



Номер 7

2010

ISSN 0130-2914

# УКРАЇНСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Головний редактор  
С.М. Степаненко



Український гідрометеорологічний журнал

Науковий журнал

Номер 7, 2010 р.

Рекомендовано до друку Вченою радою Одеського державного екологічного університету  
Протокол № 9 від 25. 11. 2010 р.

Головний редактор С.М. Степаненко

**Редакційна колегія:** С.М. Степаненко, д-р фіз.-мат. наук, проф., ОДЕКУ (головний редактор); А.М. Польовий, д-р географ. наук, проф., ОДЕКУ (заст. голов. редактора); Є.П. Школьніий, д-р техн. наук, проф., ОДЕКУ (заст. голов. редактора); В.С. Антоненко, д-р географ. наук, УкрНДІГМІ; В.М. Бойко, канд. географ. наук, УкрГідрометцентр; Є.Д. Голпченко, д-р географ. наук, проф., ОДЕКУ; Г.П. Івус, канд. географ. наук, проф., ОДЕКУ; М.І. Кульбіда, канд. географ. наук, УкрГідрометцентр; В.М. Ліпінський, Держгідрометслужба України; Н.С. Лобода, д-р географ. наук, проф., ОДЕКУ; І.Д. Лосва, д-р географ. наук, проф., УкрНЦЕМ; П.Д. Ломакін, д-р географ. наук, Морський гідрофізичний інститут НАН України; В.І. Мешеряков, д-р техн. наук, проф., ОДЕКУ; З.А. Міщенко, д-р географ. наук, проф., ОДЕКУ; В.І. Михайлов, д-р географ. наук, проф., ОДЕКУ; В.І. Осадчий, канд. географ. наук, УкрНДІГМІ; О.Б. Полонський, д-р географ. наук, проф., Морський гідрофізичний інститут НАН України; О.О. Світличний, д-р географ. наук, проф., Одеський національний університет ім. І.І. Мечнікова; С.І. Сніжко, д-р географ. наук, проф., Київський національний університет ім. Тараса Шевченка; В.Ф. Суховій, д-р географ. наук, проф., ОДЕКУ; Ю.С. Тучковенко, д-р геогр. наук, с.н.с., ОДЕКУ; В.К. Хільчевський, д-р географ. наук, проф., Київський національний університет ім. Тараса Шевченка; В.М. Хохлов, д-р географ. наук, проф., ОДЕКУ; О.І. Маруніч – відповідальний секретар

Український гідрометеорологічний журнал: Науковий журнал / Голов. ред. С.М.Степаненко. – Одеса: Вид. "ТЕС", 2010. – №7. – 250 с.

“Український гідрометеорологічний журнал” є міжвідомчим виданням, у якому публікуються результати теоретичних та експериментальних наукових досліджень за напрямками метеорологія, кліматологія, агрометеорологія, гідрологія, океанологія і гідрографія, висвітлюються гідрометеорологічні аспекти моніторингу навколишнього середовища та сучасний стан окремих проблем у цих галузях.

Для науковців та науково-педагогічних працівників, аспірантів та докторантів, а також фахівців, які працюють у цих галузях гідрометеорології.

Видання зареєстровано в Державному комітеті інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України.  
Реєстраційне свідоцтво серія КВ №9687 від 21.03.2005

Наклад: 150 екземплярів

Адреса редакційної колегії:  
м. Одеса, 65016, вул.Львівська, 15,  
Одеський державний екологічний університет,  
тел. (0482)-32-67-45

ISSN 0130-2914





## ЗМІСТ

### Розділ 1. ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

<i>Сафранов Т.А., Волков А.І., Катеруша О.В.</i> Кількісна оцінка гідромінеральної і пелоїдної складових природно-рекреаційного потенціалу Одеської області.....	5
<i>Некос А.Н.</i> Моніторинг екологічної якості овочевої продукції широкого споживання.....	16
<i>Чугай А.В., Ковальчук В.И.</i> Системы радиационного мониторинга в Украине.....	23
<i>Бургаз О.А., Гарабазій Т.А.</i> Забруднення атмосфери європейського регіону окислами азоту.....	29

### Розділ 2. МЕТЕОРОЛОГІЯ ТА КЛІМАТОЛОГІЯ

<i>Степаненко С.Н., Волошин В.Г.</i> Универсальные безразмерные профильные функции для градиентов скорости ветра и температуры и их интегральные формы.....	35
<i>Гончарова Л.Д., Решетченко С.І.</i> Вплив північної Атлантики на температуру повітря, опади, приземний тиск на лівобережній Україні.....	45
<i>Степаненко С.Н., Волошин В.Г., Титцов С.В.</i> Динамическая модель рассеяния вредных веществ в атмосфере при постоянных коэффициентах диффузии и скоростях переноса.....	53
<i>Лавриненко А.В., Лавриненко Ю.В., Черненко Д.С.</i> Моделирование оптических свойств фотонных кристаллов и волноводов на их основе в двумерном пространстве.....	68
<i>Борисова С.В., Катеруша Г.П.</i> Изменения климатических факторов и биоклиматических показателей в Украинских Карпатах.....	74
<i>Хохлов В.М., Романова Г.В., Журбенко К.С.</i> Небезпечні підвищення рівня моря у порту Маріуполь: сприятливі синоптичні процеси та вплив Північно-атлантичного коливання.....	82
<i>Данова Т.Е., Галат Е.В.</i> Климатологические характеристики сезонных изменений взаимосвязи морского льда Арктики и индекса Гольфстрим.....	88
<i>Галич Е.А., Астрахович А.О.</i> Крупномасштабные циркуляционные атмосферные процессы в западном секторе Южного полушария и их взаимосвязь с солнечной активностью.....	95
<i>Зубкович С.А.</i> Типизация синоптических процессов над восточной Украиной....	103

### Розділ 3. АГРОМЕТЕОРОЛОГІЯ

<i>Божко Л.Ю., Бурдейна І.В.</i> Вплив погодних умов на формування якості зерна озимої пшениці в Поліссі.....	109
<i>Наумов М.М.</i> О построении замкнутой динамической модели развития и роста сельскохозяйственных культур.....	116



<i>Прикуп Л.О., Ляшенко Г.В.</i> Детальна оцінка агроекологічних ресурсів в умовах неоднорідної підстильної поверхні на прикладі Саратовського району Одеської області.....	123
<i>Костюкевич Т.К.</i> Формирование урожая сахарной свеклы в годы с различными агрометеорологическими условиями.....	132
<i>Свидерская С.М.</i> Моделирование влияния агрометеорологических условий на формирование урожайности картофеля в Черкасской области.....	140
<i>Сиряк Н.В.</i> Динамика биомассы отдельных органов растений проса в Южной степи.....	146

#### **Розділ 4. ГІДРОЛОГІЯ СУШІ ТА ГІДРОЕКОЛОГІЯ**

<i>Гопченко Е.Д., Бурлуцкая М.Э., Романчук М.Е., Авгайтис С.В.</i> Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья в бассейне р.Северский Донец на базе формул объемного типа.....	154
<i>Светличный А.А., Корзун Т.В., Погребной И.О.</i> Пространственное моделирование эрозионно-аккумулятивного процесса в пределах балочного водосбора.....	160
<i>Сербов Н.Г., Сухарев Д.Е., Балан А.К.</i> Многофакторный системный и мультифрактальный подход к моделированию экстремально высоких паводков на примере р. Дунай.....	167
<i>Гопченко Е.Д., Медведева Ю.С.</i> Моделивання сольових балансів оз.Китай .....	172
<i>Мельник С.В.</i> Пространственно-временная динамика мутности в бассейне верхнего Днестра .....	177
<i>Овчарук В.А., Лобанов В.А., Молдован Н.В.</i> Исследование однородности и стационарности информации по максимальному стоку весеннего половодья рек севера Тюменской области.....	183
<i>Кічук І.Д., Гопченко Е.Д., Кічук Н.С., Черкес В.В.</i> Проблеми водообліку на водогосподарських мережах Одещини .....	190
<i>Захарова М.В., Яров Я.С.</i> Дисперсійний аналіз хімічного складу поверхневих вод басейну р. Тиси.....	195
<i>Яров Я.С.</i> Гідрохімічний режим та екологічний стан річки Барабой.....	200

#### **Розділ 5. ОКЕАНОЛОГІЯ ТА МОРСЬКЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

<i>Украинский В.В., Гончаренко Н.Н.</i> Межгодовые изменения и тенденции в эвтрофикации вод Одесского региона северо-западной части Черного моря.....	211
<i>Большаков В.Н., Большаков М.В.</i> Потоки солнечной энергии на поверхности гидротехнических сооружений разной ориентации.....	220
<i>Доценко С.А.</i> Временная изменчивость гидрометеорологических характеристик Одесского региона северо-западной части Черного моря.....	232
<i>Холопцев А. В., Некос С. В.</i> Особенности спектров межгодовых изменений крупномасштабных климатических факторов динамики водных ресурсов планеты, в период с 1950 по 2009 гг.....	240

УДК 504.4

Т.А.Сафранов, д.г.-м.н., А.І. Волков, к.г.н., О.В. Катеруша  
Одеський державний екологічний університет

## КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ГІДРОМІНЕРАЛЬНОЇ І ПЕЛОЇДНОЇ СКЛАДОВИХ ПРИРОДНО-РЕКРЕАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ

*Наведена оцінка прогнозних ресурсів, експлуатаційних і балансових запасів підземних вод господарсько-питного призначення і лікувальних мінеральних вод, наведені дані про балансові запаси лікувальних грязей, показана їх роль в формуванні природного рекреаційного потенціалу Одеської області.*

