

УДК 504.453

Галік О. І., к.с.-г.н., Стріха В. А., к.т.н., Леошек О. М., студент
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

АНАЛІЗ КОЛИВАНЬ ЕЛЕМЕНТІВ КЛІМАТОТВОРНИХ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО- ТА ВОЛОГООБІГУ ЗА ДАНИМИ ДЕЯКИХ ПУНКТІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ РІЗНИХ АГРОКЛІМАТИЧНИХ ЗОН УКРАЇНИ

За допомогою різницевих інтегральних кривих проведено аналіз синхронності та циклічності річних значень температури і вологості повітря та атмосферних опадів.

Ключові слова: інтегральна крива, температура, дефіцит вологості повітря; атмосферні опади.

Вступ. Для ефективного функціонування водного господарства України виникає потреба в оцінках змін зволоження територій, змін водного режиму поверхневих вод, змін у споживанні води для розробки заходів з адаптації до наслідків сучасного потепління клімату (останнє десятиліття ХХ ст. та початок ХХІ ст. виявилися найбільш теплими за період інструментальних спостережень). Масштаби та ефективність адаптаційних заходів в даній галузі безпосередньо залежать від результатів аналізу регіональних змін клімату. Сучасні методи інтерпретації потепління клімату базуються на порівнянні змін, які спостерігаються за даними інструментальних спостережень з результатами розрахунків змін за моделями загальної (спільної) циркуляції атмосфери і океану (модельні розрахунки). На сьогодні ступінь довіри до усіх методів при регіональних оцінках кліматичних змін залишається невисокою внаслідок неузгодженості модельних розрахунків з даними спостережень. В результаті виникає невизначеність прогнозів регіональних змін клімату, які складені на основі модельних розрахунків.

Аналіз останніх досліджень. Результати ретроспективного порівняння кліматичної мінливості і трендів елементів теплообігу (середня за рік та сезони температура повітря, °С) та вологообігу (середні за рік та сезони атмосферні опади, мм/міс) за період 1961-2005 рр., для європейської частини Росії та території України [1, 2] дозволяють зробити цілий ряд висновків.

Модельні розрахунки виконують для достатньо великих просторів. Розрахункові характеристики температури повітря і атмосферних опа-

дів визначають для вузлів географічної координатної сітки. В різних моделях вони змінюються від $1,4 \times 1,4^\circ$ до $3,9 \times 3,9^\circ$ широти і довготи вздовж кола широти та довготи між полюсами.

Аналіз регіональних змін температури повітря та атмосферних опадів шляхом співставлення даних спостережень з розрахунками тільки за однією, окремо взятою моделлю показує, що ні один модельний розподіл не узгоджується з відповідним розподілом за даними спостережень.

Найбільша відповідність метеорологічних спостережень спостерігається з результатами розрахунків елементів тепло- та вологообігу тільки за ансамблем моделей. Для сезонних температур коефіцієнти просторової кореляції між даними спостережень та модельними розрахунками складають в середньому 0,7. Середнє відношення оцінок мінливості за модельними та фактичними даними майже не відрізняється від одиниці [1]. Тільки ансамбль моделей може задовільно відтворювати рівень між річної природної кліматичної мінливості та особливості її регіонального розподілу. Статистичні узагальнення за ансамблем моделей можуть бути використані для визначення конкретних територій з можливим потеплінням клімату.

Модельні ансамблеві розрахунки адекватно відтворюють зростання температури приземного повітря та збільшення кількості опадів. Але при цьому виявляються систематичні похибки, у відтворенні середніх значень температури та опадів. Ретроспективні модельні розрахунки дають постійно занижені значення середньої річної температури та постійно завищені значення середніх за рік опадів в порівнянні з даними спостережень.

Осереднення, яке дають ансамблі моделей дозволяють суттєво відфільтрувати природну міжрічну кліматичну мінливість при виявленні сигналу антропогенного збільшення температури повітря.

Для окремих регіонів тенденції згладженого часового ходу температури повітря за даними спостережень добре узгоджуються з аналогічними тенденціями, які відтворені ансамблями моделей тільки із урахуванням реального зростання парникових газів. Результати ансамблевих модельних розрахунків за період з 1971 по 2005 рр., коли не враховано зростання парникових газів, характеризується повною відсутністю тренду і не узгоджуються з даними спостережень. В той же час, це також може підтверджувати адекватність відображення даними спостережень впливу на потепління клімату антропогенного збільшення концентрації парникових газів і аерозолів в атмосфері.

