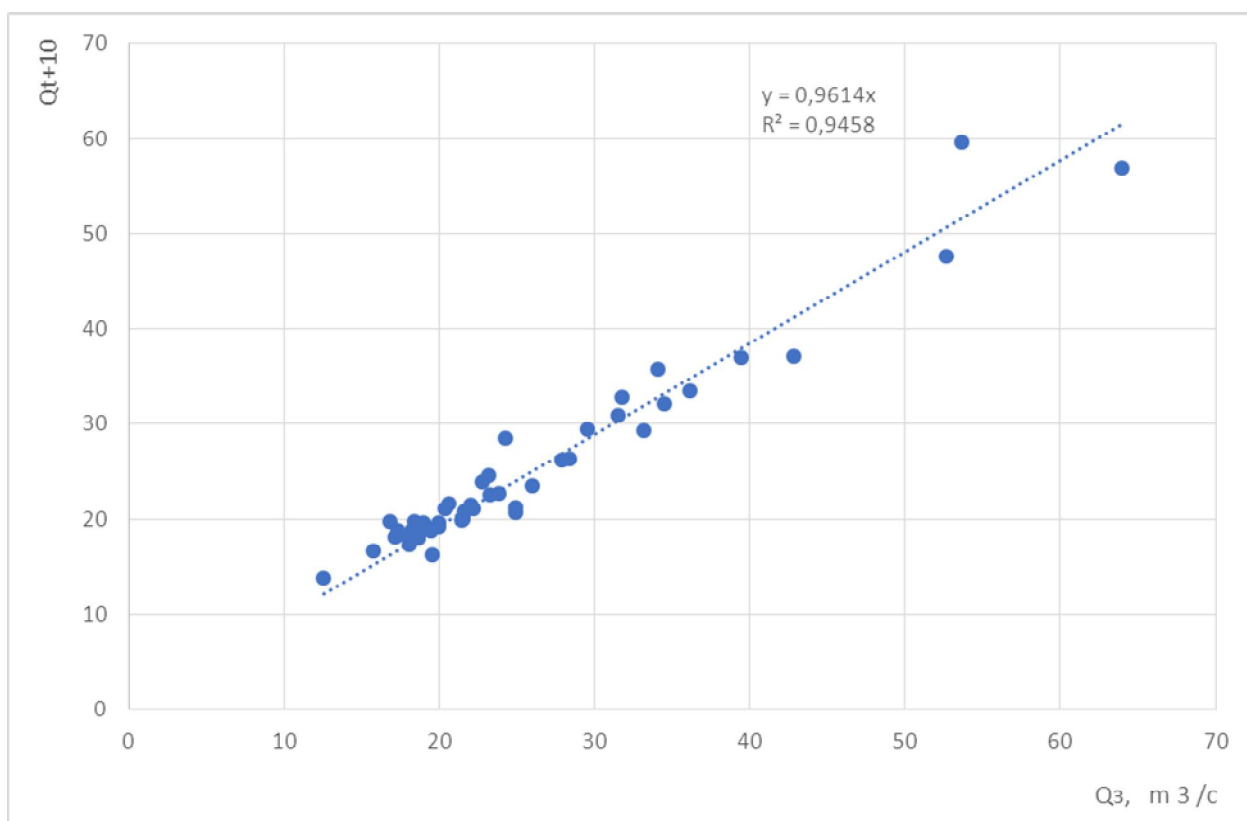


Рис. 2. Графікпохибок прогнозів середньо декадних витрат води р.Сіверський Донець-Зміїв та оцінка за серпень