**Ключові слова:** кількісна оцінка, підземні води, пелоїди, природний рекреаційний потенціал, кластерний аналіз.

**Вступ.** Завдяки географічному положенню, природно-кліматичним умовам, наявності численних історико-культурних, архітектурних, природних пам'яток, розвинених транспортних комунікацій, за кількістю туристичних підприємств та курортно-оздоровчих закладів Одеська область займає провідне місце в Україні. За використанням своїх туристично-рекреаційних можливостей область в останні 5 років посідає третю рейтингову позицію серед регіонів України (після таких відомих рекреаційно-туристичних центрів як м. Київ та АР Крим). Наявність об'єктів санаторно-курортного, оздоровчого та туристично-рекреаційного призначення з відповідною інфраструктурою дають змогу щорічно задовольняти туристичні, рекреаційні та оздоровчі потреби майже 1 млн. українських та іноземних споживачів. Понад 150 км морських пляжів, грязі та ропа лиманів, підземні мінеральні води, різноманітні об'єкти природно-заповідного фонду, понад 5 тис. об'єктів культурної спадщини, 842 об'єкти туристично-рекреаційного та санаторно-курортного призначення, все це надає змогу одночасно прийняти та забезпечити відповідними послугами майже 107 тис. осіб («Проект стратегії економічного і соціального розвитку Одеської області на період до 2015 года», схвалений рішенням обласної ради №91-V від 10.11.2006 р.), що свідчить про високий рекреаційно-туристичний потенціал Одеської області. Але для обґрунтування інвестиційної привабливості туристично-рекреаційної сфери Одеської області потрібна оцінка всіх складових рекреаційного потенціалу.

Під *рекреаційним потенціалом* розуміється одне з таких визначень: 1) ступінь здатності природної території справляти на людину позитивний фізичний, психічний та соціально-психологічний вплив, пов'язаний з відпочинком [1]; 2) сукупність природних, культурно-історичних і соціально-економічних передумов для організації рекреаційної діяльності [2]; 3) сукупна продуктивність розвіданих природних ресурсів та культурних цінностей території, які можуть бути залучені та використані для відпочинку, лікування, туризму [3]. При цьому головною складовою рекреаційного потенціалу є *природні рекреаційні ресурси і умови*.

*Природні рекреаційні ресурси (ПРР)* – це природні тіла, явища, процеси або окремі елементи рельєфу, які проявляються на певній площі протягом певного часу і можуть бути використані для цілей рекреації, або природні територіальні комплекси, окремі компоненти природного середовища і їх речовинні складові, які мають сприятливі для рекреаційної діяльності якісні і кількісні параметри і служать або мають всі передумови для того, щоб служити матеріальною основою для організації відпочинку, туризму, лікування і оздоровлення людей. До них належать лікувальні

речовини (мінеральні води, пелоїди, озокерит), природні комплекси, які мають лікувальні і оздоровлюючі властивості багатоцільового призначення (ліси, аквальні комплекси, лікувальні кліматичні місцевості). Кількість ПРР, їх об'єм і можливості використання суспільством постійно змінюються і зростають. Вони надзвичайно різноманітні за складом і властивостями [4].

*Природні рекреаційні умови (ПРУ)* - це сукупність компонентів і властивостей природного середовища, які сприяють рекреаційній діяльності. ПРУ можна визначити як компоненти і властивості природного середовища, які сприяють рекреаційній діяльності, але не є її матеріальною основою (естетичність, пейзажне різноманіття ландшафтів, кількість сонячних днів у році, тривалість залягання снігу в горах і т.д.). ПРР і ПРУ - незамінна умова розвитку рекреації. Тому раціональне їх використання, відновлення та охорона є одними із важливих завдань [4].

*Територіально-рекреаційний комплекс (ТРК)* характеризується єдиною територією, що має значний рекреаційний потенціал, сукупність рекреаційних установ, з тісними виробничими зв'язками, єдністю організаційних форм правління, які забезпечують ефективне використання ПРР (ПРУ), і соціально-економічних умов, що склалися на окремій території. Обов'язковою умовою придатності ПРР (ПРУ) є екологічне благополуччя довкілля. Можливості ТРК можуть істотно обмежуватися при відсутності необхідних ПРУ і ПРУ (кліматичних, геоморфологічних, земельних, водних, біологічних, пам'яток природи тощо).

*Гідромінеральні ресурси (ГМР)* - це частина мінеральних ресурсів, що добуваються з надр землі (питні, мінеральні, промислові, теплоенергетичні та технічні води). Саме гідромінеральні, пелоїдні та біокліматичні ресурси є основою лікувально-профілактичної і бальнеологічної галузі, відновного лікування і медичної реабілітації. Наявність підземних вод (ПВ), які відповідають вимогам ДСанПіН 2.2.4-400-10 («Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»), або придатні для використання в лікувальних цілях відповідно критеріїв, обумовлених ДСТУ 878-93, ГСТУ 42.10-02-96, Кадастрами мінеральних вод СРСР (1987 р.) і мінеральних вод України (1996 р.), кондиціями на родовища мінеральних вод, відкритих в Україні [5], а також лікувальних грязей [6], - фактори важливі, але недостатні без кількісної оцінки гідромінеральної і пелоїдної складових ТРК.

**Мета дослідження** – кількісна оцінка гідромінеральних ресурсів і пелоїдів як найважливіших складових природного рекреаційного потенціалу Одеської області.

**Об'єкт та вихідні матеріали дослідження.** Сприятливі природнокліматичні умови, мінеральні води, лікувальні грязі, ропа тощо характерні для більшості регіонів України, але Одеська область відноситься до групи найпривабливіших з точки зору сукупності цих компонентів, властивостей довкілля, що сприяє рекреаційній діяльності.

Згідно зі схемою гідрогеологічного районування України, територія Одеської області розташована в межах Причорноморського артезіанського басейну пластових вод, а північна її частина, невелика за площею, відноситься до гідрогеологічної області Українського щита (масиву) з переважаючим поширенням тріщинно-жильних вод [7].

Сучасний стан ПВ є задовільним на більшості площ з локальним проявом техногенних змін, але тенденція до забруднення ландшафтів, поверхневих і підземних вод в зонах впливу деяких промислово-міських та аграрних об'єктів свідчать про надмірне техногенне навантаження на довкілля. При цьому погіршується стан ПВ, які є останнім екологічним резервом водозабезпечення людини. Як зазначено в ДСанПіН 2.2.4-400-10, для виробництва питної води слід надавати *перевагу* водам підземних джерел питного водопостачання населення, надійно захищених від біологічного, хімічного та радіаційного забруднень. Слід зазначити, що за запасами водних ресурсів

із розрахунку на одиницю площі й на одного жителя, Україна посідає одне з останніх місць у Європі.

Характеристика основних водоносних горизонтів (ВГ) та водоносних комплексів (ВК) Одеської області, води яких використовуються для господарсько-питного водопостачання, а також їх кількісна оцінка наведена за матеріалами Причорноморського державного регіонального геологічного підприємства - (Причорномор ДРГП) [8]. Крім того, використані дані Державної комісії України по запасах корисних копалин при державному комітеті природних ресурсів України про балансові експлуатаційні запаси питних і технічних ПВ, мінеральних лікувальних ПВ, а також лікувальних грязей в Одеській області.

**Методи дослідження.** Методи кількісної оцінки гідромінеральних ресурсів і лікувальних грязей широко відомі і наведені в спеціальній літературі, відповідних інструкціях і нормативно-законодавчих документах.

При аналізі закономірностей просторового розподілу прогнозних ресурсів підземних вод (ПРПВ) і експлуатаційних запасів підземних вод (ЕЗПВ) використовувався метод кластерного аналізу, результати якого відображені у вигляді схематичних карт.

Для отримання загальної картини, що відображує територіальний розподіл ПРПВ і ЕЗПВ, був використаний кількісний показник ПРПВ і ЕЗПВ, приведений до одиниці часу, площі та одиниці населення.

Таким чином був сформований вектор, що включає три координати  $X_i(x_1, x_2, x_3)$ , де  $x_1$  – ПРПВ і ЕЗПВ, тис. м<sup>3</sup>/д;  $x_2$  - ПРПВ і ЕЗПВ, м<sup>3</sup>/д/км<sup>2</sup>;  $x_3$  - ПРПВ і ЕЗПВ, м<sup>3</sup>/д/люд.

При кількісній оцінці гідромінеральної і пелоїдної складових природно-рекреаційного потенціалу Одеської області використовувалася низка ключових понять, стисла характеристика яких наводиться нижче.

Згідно «Національного класифікатора України. Класифікатора корисних копалин (ККК) ДК 008:2007», ПВ поділяються на: питні, мінеральні, промислові, теплоенергетичні, технічні. При їх якісній оцінці використовують такі основні поняття («Про затвердження Інструкції із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ питних і технічних підземних вод. Держком по запасах корисних копалин; наказ № 23 від 04.02.2000»).

*Експлуатаційні запаси підземних вод* підраховані за даними геологічного вивчення водних об'єктів. Це кількість ПВ, яка може бути видобута з надр раціональними за техніко-економічними показниками водозаборами в заданому режимі видобутку за умови відповідності якісних характеристик ПВ вимогам їх цільового використання та допустимого ступеня впливу на довкілля протягом розрахункового терміну водокористування.

*Прогнозні ресурси підземних вод* оцінені за даними геологічного вивчення надр обсягів ПВ, що характеризують потенційні можливості їх видобування з надр на відповідній території з визначеною забезпеченістю витрат (рівнів) ПВ.