Для зазначеної території за період 1961-2000 рр. були виявлені додатні тренди температури та опадів як за ансамблевими модельними

розрахунками, так і за даними спостережень. Коефіцієнти лінійних трендів за модельними розрахунками для температур повітря є більшими, а для опадів – меншими, в порівнянні з коефіцієнтами за даними спостережень. Частка мінливості, яка враховується лінійним трендом в середньому за модельними розрахунками є суттєво більшою, ніж в трендах за даними спостережень, що говорить про їх більшу статистичну значущість.

Порівняння трендів за даними спостережень з модельними трендами температур та опадів в конкретних регіонах виявляється іноді некоректним внаслідок великої вибіркової мінливості коефіцієнтів трендів за даними спостережень. Вона може бути пов'язана з внутрішньою кліматичною мінливістю, тобто проявом довгоперіодних природних змін (вікових циклів).

Постановка завдання. Одним з основних методів виявлення регіональних змін параметрів клімату залишається оцінка трендів середнього значення за даними рядів спостережень. При цьому, головним чином, розглядають регресію даних спостережень на час і визначають коефіцієнти лінійного тренду (α), які характеризують середню швидкість зміни ряду на відрізок часу, який розглядають. Для оцінки статистичної значущості наявності тренду найчастіше розглядають ймовірність того, що $\alpha = 0$. Для цього знаходять співвідношення α/σ_α , в якому σ_α – вибіркова мінливість коефіцієнту тренду. Гіпотеза, що $\alpha = 0$ відхиляється за умови, коли $\alpha/\sigma_\alpha \leq 2$. Часто при оцінках регіональних трендів за даними спостережень вибіркова мінливість (σ_α) виявляється значною. Похибки можуть бути настільки великими, що не завжди дозволяють оцінити швидкість змін, а, іноді встановити сам факт їх наявності. На величину σ_α впливає зв'язність ряду спостережень. Дані спостережень за температурою та опадами не завжди виявляються беззв'язними. Наслідком внутрішньорядної зв'язності є різноманітні цикли. Зменшення вибіркової мінливості σ_α у випадку тривалих (довгоперіодних) циклів проходить повільніше, а у випадку коротких циклів – швидше. За наявності тривалих циклів зазначений критерій достатності виявлення трендів стає більш жорстким.

Мета даного дослідження – характеристика структури рядів середньої за рік температури і вологості повітря та річних сум атмосферних опадів (виявлення та аналіз циклічних коливань елементів тепло-та вологообігу) в різних природних зонах України в контексті оцінок статистичної значущості регіональних трендів за даними спостережень та визначення однорідності рядів спостережень за статистичними критеріями. Для цього були використані дані спостережень метеостанцій Рівне та Синельникове за період 1944-2010 рр. Перша з них характери-

зує агрокліматичну зону достатнього та надмірного зволоження за гідротермічним коефіцієнтом (ГТК) Г. Г. Селяпінова. Тут ГТК = 1,3 - 2,0. Друга – характеризує посушливу агрокліматичну зону (ГТК = 0,7 - 1,0).

Результати досліджень. Вважається, що характеристикою не випадковості (зв'язності) числового ряду спостережень, і відповідно, наявності можливих тенденцій у зміні метеорологічних величин та їх квазіперіодичної циклічності може бути коефіцієнт автокореляції $r(1)$. Він оцінює зв'язок між послідовними членами ряду із кроком, що дорівнює одиниці. Для незв'язаних рядів $r(1)$ дорівнює нулю. Ряди із слабкими внутрішньо рядними зв'язками мають $r(1)$, які, зазвичай, складають 0,2-0,4. Ряди вважають сильно зв'язними, коли $r(1)$ складає 0,7-0,8 [3]. Результати розрахунків показують (Табл. 1), що для усіх зазначених метеорологічних величин, на розглянутих метеорологічних станціях, коефіцієнти $r(1)$ не перевищували 0,2. Це дозволяє вважати використані метеорологічні величини випадковими (незв'язними) і наводить на думку про відсутність циклічних коливань та направлених змін в рядах спостережень. Для перевірки адекватності $r(1)$ відносно відображення можливих циклічних та наявності направлених змін були проведені дослідження трендів та хронологічних графіків зазначених метеорологічних величин. Параметри лінійних трендів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Коефіцієнти автокореляції (r), коефіцієнти лінійних трендів (α), співвідношення (α/σ_α) рядів річної суми атмосферних опадів (Н), середньої за рік температури (t) та дефіциту вологості повітря (d) за даними спостережень