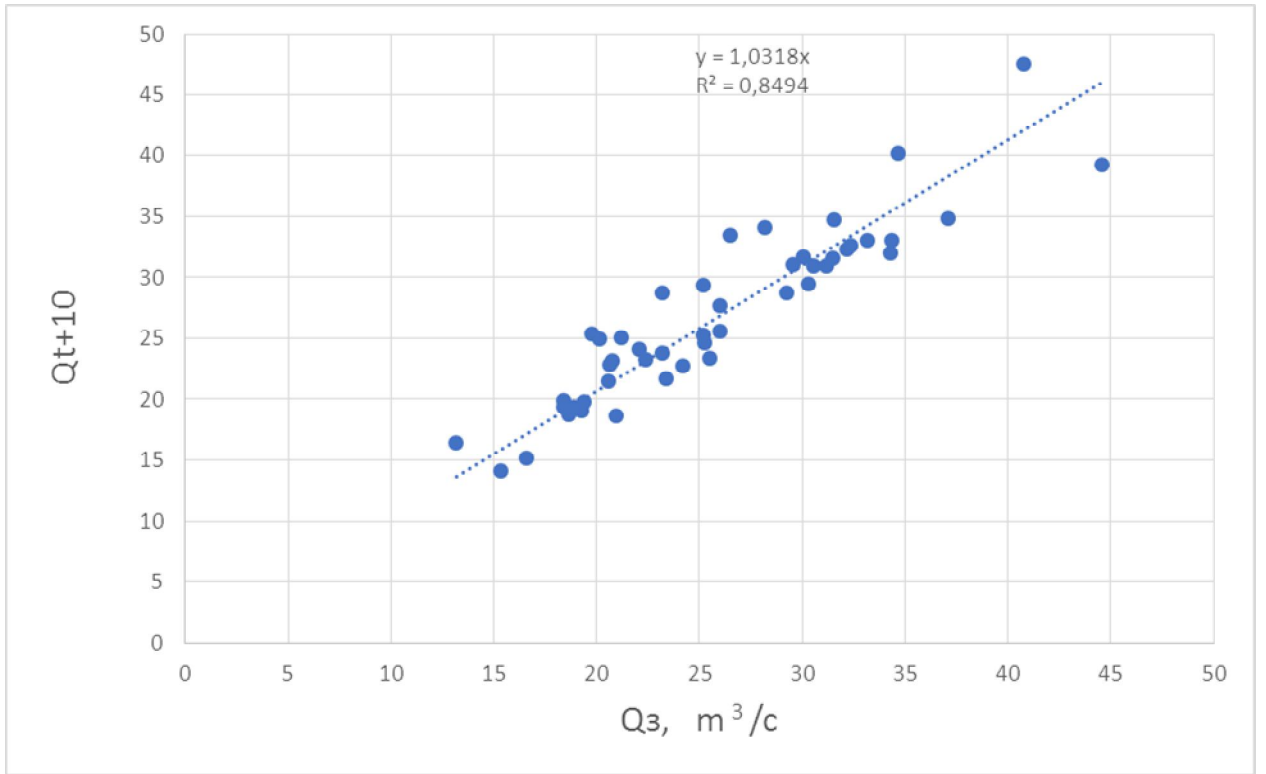


Рис. 3. Графікпохибок прогнозів середньо декадних витрат води р.Сіверський Донець-Зміїв та оцінка за вересень

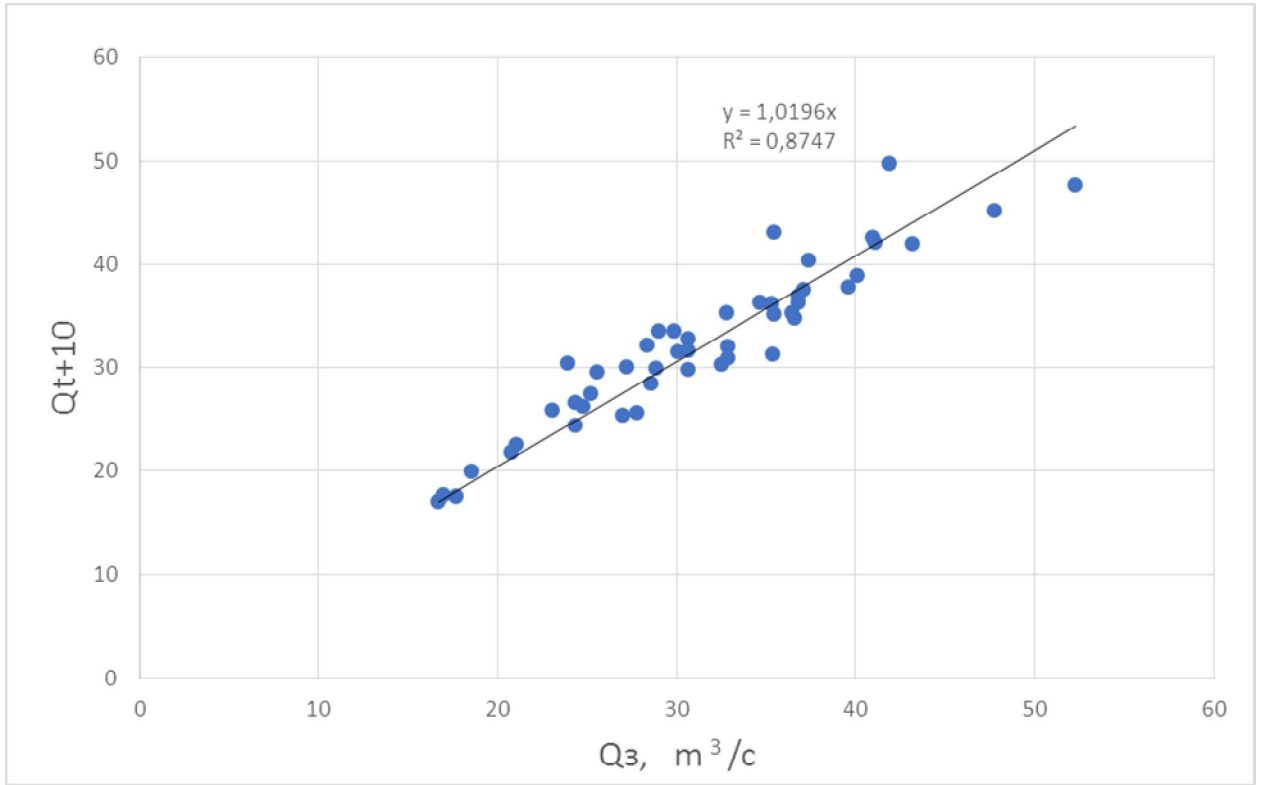


Рис. 4. Графікпохибок прогнозів середньо декадних витрат води р.Сіверський Донець-Зміїв та оцінка за жовтень

Qз, м³/с

Графік похибок прогнозів середньо декадних витрат
води р.Сіверський Донець-Зміїв та оцінка за весь
період