*Балансові запаси підземних вод*, які на момент оцінки згідно з техніко-економічними розрахунками можна економічно ефективно видобути і використати при сучасній техніці і технології видобування та водопідготовки (за умови дотримання вимог раціонального, комплексного їх використання і охорони навколишнього природного середовища).

*Родовища* питних або технічних ПВ – водні об'єкти в надрах з підрахованими експлуатаційними запасами і просторово визначеними межами, у яких природним чином (чи штучно) створені сприятливі умови для видобування й подальшого використання питних або технічних вод.

*Ділянка родовища підземних вод* - просторово обмежена частина родовища підземних вод, у межах якої існують сприятливі умови для видобутку підземних вод окремим водозабором.

Наведені ключові поняття з певною часткою умовності поширюються на мінеральні підземні води («Інструкція із застосування класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ мінеральних підземних вод. - Київ, 2002. – 57 с.»).

*Запаси лікувальних грязей* - кількість лікувальних грязей, які виявлені і підраховані на місці залягання на визначену дату за даними геологічного вивчення відкритих (ідентифікованих) родовищ («Державна комісія України по запасах корисних копалин при державному комітеті природних ресурсів України; наказ про затвердження Інструкції із застосування класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ лікувальних грязей» від 29.12.2004 №298).

*Розвідані експлуатаційні запаси* питних і технічних ПВ, МПВ та лікувальних грязей поділяються на категорії *A* і *B* за детальністю геологорозвідувальних робіт і достовірністю. *Попередньо розвідані експлуатаційні запаси* питних і технічних вод, МПВ та лікувальних грязей поділяються на категорії *C<sub>1</sub>* і *C<sub>2</sub>* за детальністю геологорозвідувальних робіт і достовірністю.

**Результати дослідження та їх аналіз.** ПРПВ і ЕЗПВ розподілені по площі вкрай нерівномірно у зв'язку із відмінністю структурно-геологічних і фізико-географічних умов формування ресурсів та хімічного складу гідрогеосфери різних регіонів України. Забезпеченість ПРПВ в Україні знаходиться в інтервалі 0,3–5,5, а в середньому - 1,19 (м<sup>3</sup>/д на одну люд.). Основна частина ПРПВ і ЕЗПВ зосереджена у північних та північно-західних областях країни. Південні області України (у т.ч. Одеська область) мають обмежені ресурси ПВ. Погіршенню еколого-гідрогеологічного стану в південній частині України сприяє також порушення режиму експлуатації та охорони ПВ, що призвело у деяких районах цієї території до їх вичерпання і забруднення.

За даними ПричорноморДРГП (станом на 01.01.2005 р.) ПВ на території Одеської області експлуатувалися 5432 артезіанськими свердловинами, 208 - шахтними колодзями, 11 - джерельними каптажами; водовідбір з 4120 працюючих свердловин складав 207,38 тис. м<sup>3</sup>/д. Частка ПВ з *мінералізацією (M)* до 1,0 г/дм<sup>3</sup> в загальному обсязі видобутку складала 59-64 %, з *M* = 1,0 - 1,5 г/дм<sup>3</sup> – 14-18%, з *M* = 1,5–3,0 г/дм<sup>3</sup> – 21 - 25 %.

Оскільки в цій роботі детально не аналізується якість питних ПВ, а згадується лише їх мінералізація, то доцільно відзначити, що за ДСанПіН 2.2.4-400-10 величина сухого залишку не повинна перевищувати 1000 мг/дм<sup>3</sup> (в окремих випадках за погодженням з головним державним санітарним лікарем відповідної адміністративної території допускається 1500 мг/дм<sup>3</sup>), а фізіологічною повноцінністю мінерального складу вважається величина сухого залишку 200-500 мг/дм<sup>3</sup>. Згідно з вимогами ВООЗ до води вищої питної якості, оптимальним вважається інтервал мінералізації 0,15-0,6 г/дм<sup>3</sup>, що в цілому відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-400-10.

ПРПВ по території Одеської області розподілені нерівномірно. На рис. 1 показані особливості розподілу ПРПВ: показник *x<sub>1</sub>* в тис. м<sup>3</sup>/д - А, показник *x<sub>2</sub>* в м<sup>3</sup>/(д · км<sup>2</sup>) - Б, показник *x<sub>3</sub>* в м<sup>3</sup>/(д · люд.) - В. Наступним етапом був виконаний кластерний аналіз, на базі результатів якого були виділені 5 кластерів, що характеризують досліджувану територію Одеської області регіону за ступенем забезпеченості ПРПВ (рис. 1-Г). До *першого кластеру*, тобто до найбільш забезпечених ПРПВ, віднесена південна частина Ренійського та Ізмаїльського районів, де розповсюджені ПВ алювіального пліоценового ВГ (величина ПРПВ тут складає 211,4 тис. м<sup>3</sup>/д); до *другого кластеру* віднесений





Рис. 1 - Розподіл прогнозних ресурсів підземних вод на території Одеської області.

Біляївський (ПРПВ - 78,80 тис. м<sup>3</sup>/д); до *третього кластеру* відносяться Ананївський, Березівський, Великомихайлівський, Іванівський, Кодимський, Красноокнянський, Любашівський, Миколаївський, Фрунзівський, Ширяївський та Білгород-Дністровський райони (ПРПВ - 307,8 тис. м<sup>3</sup>/д); до *четвертого кластеру* входять Арцизький, Балтський, Котовський, Роздільнянський та Тарутинський райони (ПРПВ - 137,5 тис. м<sup>3</sup>/д); до *п'ятого кластеру* (районів з найменшою забезпеченістю питними ПВ) віднесені Болградський, Кілійський, Комінтернівський, Овідіопольський, Савранський, Саратський та Татарбунарський райони (ПРПВ - 65,0 тис. м<sup>3</sup>/д).

Згідно до проведеного аналізу ЕЗПВ, їх розподіл по території Одеської області також не є рівномірним. На рис. 2 показані особливості розподілу ЕЗПВ: показник  $x_1$  в тис. м<sup>3</sup>/д - А, показник  $x_2$  в м<sup>3</sup>/(д · км<sup>2</sup>) - Б, показник  $x_3$  в м<sup>3</sup>/(д · люд.) - В. На базі результатів кластерного аналізу також виділено 5 кластерів, що характеризують досліджувану територію Одеської області за ступенем забезпеченості ЕЗПВ (рис. 2- Г). До *першого кластеру*, тобто до найбільш забезпечених ЕЗПВ, відноситься Ренійський район; до *другого кластеру* - Біляївський і Ізмаїльський райони; до *третього кластеру* - Арцизький, Іванівський, Татарбунарський, Фрунзівський та Білгород-Дністровський райони; до *четвертого кластеру* - Ананївський, Балтський, Березівський, Великомихайлівський, Кодимський, Красноокнянський, Саратський та Ширяївський райони; до *п'ятого кластеру*, тобто до найменш забезпечених ЕЗПВ, відносяться Болградський, Кілійський, Комінтернівський, Котовський, Любашівський, Миколаївський, Овідіопольський, Роздільнянський, Савранський та Тарутинський райони.

Районування території за результатами кластерного аналізу ПРПВ і ЕЗПВ (рис. 1-Г, 2-Г) відрізняється від вихідних карт, отриманих на основі ранжування за окремими показниками (рис. 1-А,Б,В і рис. 2-А,Б,В), оскільки відповідає комплексному підходу, що відображує сумарну картину розподілу разом за трьома показниками, тобто з одночасним урахуванням загальної кількості ПРПВ і ЕЗПВ та їх розподілу за територією та густотою населення.

ПРПВ визначають потенційні можливості використання ПВ на конкретній території, які можуть бути в наступному розвідані і освоєні за допомогою експлуатаційних споруд. Станом на 1.01.2005 р., ЕЗПВ на території області були розвідані у кількості 405,01 тис. м<sup>3</sup>/д, тобто 51 % від величини ПРПВ. Загальна величина ПРПВ по області складала 800,5 тис. м<sup>3</sup>/д, у т.ч. 38,63 % припадало на алювіальний плейстоцен-пліоценовий, 59,02 % на неогеновий, 0,65 % на палеогеновий, 1,32 % на крейдовий та 0,38 % на архей-протерозойський водоносні горизонти (Причорномор ДРГП, З.Є. Гузенко та ін., 2005 р.).

З огляду на гідрогеологічні особливості, забезпеченості ПРПВ і можливості використання вод для господарсько-питного водопостачання на території Одеської області відділено декілька районів (Причорномор ДРГП, З.Є. Гузенко та ін., 2005 р.) : I - район переважного розповсюдження та використання ПВ тріщинної зони порід докембрію; II – район переважного розповсюдження та використання ПВ середньосарматських і крейдових відкладів; III – район переважного розповсюдження і використання прісних ПВ середньосарматських відкладів; IV – район розповсюдження та використання ПВ верхньосарматських і середньосарматських відкладів; IV-1 – підрайон розповсюдження і використання ПВ верхньосарматських, середньосарматських та алювіальних верхньопліоценових відкладів; V – район переважного розповсюдження і використання ПВ слабосолонуватих та солонуватих ПВ середньосарматських відкладів; VI – район переважного розповсюдження та використання ПВ алювіальних пліоценових відкладів р. Дунай (рис. 3).