Метеостанція	Н, мм			d, гПа			t, °C		
	$r(1)$	α , мм/рік	α/σ_α	$r(1)$	α , мм/рік	α/σ_α	$r(1)$	α , мм/рік	α/σ_α
Синельникове	0,03	+0,91	1,76	0,08	-0,01	1,12	0,02	+0,01	1,77
Рівне	0,03	+0,13	3,74	0,18	+0,02	2,63	0,04	+0,02	5,80

Одержані результати показують, що коефіцієнтам $r(1) \leq 0,26$ відповідають як статистично значимим трендам ($\alpha/\sigma_\alpha \geq 2,0$, Рівне), так і не значимим трендам ($\alpha/\sigma_\alpha < 2,0$, Синельникове). Таким чином, в рядах метеорологічних величин за відсутності внутрішньо рядних зв'язків за $r(1)$ можуть проявлятися направлені зміни цих величин.

Для оцінки багаторічних змін метеорологічних величин в кліматології традиційно також застосовують хронологічні графіки коливань абсолютних значень величини, графіки відхилень абсолютних значень від кліматичної норми (середнє значення за період 1961-1990 рр.) та графіки ковзних середніх значень за 10-річними та 5-річними періодами (залежно від тривалості ряду, який аналізують). Графіки абсолютних значень в більшості випадків не дають чіткого уявлення про наявність або відсутність певних змін. Графіки відхилень абсолютних значень від норми дають більш чітке уявлення про циклічність та тривалість періодів змін, але ускладнюють виявлення довгоперіодних коливань. Графіки ковзних середніх значень за п'яти- або десятирічними періодами виключають вплив різних коливань в окремі роки, але при цьому, завдяки згладжуванню роблять більш невизначеними межі різних циклів коливань метеорологічних елементів, особливо для великих територій. Так, дослідженнями В. В. Гребіня [4] доведено, що застосування цього методу призводить до неправильного висновку щодо вирівнювання поля температури повітря в межах України у 80-х роках ХХ ст. (підвищення на півночі та північному заході та зниження на півдні та південному сході, але, при цьому, перехід від періоду відносно зниження температури до періоду відносного її зростання, в першому випадку припадає на кінець 70-х – початок 80-х років ХХ ст., а в другому випадку – на середину 90-х рр.).

В гідрології для аналізу багаторічних коливань гідрометеорологічних елементів та виявлення їх циклів застосовують різниці інтегральні криві (сумарні криві відхилень річних значень від їх середнього значення за період спостережень). Вони дозволяють чітко визначити періоди зростання або зменшення певної величини і встановити їх межі. Інтегральні криві за даними спостережень тривалістю не менше 50-60 років [5] у відносних величинах – модульних коефіцієнтах (K_i – відношення річного значення величини до її середнього багаторічного значення).

Для кожного року хронологічного ряду визначають відхилення модульного коефіцієнта від середнього багаторічного значення, яке дорівнює одиниці, тобто знаходять (K_i-1) . Поточні ординати інтегральної кривої для кожного року хронологічного ряду від початку спостережень знаходять послідовним додаванням відхилень, тобто визначають $\sum(K_i-1) = f(x)$. Для того, щоб виключити вплив мінливості на модульні коефіцієнти, інтегральні криві будують по ординатам $[\sum(K_i-1)]/C_v = f(x)$. Період часу, для якого ділянка інтегральної кривої в цілому направлена вгору, відповідає фазі зростання метеорологічної величини відносно норми. Період часу, для якого ділянка інтегральної кривої в цілому нахилена вниз відповідає фазі зменшення. Послідовне чергування фаз дозволяє визначити квазіциклічні коливання метеорологіч-

них величин. Інтегральні криві середніх за рік температури та дефіциту вологості повітря і річних сум атмосферних опадів наведені на рис. 1.

За допомогою інтегральних кривих атмосферних опадів фактично можна виявити два короткоперіодичних цикли зменшення-зростання річних сум опадів. На інтегральних кривих середнього за рік дефіциту вологості можна виявити один довгоперіодний цикл зростання-зменшення дефіцитів вологості повітря за яким виділяється фаза їх зростання. На інтегральних кривих середньої за рік температури повітря можна виявити тільки один довгоперіодний цикл зменшення зростання їх значень.