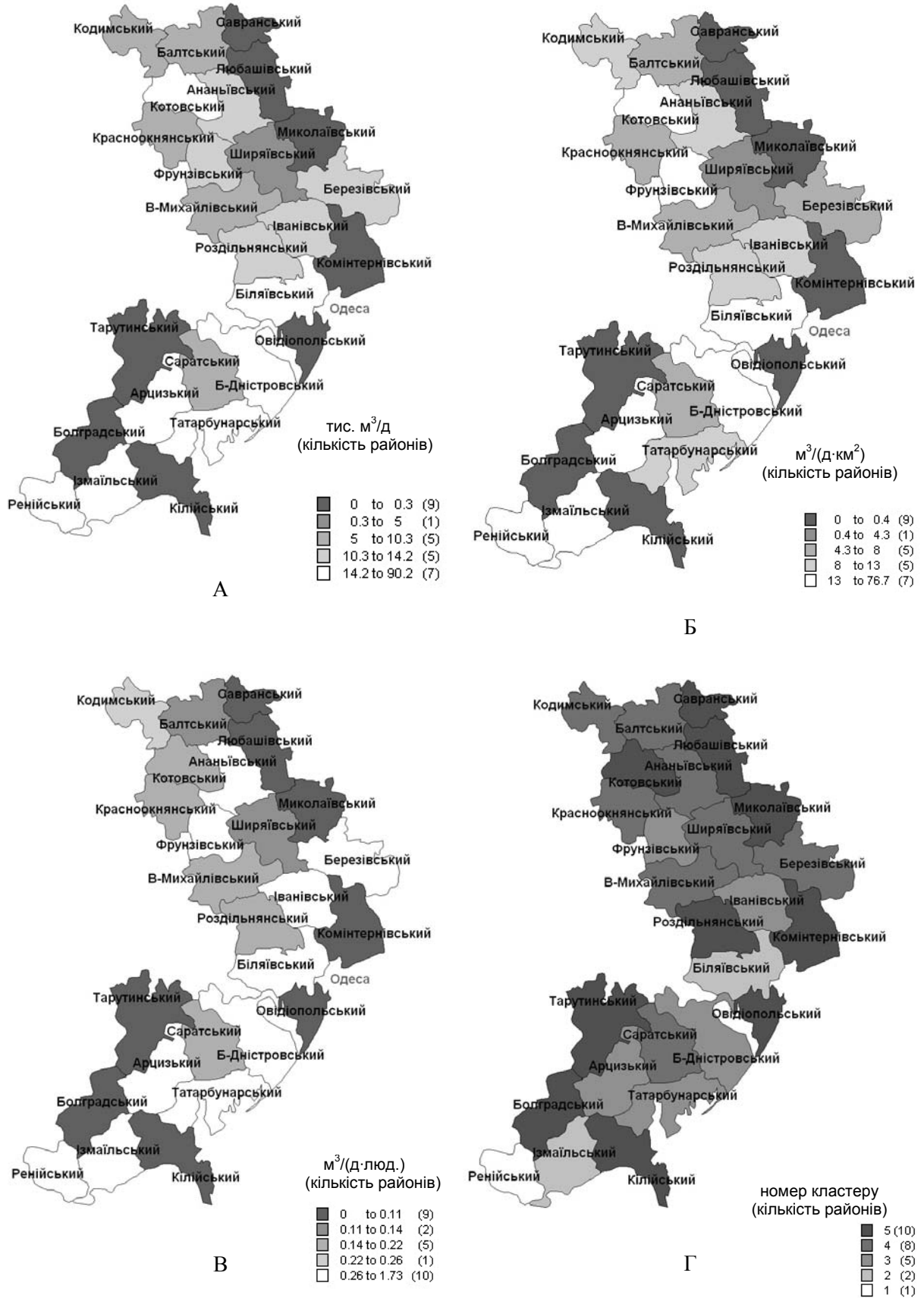


Рис. 2- Розподіл експлуатаційних запасів підземних вод на території Одеської області.

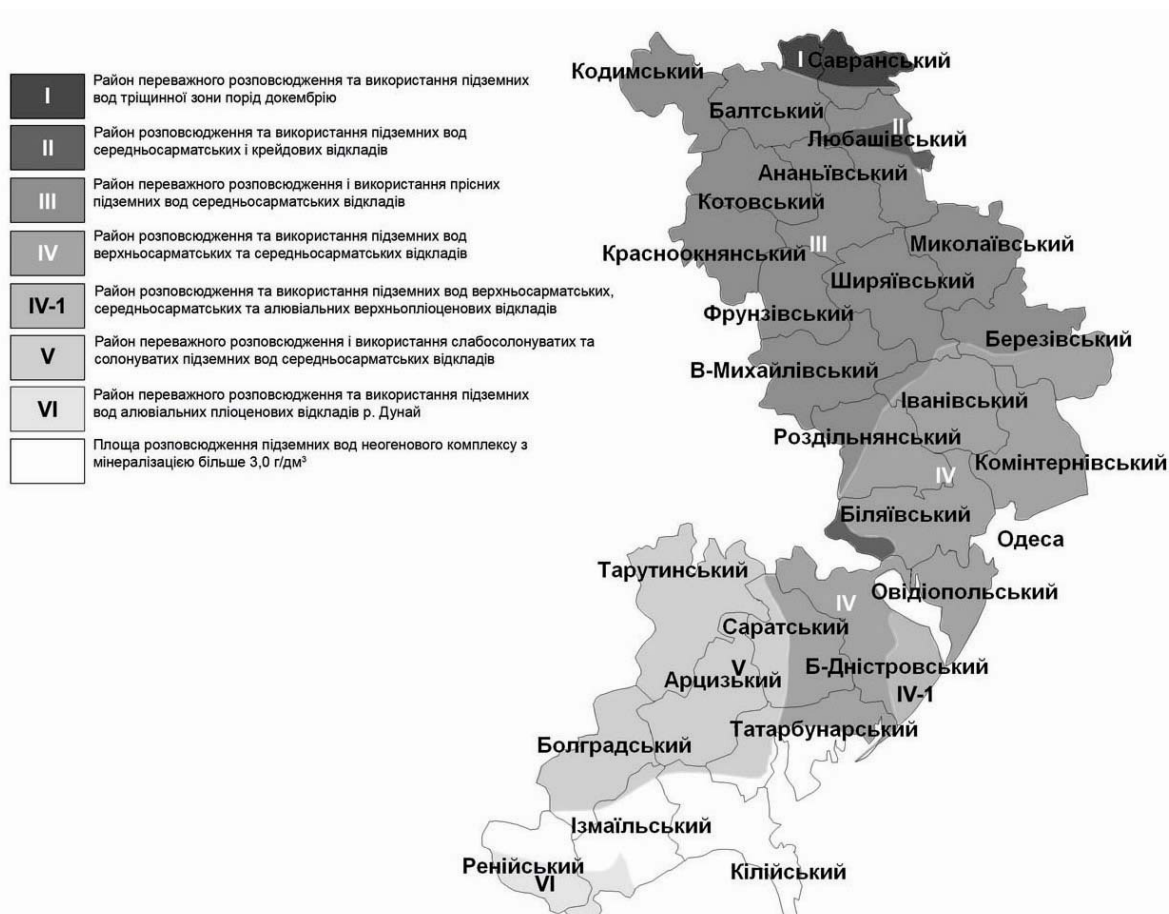


Рис. 3 - Схема районування території Одеської області за умов переважного розповсюдження та використання ПВ основних ВГ і ВК.

Як бачимо на рис. 3, окремо виділена площа розповсюдження ПВ неогенового комплексу з  $M$  більше 3 г/дм<sup>3</sup>, тобто не придатні для питного водопостачання.

Основним ВК, що експлуатується у межах області є неогеновий (ВГ у середньосарматських відкладах - у північній, центральній і південно-західній частинах області, верхньосарматських і понтичних – в центральних і південних районах області) [8]. За даними Причорномор ДРГП, прогнозні ресурси ПВ по неогеновому комплексу визначені в кількості 472,5 тис. м<sup>3</sup>/д, у т. ч. 400,09 тис. м<sup>3</sup>/д з  $M$  до 1,5 г/дм<sup>3</sup>; загальний водовідбір в середньому становив 217,81 тис. м<sup>3</sup>/д (46,1 %).

Другий за значенням ВГ - верхньопліоценовий алювіальний, приурочений до заплавної і терасових ділянок долин річок Дунай і Дністер. ПРПВ по алювіальному комплексу визначені в кількості 245,4 тис. м<sup>3</sup>/д; загальний водовідбір в середньому становив 51,0 тис. м<sup>3</sup>/д (20,6 %).

ПВ палеогенових відкладів для питного водопостачання не використовуються; ПРПВ в кількості 5,2 тис. м<sup>3</sup>/д залишаються практично не освоєними.

ВГ крейдових відкладів для питного водопостачання використовуються лише в Любашівському районі області. ПРПВ визначені в кількості 10,6 тис. м<sup>3</sup>/д, у т.ч. 10,38 тис. м<sup>3</sup>/д з  $M$  до 1,5 г/дм<sup>3</sup>; загальний водовідбір в середньому склав 0,28 тис. м<sup>3</sup>/д (2,6 %).

У крайніх північних та північно-східних районах області (Балтському, Савранському) експлуатуються ПВ, що містяться в тріщинній зоні кристалічних порід



архей-протерозою. ПРПВ визначені в кількості 3,0 тис. м<sup>3</sup>/д; загальний водовідбір в середньому 1,64 тис. м<sup>3</sup>/д (54,8 %).