Аналіз багаторічних змін метеорологічних величин також вимагає оцінки синфазності або асинфазності їх коливань. Якщо в часі однакової фази зростання (зменшення) метеорологічних величин відповідають одна одній, то це означає синфазність коливань. Коли фазі зростання відповідає фаза зменшення величини, то це означає асинфазність коливань. Для зазначених метеостанцій для рядів температури повітря синфазність коливань є найбільш чітко вираженою. Із середини 40-х років до кінця 80-х років ХХ століття спостерігалася фаза зменшення середньої за рік температури, а надалі – фаза постійного її зростання. Це підтверджує висновок про фактично однаковий момент початку періоду сучасного потепління в межах території України [4]. Менш чітко синфазність коливань проявляється для рядів дефіциту вологості повітря. Для метеостанції Рівне від середини 40-х і до початку 60-х років ХХ століття характерною є фаза зростання середнього за рік дефіциту вологості повітря, надалі, до середини 90-х років ХХ століття – фаза зменшення, за якою знову розпочинається фаза збільшення цієї метеорологічної величини. Для метеостанції Синельникове відповідно: фаза зростання – від середини 40-х до середини 70-х років ХХ століття, фаза зменшення – від середини 70-х до середини 90-х років ХХ століття, фаза зростання – від середини 90-х років і по нинішній час. Таким чином, можна говорити про квазісинфазність рядів дефіцитів вологості повітря. Для рядів річних сум атмосферних опадів синфазність коливань проявляється найменш чітко. Фактично вони є квазісинфазними, при цьому найбільше співпадіння фаз спостерігається від початку 80-х років ХХ століття. Якщо врахувати коливання опадів на території Західного Полісся та Волинської височини (рис.2), а також результати аналізу їх циклічності на предмет довгоперіодності циклів [6], то слід говорити про наявність фази зменшення опадів від середини 40-х років до другої половини 60-х років ХХ століття (Рівне) та до середини 70-х років (Синельникове), за якими починається фаза їх зростання. Порівняння між собою інтегральних кривих різних метеорологічних величин показує, що до початку 80-х років ХХ століття коли-

вання атмосферних опадів та дефіцитів вологості повітря були асинфазними. Надалі, від вказаного моменту, вони стають квазісинфазними між собою та з коливаннями температури повітря.

Синхронність коливань метеорологічних величин означає співпадіння моментів переходу від однієї фази до іншої. Для розглянутих метеостанцій, порівняння інтегральних кривих однієї метеорологічної величини показує, що коливання температури повітря є синхронними (1988 та 1989 рр.). коливання атмосферних опадів та коливання дефіцитів вологості повітря можна вважати асинхронними. Слід зазначити, що для показників вологообігу моменти переходу між фазами зміщені в часі. В західних районах (Рівне) вони настають раніше, в порівнянні із східними (Синельникове).

Виділення двох циклів зміни атмосферних опадів вимагає характеристики їх довгоперіодності. Якщо виявлені цикли будуть репрезентативними (показовими), тобто будуть відображати увесь ряд, то їх слід вважати короткоперіодними. Для оцінки репрезентативності циклів було застосовано співвідношення

$$K_{cp} - 1 = \frac{ik - in}{m},$$

де m – число рядів за інтервал часу, що розглядається; ik та in – відповідно, кінцева та початкова ордината різницевої інтегральної кривої за інтервали часу m років; $(K_{cp}-1)$ – відхилення середнього значення величини (модульного коефіцієнта) за інтервал часу m років від його середнього значення за увесь період спостережень, яке дорівнює одиниці (табл. 2).

Виділені цикли можна вважати показовими, якщо для них $(K_{cp} - 1) = 0$ або абсолютне значення відхилення $(K_{cp} - 1)$ не буде перевищувати абсолютне значення відхилення за період спостережень. Для зазначених метеостанцій, виявлені цикли не можна вважати репрезентативними. Фактично, слід говорити про один довгоперіодний цикл, в якому момент переходу між фазами зміни опадів відповідає найменшій ординаті інтегральної кривої річних сум атмосферних опадів.

Таблиця 2

Оцінка репрезентативності циклів зміни річної суми атмосферних опадів

Метеостанція	Тривалість циклу	$(K_{cp} - 1)$ за циклами	$(K_{cp} - 1)$ за період спостережень
Рівне	1945-1981	-0,060	+0,016
	1982-2010	+0,113	
Синельникове	1949-1981	-0,024	+0,020
	1982-2005	+0,025	

Висновки. Аналіз даних спостережень за елементами тепло- та вологообігу за період 1945-2011 рр. на метеостанціях Рівне та Синельникове, які знаходяться в різних природних зонах, дозволяє зробити ряд висновків.

1. Коефіцієнт автокореляції не дозволяє оцінити зв'язність ряду спостережень, яка є наслідком одно направлених змін та циклічних коливань метеорологічних величин.

2. Застосування різницевих інтегральних кривих дозволяє виявити фази змін середньої за рік температури та дефіциту вологості повітря і річної суми атмосферних опадів, дозволяє виділити їх циклічні коливання в часі.

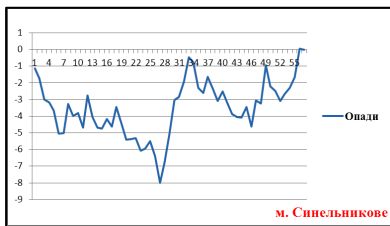
3. Циклічні коливання елемента теплообігу (температура повітря) синфазні, а коливання елементів вологообігу (дефіцит вологості повітря та атмосферні опади) квазисинфазні.

4. Циклічні коливання температури повітря синхронні, а коливання дефіциту вологості повітря та атмосферних опадів асинхронні.

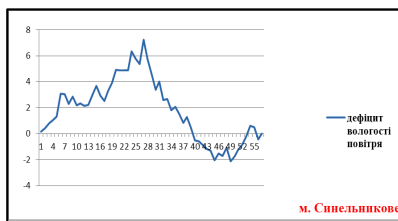
5. Виявлені цикли метеорологічних величин можна вважати довгоперіодними.

1. Мелешко В. П. Насколько наблюдаемое потепление климата России согласуется с расчетами по объединенным моделям общей циркуляции атмосферы и океана? / Мелешко В. П., Мирвис В. М., Говоркова В. А. // *Метеорология и гидрология*. – 2007. – № 7. – С. 5–9. 2. О неопределенности некоторых сценарных климатических прогнозов температуры воздуха и осадков на территории России / Груза Г. В., Ранькова Э. Я., Аристова Л. Н., Клещенко Л. К. // *Метеорология и гидрология*. – 2006. – № 10. – С. 5–23. 3. Кобышева Н. В. Климатология / Кобышева Н. В., Костин С. Н., Струнников Э. А. – Л. : Гидрометеоздат., 1980. – 344 с. 4. Гребінь В. В. сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В. В. Гребінь. – К. : Ніка-Центр, 2010. – 316 с. 5. Галущенко Н. Г. Гидрологические и водно-балансовые расчеты / Н. Г. Галущенко. – К. : Вищ. школа, 1987. – 248 с. 6. Часова структура річних сум атмосферних опадів в межах Прип'ятсько-Волинської моренно-зандрової рівнини та Волинської денудаційної височини / Галік О. І., Будз О. П., Косяк Д. С., Куцевич М. В. // *Географія*. Випуск 724-725.

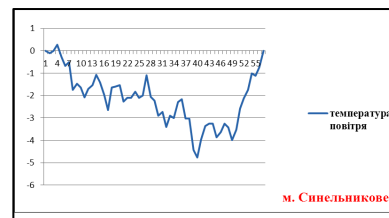
Рецензент: к.т.н., професор Волкова Л. А. (НУВГП)



a)



б)



в)

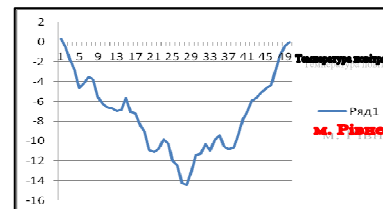
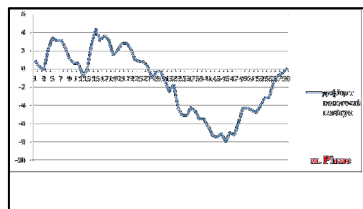
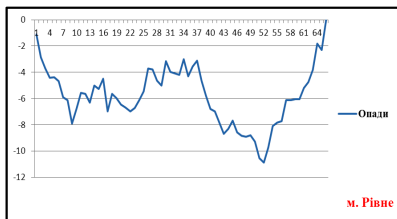