Балансові експлуатаційні запаси питних і технічних ПВ на 01.01.2010 р. в Одеській області за категоріями  $A+B+C_1$  (по 25 родовищах) оцінюються в 486,310 тис. м<sup>3</sup>/д, що в розрахунку на одного мешканця області становить приблизно 0,20 м<sup>3</sup>/д (за даними [8] – 0,27 м<sup>3</sup>/д). Оскільки більша частина ПВ (75-80%) має  $M$  більш 1-1,5 г/дм<sup>3</sup>, то ці показники лише приблизно визначають рівень забезпеченості населення водами питного призначення. Наприклад, у 2009 р. видобуток становив 36,069 тис. м<sup>3</sup>/д (7,42% від суми балансових ЕЗПВ категорій  $A+B+C_1$ ), що складає лише 0,01 м<sup>3</sup>/(д · люд.), тобто нижче відповідного середнього показника по Україні. Недостатня забезпеченість якісними питними ПВ не дозволяє належним чином використовувати природно-рекреаційний потенціал окремих районів Одеської області (наприклад, розвитку активізації рекреаційної і санаторно-курортної діяльності в районі розташування Тузловської групи лиманів перш за все перешкоджає відсутність якісних питних вод).

Крім питних і технічних ПВ на території області розвідані та затверджені експлуатаційні запаси мінеральних підземних вод (МПВ). Із дев'яти основних бальнеологічних груп родовища МПВ представлені лише водами без специфічних компонентів і властивостей (СКіВ) і бромними водами (табл.). Питні мінеральні води Одеської агломерації відносяться до типу маломінералізованих хлоридних натрієвих вод: мінеральна вода «Куяльник» (санаторій «Куяльник»), «Одеська №1» і «Одеська №2» (санаторій ім. Горького), «Чабанка» (оздоровчий комплекс «Чабанка» ОМТП), «Аква Лібра» (Лен селище, ТОВ «Лібра») [5].

Як бачимо із наведених даних (див. табл.), затверджені балансові запаси станом на 01.01.2010 р. за відповідними категоріями становлять:  $A$  – 3419,0,  $B$  – 2795,5,  $C_1$  – 837,5 м<sup>3</sup>/д. Сумарне значення по категоріях  $A+B+C_1$  складає 7052 м<sup>3</sup>/д, що становить лише 1,45% від суми балансових експлуатаційних запасів питних і технічних ПВ в Одеській області.

Гідромінеральні ресурси (мінеральні лікувальні, лікувально-столові та природно-столові) області мають потенційні можливості для розвитку курортів бальнеологічного спрямування. Однак абсолютна більшість МПВ відноситься до мінеральних вод без специфічних компонентів та властивостей, що трохи знижує профілі бальнеологічних курортів. Крім того, мінералізація МПВ без специфічних компонентів і властивостей в окремих родовищах (Кароліно, Регата, Таїрівське, Червонохутірське) менша за 1 г/дм<sup>3</sup>.

Запаси лікувальних грязей підраховані лише для родовища Куяльницьке. На ділянці в південно-західній частині Куяльницького лиману (рік введення в експлуатацію -1998) генетичний тип лікувальної грязі - сульфідний муловий, ступінь мінералізації - високомінералізована, хімічний склад грязьового розчину – хлоридний магнієво-натрієвий, ступінь сульфідності – середньосульфідна, вологість - 35-65%. Станом на 1.01.2010 р. запаси за категоріями  $A+B$  становлять 29,246 тис. м<sup>3</sup>.

На ділянці в південно-східній частині Куяльницького лиману (рік введення в експлуатацію – 2007) генетичний тип лікувальної грязі - сульфідний муловий, ступінь мінералізації - високомінералізована, хімічний склад грязьового розчину – хлоридний магнієво-натрієвий, ступінь сульфідності – середньосульфідна, вологість - 35-65%. Станом на 1.01.2010 р. запаси за категоріями  $A+B$  становлять 161,0 тис. м<sup>3</sup>.

Усього запаси по області (родовище Куяльницьке) за категоріями  $A+B$  становлять 190,246 тис. м<sup>3</sup>. З урахуванням наявності сульфідних мулових грязей в

Таблиця - Балансові запаси мінеральних підземних вод Одеської області

Назва родовища (кількість ділянок), населений пункт	Індекс ВГ, глибини залягання ВГ (м)	Тип МПВ, вміст специфічного компонента, $M$ , тип води за головними іонами	Категорії запасів, $m^3/d$			
			$A$	$B$	$C_1$	$A+B+C_1$
Одеське глибоке (1), м. Одеса	$AR-PR_1$ , 1425-1478	Бромна, $Br = 173-259$ $mg/dm^3$ , $M = 105$ $g/dm^3$ , $Cl$ $Ca-Na$	173	-	-	173
Одеське (9), м. Одеса	$P_{2-3}hr$ , 267-390	Без СКіВ середньої $M$ , $M = 10,7-13,7$ $g/dm^3$ , $Cl-Na$	1671	212	389	2272
Чорноморське (1), м. Одеса	$N_{1S2}$ , 183,8-99,3	Без СКіВ низької $M$ , $M = 3,2- 4,4$ $g/dm^3$ , $HCO-Cl Na$	84	84	44	212
Зелена зірка (1), м. Одеса	$N_{1S3}$ , 111,1-25,3	Без СКіВ низької $M$ , $M = 0,9-1,2$ $g/dm^3$ , $HCO-Cl-SO_4 Na$	-	12	25,5	37,5
Магнолія (1), м. Одеса	$N_{1S3}$ , 109,5-27,5	Без СКіВ низької $M$ , $M = 0,9-1,2$ $g/dm^3$ , $HCO-Cl-SO_4 Mg-Na$	20	30	-	50
Іверське (1), м. Одеса	$N_{1S3}$ , 103,8-104,4	Без СКіВ низької $M$ , $M = 0,9$ $g/dm^3$ , $SO_4-HCO-Cl Ca-Mg-Na$	-	23	34	57
Куяльник (2), м. Одеса	$N_{1S3}$ , 70,4-75,8	Без СКіВ низької $M$ , $M = 3,4-4,2$ $g/dm^3$ , $SO_4-HCO-Cl Mg-Na$	-	665	300	965
Куяльник (1), м. Одеса	$P$ , 161-221	Без СКіВ середньої $M$ , $M = 11,6-11,7$ $g/dm^3$ , $Cl Mg-Na$	441	110	-	551
Сергіївське (1), смт. Сергіївка	$N_{1S}$ , 250-285	Без СКіВ низької $M$ , $M = 3,4-4,0$ $g/dm^3$ , $HCO-Cl Mg-Na$	-	354	-	354
Сергіївське (1), смт. Сергіївка	$P_3$ , 438-465	Бромна, $Br = 50-62$ $mg/dm^3$ , $M = 22,9-28$ $g/dm^3$ , $Cl Mg-Na$	375	-	-	375
Кароліно-Бугаз (1), смт. Затока	$P_{2al}$ , 335-522	Бромна, $Br = 20-33$ $mg/dm^3$ , $M = 13-15$ $g/dm^3$ , $Cl-Na$	600	1200	-	1800
Кароліно (1), сел. Салгани	$N_{1S3}$ , 121,4-138	Без СКіВ низької $M$ , $M = 0,7-0,8$ $g/dm^3$ , $SO_4-Cl-HCO Na$	-	-	45	45
Регата (1), м. Ізмаїл	$aQ_3$ , 46-67,5	Без СКіВ низької $M$ , $M = 0,7-1,0$ $g/dm^3$ , $Cl- SO_4-HCO Ca-Mg-Na$	45	55	-	100
Таїрівське (1), смт. Таїрове	$N_{1S3}$ , 80-140	Без СКіВ низької $M$ , $M = 0,7-0,8$ $g/dm^3$ , $Cl- SO_4-HCO Ca-Mg-Na$	-	38,5	-	38,5
Червоно- хутірське (1), смт. Овідіополь	$N_{1S3}$ , 104,4-107,4	Без СКіВ низької $M$ , $M = 0,6-0,7$ $g/dm^3$ , $SO_4-Cl-HCO Ca-Mg-Na$	10	12	-	22

Примітка: ВГ – водоносний горизонт, МПВ – мінеральна підземна вода,  $M$  – мінералізація у звітному році; без СКіВ – мінеральна вода без специфічних компонентів і властивостей.



інших лиманах Одеської області (Тілігульський, Хаджибейський, Шаболатський, Бурнас та інші лимани Тузловської групи) [6], кількісна оцінка яких ще не зроблена, пелоїди є дуже важливою складовою природного рекреаційного потенціалу Одеської області.

**Висновки.** Кількісна оцінка гідромінеральної і пелоїдної складових природно-рекреаційного потенціалу Одеської області дозволяє зазначити, що: 1) ПРПВ і ЕЗПВ господарсько-питного призначення розподілені вкрай нерівномірно, що обумовлено відмінністю структурно-геологічних і фізико-географічних умов їх формування; 2) до найбільш забезпечених ПРПВ відноситься південна частина Ренійського та Ізмаїльського районів, а найменш забезпеченими є Болградський, Кілійський, Комінтернівський, Овідіопольський, Савранський, Саратський та Татарбунарський райони; 3) до найбільш забезпечених ЕЗПВ відноситься Ренійський район, а до найменш забезпечених - Болградський, Кілійський, Комінтернівський, Котовський, Любашівський, Миколаївський, Овідіопольський, Роздільнянський, Савранський і Тарутинський райони; 4) істотних змін балансових запасів питних і технічних ПВ, а також МПВ протягом останніх років не відмічено; 5) основні частки ПРПВ і ЕЗПВ приурочені до ВГ неогенових відкладів; 6) недостатня забезпеченість якісними питними ПВ окремих районів області не дозволяє належним чином використовувати їх природно-рекреаційний потенціал; 7) експлуатаційні запаси МПВ сприяють розвитку курортів бальнеологічного спрямування, однак, їх абсолютна більшість відноситься до вод без специфічних компонентів та властивостей, що трохи зніжують спектр їх можливостей; 8) підраховані запаси і прогнозовані ресурси пелоїдів в багатьох лиманах дозволяють говорити про значні перспективи для грязелікування.

### Список літератури

1. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
2. Мироненко Н.С., Твердохлебов И.П. Рекреационная география. - М.: МГУ, 1981.- 207с.
3. Екологічна енциклопедія: У 3 т./ Редколегія: А.В. Толстоухов (головний редактор) та ін. – К.: ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації, 2008. – С. 279-280.
4. Фоменко Н.В. Рекреаційні ресурси та курортологія: Підручник. - К.: Центр навчальної літератури, 2007. - 312 с.
5. Мінеральні води України/ За ред. Е.О. Колесника, К.Д. Бабова. – К.: Купріянова, 2005. – 576 с.
6. Лечебные грязи (пелоиды) Украины. Ч. I/ Под общей ред. М.В. Лободы, К.Д. Бабова, Т.А. Золотаревой, Е.М. Никипеловой. – К.: «Купріянова», 2006. – 320 с.
7. Камзіст Ж.С., Шевченко О.Л. Гідрогеологія України: Навчальний посібник. – Київ: Фірма «ІНКОС», 2009. – 614 с.
8. Тюрєміна В.Г., Гузенко З.Є. Прогнозні ресурси підземних вод Причорномор'я та стан їх використання //Причорноморський екологічний бюлетень. 2010. -№ 2(36). – С. 109-113.

### **Количественная оценка гидроминеральной и пелоидной составляющих природно-ресурсного потенциала Одесской области. Сафранов Т.А., Волков А.И., Катеруша О.В.**

*Дана количественная оценка прогнозных ресурсов, эксплуатационных и балансовых запасов подземных вод хозяйственно-питьевого назначения и минеральных лечебных вод, приведены данные о балансовых запасах лечебных грязей, показана их роль в формировании природного рекреационного потенциала Одесской области.*

**Ключевые слова:** *количественная оценка, подземные воды, пелоиды, природный рекреационный потенциал, кластерный анализ.*

### **Quantitative assessment of underground water and peloids of natural-resource potential of Odessa region. Safranov T.A., Volkov A.I., Katerusha O.V.**

*Quantitative estimation of expected resources, operational reserves and balance of drinking and mineral waters has been done. The data on the balance reserves of curative mud and their role in formations of natural recreational potential of Odessa region have showed.*

**Key words:** *quantitative evaluation, ground water, peloids, natural recreational potential, cluster analysis.*

## **МОНІТОРИНГ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЯКОСТІ ОВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ ШИРОКОГО СПОЖИВАННЯ**

*Надано результати моніторингових досліджень екологічної якості овочевої продукції широкого споживання (картоплі, моркві, буряку та капусти), що вирощені на приватних ділянках в умовах лісостепової зони України. Визначено вміст важких металів, надано результати статистичної обробки.*

**Ключові слова:** *трофогеографічні дослідження, моніторинг, важкі метали, екологічна якість, овочева продукція.*

**Вступ.** Сьогодні моніторинговими дослідженнями охоплені майже усі екологічні проблеми. Досліджується динаміка стану атмосферного повітря, поверхневих та ґрунтових вод, зміни різних біоценозів, бо від екологічного стану цих складових залежить стан здоров'я людини. Також відомо, що різноманітним службам на державному рівні доручено спостерігати і за якістю харчових продуктів та питної води. З'явилась нова проблема якості харчових продуктів, пов'язана сьогодні з ГМО. Екологічна якість та безпека харчової продукції турбує як різнопрофільних фахівців, так і, безумовно, населення. Слід зауважити, що сучасні споживачі, у більшості випадків, почали читати на упаковці інгредієнтний склад того чи іншого продукту харчування, що вказує на небайдуже ставлення населення до стану свого здоров'я і здоров'я своїх дітей. Однак екологічно безпечні або небезпечні продукти харчування є не тільки в упаковці. Продукти харчування рослинного походження, тобто овочі і фрукти, що вирощені для власного споживання, ми використовуємо практично щоденно і, у більшості випадків, не замислюємося, який їх інгредієнтний склад (наявність нітратів, нітритів, залишків добрив та пестицидів, наявність важких металів тощо).

В науковій літературі немає згадок про те, що багаторічними моніторинговими дослідженнями охоплені рослинні продукти харчування, які вирощує населення на своїх приватних ділянках для власного споживання. Тому ця проблема існує, є актуальною і потребує багаторічних моніторингових досліджень.

У наших попередніх публікаціях [6-8] було вже багато написано про розвиток нового наукового напрямку – трофогеографії, про численні дослідження на експериментальних полігонах, коли було виявлено досить важливі географічні закономірності накопичення важких металів в овочевій і фруктовій продукції широкого споживання. Було доведено, що екологічний стан компонентів довкілля, природні та соціально-економічні умови певним чином впливають на хімічний склад різноманітних овочів та фруктів. В рамках багаторічних трофогеографічних досліджень було визначено вплив природних умов різних географічних поясів (помірний, субтропічний, тропічний, субекваторіальний), різних геоморфологічних і ґрунтових умов, окремих компонентів ландшафту, різних урбогеосистем, антропогенних об'єктів (промислових підприємств, автомагістралей тощо) на хімічний склад рослинної продукції. Проведені трофогеографічні дослідження надали можливість визначити суттєві закономірності.

Моніторингові трофогеографічні дослідження, накопичення багаторічного експериментального матеріалу, необхідність у подальшій розробці теоретико-методологічних засад накопичення хімічних елементів у рослинній харчовій продукції, спонукали проаналізувати зміни та визначити певні закономірності у накопиченні важких металів у культурних рослинах, вирощених у лісостеповій зоні помірного географічного поясу на приватних ділянках.

**Об'єкт та вихідні матеріали дослідження.** Об'єктами вивчення були овочі: картопля, морква, буряк, капуста, тобто рослинна продукція, що використовується

населенням повсякденно, вирощені на чорноземі типовому в умовах лісостепу на приватних ділянках, що розташовані у сільській місцевості на територіях урбосистем. Матеріалом для наукових висновків слугували результати хімічного аналізу зразків овочів, відібраних за стандартними методиками як безпосередньо автором, так і членами наукових загонів екологічного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Польові дослідження проводились у лісостеповій зоні, характер змін кількісних показників наведено на прикладі зразків відібраних у 2008 – 2009 р.р. Аналітичні дослідження здійснено на атомно-абсорбційному спектрофотометрі ААС-115. Рухомі форми важких металів в ґрунтових зразках визначали у буферній амонійно-ацетатній витяжці (рН 4,8). Вміст важких металів у овочевій продукції визначали згідно ДСТУ 26929-86. Базовим методом досліджень був метод порівняльно-географічний, а також використані методи узагальнення та систематизації даних, статистична обробка здійснювалася за загальноприйнятими показниками.

Мета даної роботи – моніторингові трофогеографічні дослідження змін вмісту важких металів у різноманітній овочевій продукції, вирощеній в однакових природних умовах, і визначення певних закономірностей.

**Аналіз попередніх досліджень.** Не зважаючи на те, що вивчення вмісту мікроелементів у ґрунтах та рослинній продукції має зайве багаторічну історію, географічні дослідження у визначеному аспекті майже відсутні. Традиційно біологами хімічні елементи вивчалися як джерела життєдіяльності рослин, а розвиток антропогенної діяльності призвів до формування нових підходів до вивчення хімічного складу ґрунтів та рослинної продукції. Звісно, що важливість попередніх досліджень безсумнівна, але вони безпосередньо торкаються біологічного, ґрунтознавського, сільськогосподарського та інших аспектів. Це відомі роботи Кабата-Пендіас А., 1989; Ільїна В. Б., 1991; Дуглас П. Орморд, 1988; Фатеева А. І. і ін., 2003; Добровольського Г. О., 1986 та багато інших [1-5]. Але прямого відношення ці дослідження до проведених трофогеографічних досліджень не мають.

**Результати досліджень та їх аналіз.** В наших попередніх публікаціях [6] було відзначено, що при чітко визначеній «однаковості» природних умов фіксуються дуже різні результати накопичення важких металів і навпаки – при достатньо різних природних умовах дуже часто відзначаються однакові результати щодо кількісного і якісного характеру накопичення важких металів. У такому випадку впевнено можна говорити про відсутність як такого природного фону і значний внесок соціально-економічної складової в механізм накопичення мікроелементів у овочевій продукції. І тут на перший план виходить «географічний фон» [6], який об'єднує природну і соціально-економічну складову.

Моніторингові багаторічні просторово-часові дослідження накопичення важких металів у рослинній продукції надають можливість впевнено визначити «географічний фон». Звичайно механізм визначення географічного фону потребує досліджень різних фахівців, що аргументує різні підходи до його визначення. Наші теперішні дослідження допоможуть визначити географічний фон для території **регіонального** (існує локальний, регіональний, глобальний) ієрархічного рівня, у нашому випадку – північний схід лісостепової зони України – Подільсько-Придніпровський край Харківської схилово-височинної області, а також асоціації фоноформуєчих важких металів для згаданого регіону.

Представлені результати досліджень, отримані протягом 2008-2009 років на експериментальних ділянках з найбільш розповсюдженими зональними ґрунтами – чорноземами типовими. Показники середнього вмісту хімічних елементів у зразках овочів, відібраних з експериментальних ділянок, наведено у табл. 1, де подано у чисельнику значення середнього  $\pm$  похибка середнього, а у знаменнику – значення середньоквадратичного відхилення (СКО). Аналіз наведених даних показав загальну тенденцію зменшення вмісту майже всіх хімічних елементів у зразках овочів та ґрунту 2009 року у порівнянні з 2008 роком відповідно.