Рис. 1. Різницеві інтегральні криві сум атмосферних опадів за рік, (a) середніх за рік дефіцитів вологості (б) та температури повітря (в)

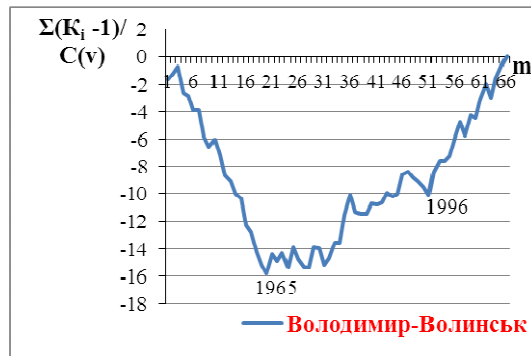
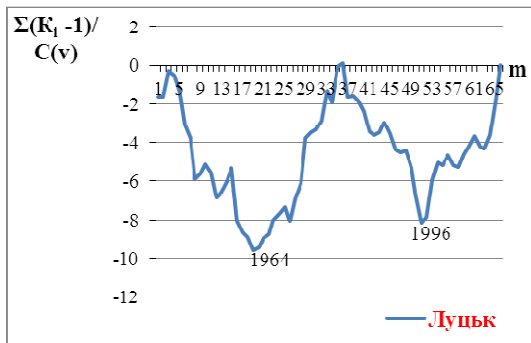
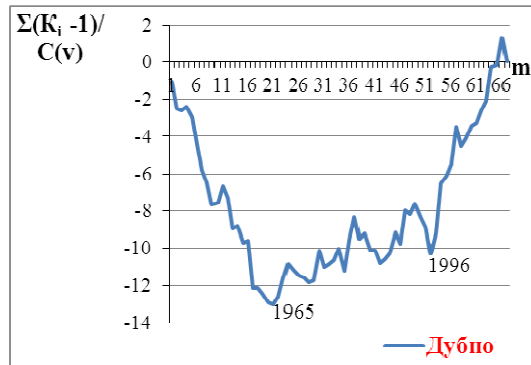
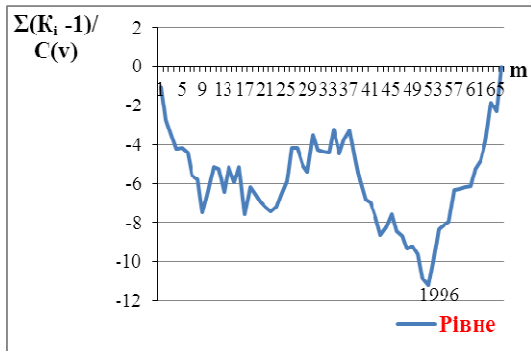


Рис. 2. Різницеві інтегральні криві сум атмосферних опадів за рік деяких метеостанцій Західного Полісся та Волині

**Halik O. I., Candidate of Agricultural Sciences, Strikha V. A.,
Candidate of Engineering, Leoshek O. M., Senior Student** (National
University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

**ANALYSIS OF ELEMENTS FLUCTUATIONS OF CLIMATE
FORMING PROCESSES OF HEAT AND MOISTURE EXCHANGE
ACCORDING TO SOME OBSERVATION POINTS FOR
DIFFERENT AGRO-CLIMATIC ZONES OF UKRAINE**

The analysis of synchronicity, synphase and annual cycles of temperature and humidity and precipitation is made with the help of the difference integral curves.

Keywords: integral curve, the temperature and the humidity deficit of the air; atmospheric precipitation.

Галик А. И., к.с.-х.н., Стриха В. А., к.т.н., Леошек А. Н., студент
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования,
г. Ровно)

**АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ
КЛИМАТООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И
ВЛАГООБМЕНА ПО ДАННЫМ НЕКОТОРЫХ ПУНКТОВ
НАБЛЮДЕНИЙ РАЗНЫХ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН
УКРАИНЫ**

С помощью разностных интегральных кривых проведен анализ синхронности, синфазности и цикличности годовых значений температуры, влажности воздуха и атмосферных осадков.

Ключевые слова: интегральная кривая, температура, дефицит влажности воздуха, атмосферные осадки.