Таблиця 1 – Вміст важких металів у овочах (грунт – чорнозем типовий), мг/кг

Овочі	Роки	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Pb	Co	Cr	Cd
Картопля	2008	$\frac{16,25 \pm 1,99}{8,2}$	$\frac{6,54 \pm 0,62}{2,57}$	$\frac{7,57 \pm 0,49}{2,57}$	$\frac{3,59 \pm 0,42}{1,74}$	$\frac{0,76 \pm 0,17}{0,71}$	$\frac{0,68 \pm 0,15}{0,63}$	$\frac{0,83 \pm 0,22}{0,91}$	$\frac{0,31 \pm 0,05}{0,19}$	$\frac{0,16 \pm 0,08}{0,32}$
	2009	$\frac{14,35 \pm 1,64}{3,67}$	$\frac{9,44 \pm 1,59}{3,9}$	$\frac{7,97 \pm 0,68}{1,67}$	$\frac{2,59 \pm 0,35}{0,86}$	$\frac{0,66 \pm 0,09}{0,23}$	$\frac{0,69 \pm 0,1}{0,25}$	$\frac{1,4 \pm 0,59}{1,46}$	$\frac{0,32 \pm 0,04}{0,11}$	$\frac{0,09 \pm 0,006}{0,016}$
Морква	2008	$\frac{17,86 \pm 2,04}{9,56}$	$\frac{10,86 \pm 1,18}{5,55}$	$\frac{7,7 \pm 0,64}{3,02}$	$\frac{3,53 \pm 0,26}{1,22}$	$\frac{0,94 \pm 0,16}{0,97}$	$\frac{1,02 \pm 0,21}{0,97}$	$\frac{0,59 \pm 0,08}{0,37}$	$\frac{0,47 \pm 0,08}{0,4}$	$\frac{0,16 \pm 0,04}{0,2}$
	2009	$\frac{11,97 \pm 0,84}{2,9}$	$\frac{8,63 \pm 0,92}{3,19}$	$\frac{6,61 \pm 0,77}{2,65}$	$\frac{2,97 \pm 0,17}{0,58}$	$\frac{0,67 \pm 0,07}{0,25}$	$\frac{0,63 \pm 0,11}{0,39}$	$\frac{0,44 \pm 0,06}{0,22}$	$\frac{0,28 \pm 0,06}{0,21}$	$\frac{0,11 \pm 0,02}{0,09}$
Буряк	2008	$\frac{18,9 \pm 4,48}{13,45}$	$\frac{7,29 \pm 0,68}{2,05}$	$\frac{8,07 \pm 0,6}{1,79}$	$\frac{2,73 \pm 0,55}{1,66}$	$\frac{0,65 \pm 0,22}{0,67}$	$\frac{0,65 \pm 0,05}{0,15}$	$\frac{0,57 \pm 0,09}{0,26}$	$\frac{0,29 \pm 0,03}{0,09}$	$\frac{0,08 \pm 0,02}{0,05}$
	2009	$\frac{13,45 \pm 1,15}{1,62}$	$\frac{6,2 \pm 0,2}{0,28}$	$\frac{8,0 \pm 0,8}{1,31}$	$\frac{2,75 \pm 1,35}{1,91}$	$\frac{0,6 \pm 0,4}{0,57}$	$\frac{0,56 \pm 0,06}{0,08}$	$\frac{0,41 \pm 0,03}{0,042}$	$\frac{0,27 \pm 0,09}{0,13}$	$\frac{0,09 \pm 0,01}{0,014}$
Капуста	2008	$\frac{10,93 \pm 1,63}{5,42}$	$\frac{6,68 \pm 1,02}{3,37}$	$\frac{6,48 \pm 0,54}{1,79}$	$\frac{2,96 \pm 0,43}{1,42}$	$\frac{0,62 \pm 0,13}{0,42}$	$\frac{0,5 \pm 0,07}{0,23}$	$\frac{0,78 \pm 0,05}{0,16}$	$\frac{0,3 \pm 0,06}{0,2}$	$\frac{0,11 \pm 0,007}{0,03}$
	2009	$\frac{7,12 \pm 1,04}{1,8}$	$\frac{2,99 \pm 1,12}{1,93}$	$\frac{3,45 \pm 1,04}{1,8}$	$\frac{1,34 \pm 0,23}{0,41}$	$\frac{0,39 \pm 0,04}{0,06}$	$\frac{0,45 \pm 0,03}{0,05}$	$\frac{0,56 \pm 0,05}{0,08}$	$\frac{1,15 \pm 0,02}{0,04}$	$\frac{0,06 \pm 0,03}{0,05}$
Грунт	2008	$\frac{3,74 \pm 0,44}{1,79}$	$\frac{10,04 \pm 2,46}{10,05}$	$\frac{5,21 \pm 0,49}{1,93}$	$\frac{1,77 \pm 0,32}{1,29}$	$\frac{1,3 \pm 0,22}{0,92}$	$\frac{1,37 \pm 0,22}{0,87}$	$\frac{0,87 \pm 0,15}{0,62}$	$\frac{0,99 \pm 0,21}{0,86}$	$\frac{0,19 \pm 0,04}{0,15}$
	2009	$\frac{3,53 \pm 0,29}{1,35}$	$\frac{10,83 \pm 2,4}{11,28}$	$\frac{4,75 \pm 0,31}{1,44}$	$\frac{1,56 \pm 0,24}{1,12}$	$\frac{1,5 \pm 0,21}{1,01}$	$\frac{1,13 \pm 0,12}{0,57}$	$\frac{0,76 \pm 0,11}{0,51}$	$\frac{0,98 \pm 0,19}{0,89}$	$\frac{0,12 \pm 0,01}{0,06}$

Дослідження часових змін середнього вмісту хімічних елементів (важких металів) у таких овочах, як картопля, морква, буряк та капуста надає можливість говорити про зміни у формуванні екологічної якості овочевої продукції широкого споживання, бо ця продукція вирощена у більшості випадів на приватних присадибних ділянках для власних потреб і майже повсякденно вживається у їжу. Внаслідок цього постає питання накопичення важких металів вже в організмі людини, що може призвести до вельми негативних наслідків та захворювань.

Найбільші значення середнього вмісту та найбільші коливання значень (СКО) визначено для Fe у овочах: у 4-5 разів для буряка, для капусти – у 2-3 рази. Для ґрунту найбільші значення показників є для Mn. У ґрунті визначено перевищення середнього вмісту Pb у порівнянні з овочами – для капусти майже у 2,5 рази.

Характер часових змін вмісту хімічних елементів у зразках картоплі наведено на рис.1. З аналізу цих змін визначено, що зменшується вміст Fe в 1,2 разу, а збільшується вміст Mn майже в 1,5 разу у зразках картоплі 2009 року у порівнянні з 2008 роком. Ці результати можна пояснити кількістю опадів, які сформували складову водного режиму ґрунтів. А відомо, що у посушливі роки рослини акумулюють залізо, а у вологі – манган.

При порівнянні вмісту хімічних елементів у зразках моркви (рис.2) різних років визначено зменшення більшої кількості хімічних елементів, а саме: Fe, Mn, Zn, Cu в 1,5 – 1,2 разу. Однак не спостерігається збільшення середнього вмісту ні для жодного з хімічних елементів.

Якщо оцінити екологічну якість моркви, вирощеної в різних соціально-економічних умовах, тобто в умовах сільської місцевості та урбосистемах (рис.3), то можна визначити зміни її якості у 2009 році як для агросистем приміських зон, так і для урбосистем. Але спостерігається збільшення вмісту хімічних елементів у зразках моркви, вирощеної на чорноземах, типових у сільській місцевості у порівнянні зі зразками, що вирощені в умовах урбосистем у 2008 році Mn у 1,2 разу, а у 2009 році визначено збільшення Fe, Mn та Zn у 1,2 рази. Майже однаковий вміст хімічних елементів за ці роки визначено у моркві, вирощеної у згаданих умовах, для Ni, Pb, Co, Cr та Cd.

Аналіз отриманих даних щодо вмісту хімічних елементів у буряку (рис.4) вказує на зменшення їх кількості у 2009 році тільки для Mn та Fe (майже у 1,5 разу), збільшення вмісту хімічних елементів не визначено. Вміст решти хімічних елементів майже однаковий.

При порівнянні вмісту хімічних елементів у капусті (рис.5) за 2008-2009 роки можна говорити про зміни та деяке покращення її екологічної якості завдяки зменшенню вмісту майже усіх хімічних елементів окрім Cr, де спостерігається збільшення його вмісту майже в 4 рази.

Для порівняльного аналізу формування екологічної якості овочів, вирощених на чорноземі типовому, розраховано коефіцієнт акумуляції важких металів як відношення вмісту певного хімічного елемента в овочі до його вмісту в ґрунті. Результати розрахунків надано на рис. 6-9.

При поелементному порівнянні коефіцієнта акумуляції важких металів у овочах визначається, що протягом двох років акумулюється у всіх овочах найбільше Fe (2008 рік – від 3,3 до 5,7; 2009 рік – від 3,1 до 5,7) та Cu (2008 рік від 1,3 до 3,0; 2009 рік від 1,4 до 5,3). Чіткої закономірності акумуляції хімічних елементів у цих овочах не простежується при порівнянні їх значень протягом двох років. Для картоплі врожаю 2009 року визначено найбільші значення коефіцієнта акумуляції для 8 елементів з 10, окрім Cr. Якщо побудувати акумулятивні ряди для всіх цих овочів, виходячи із значень коефіцієнта акумуляції (враховуються значення >1), то отримаємо такі дані (табл.2):

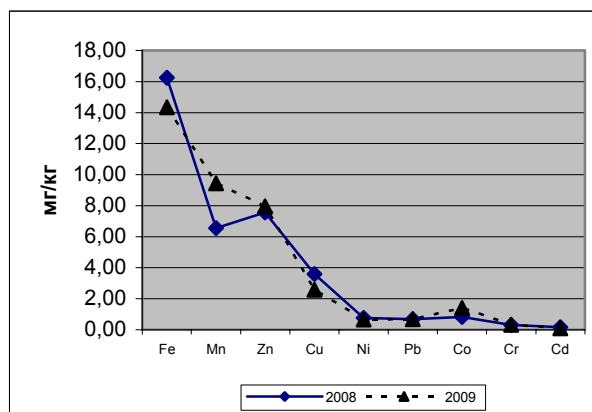


Рис. 1 – Вміст хімічних елементів у зразках картоплі (2008-2009рр.)

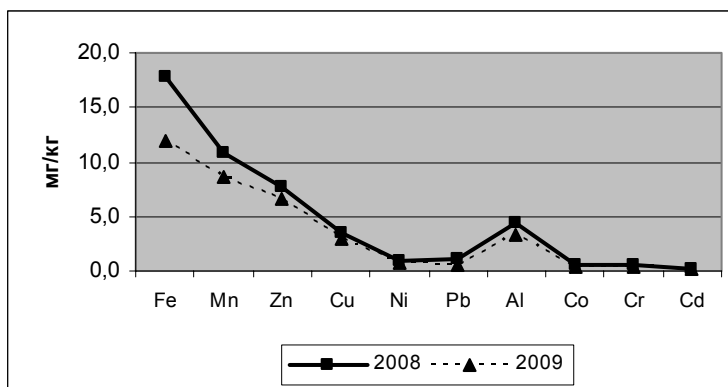


Рис. 2 – Вміст хімічних елементів у зразках моркви (2008-2009рр.)

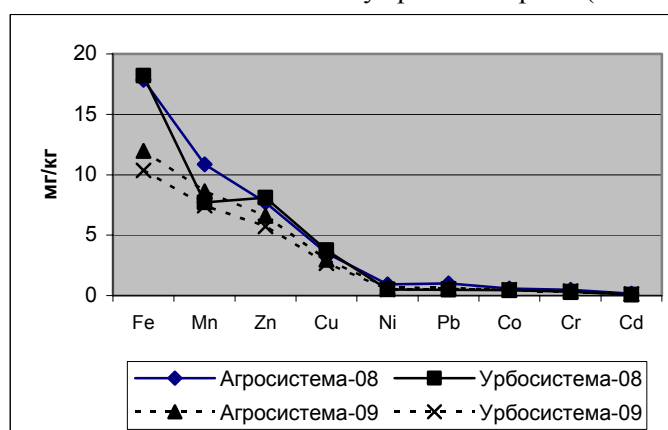


Рис. 3 – Вміст хімічних елементів у зразках моркви, що вирощена в умовах сільської місцевості і урбосистем

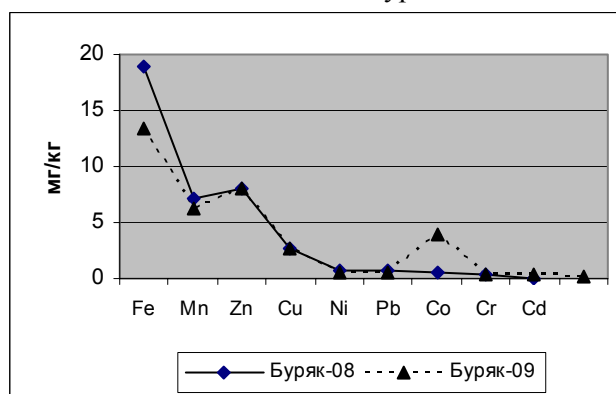


Рис. 4 – Вміст хімічних елементів у зразках буряку (2008-2009 рр.)

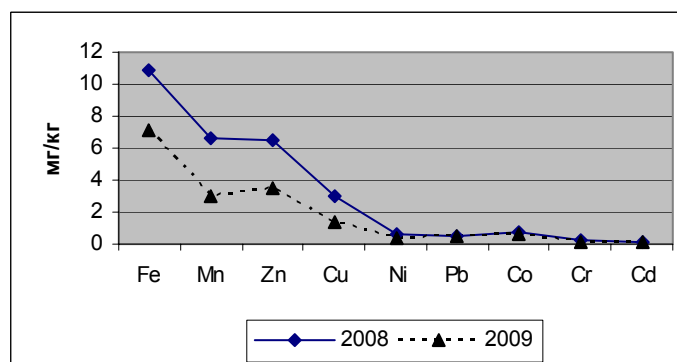


Рис. 5 – Вміст хімічних елементів у зразках капусти (2008-2009 рр.)



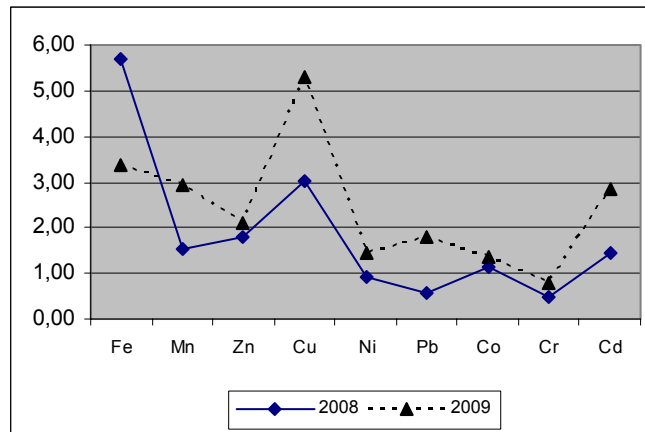


Рис. 6 – Коефіцієнт акумуляції важких металів у зразках картоплі (2008-2009рр.)

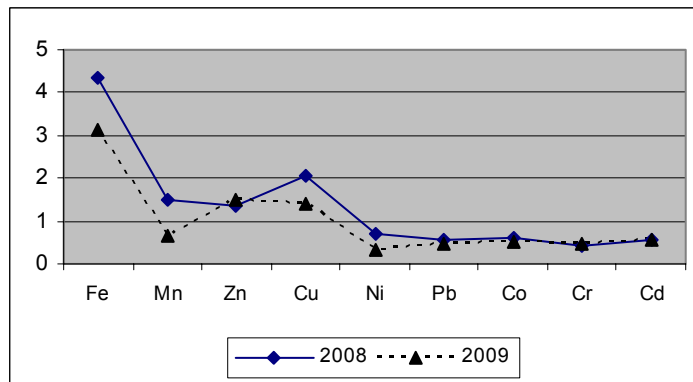


Рис. 7 – Коефіцієнт акумуляції важких металів у зразках моркви (2008-2009рр.)

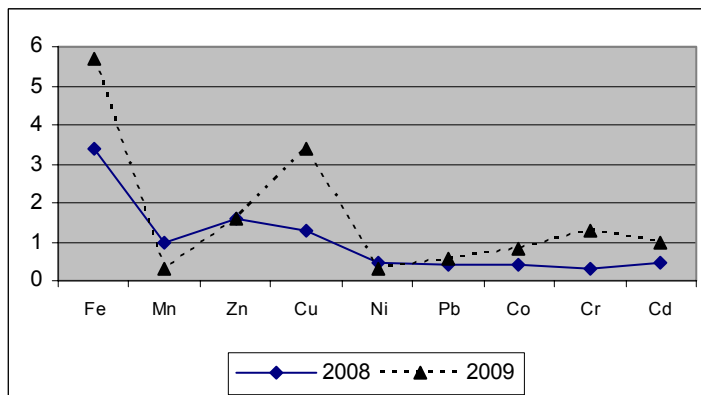


Рис. 8 – Коефіцієнт акумуляції важких металів у зразках буряку (2008-2009рр.)

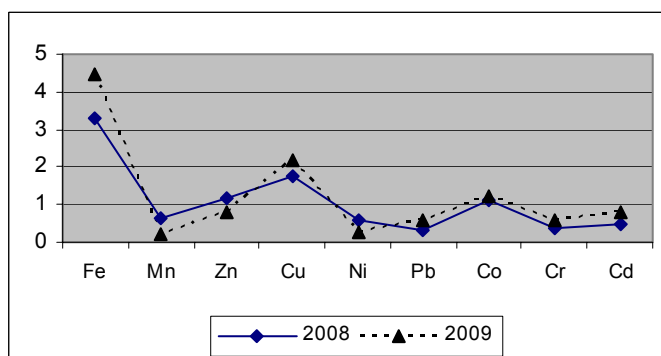


Рис. 9 – Коефіцієнт акумуляції важких металів у зразках капусти (2008-2009 рр.)

Побудова акумулятивних рядів вказує на пріоритетність місця розташування хімічних елементів та формування певних асоціацій хімічних елементів. На першому місці визначено Fe для всіх овочів протягом двох років (окрім картоплі 2009 року), Cu та Zn посідають друге місце. Манган посідає 3-4 місце і зустрічається тут лише у картоплі та моркві. Різні положення в акумулятивних рядах займають Cd, Zn, Pb, Ni, Co.

Таблиця 2 – Акумулятивні ряди у овочах (2008-2009 рр.)

Овочі	2008	2009
Картопля	Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Co	Cu, Fe, Mn, Cd, Zn, Pb, Ni, Co
Морква	Fe, Cu, Mn, Zn	Fe, Zn Cu,
Буряк	Fe, Zn, Cu	Fe, Cu, Zn, Cr
Капуста	Fe, Cu, Zn	Fe, Cu, Al, Co

**Висновки.** Моніторингові трофогеографічні дослідження екологічної якості овочевої продукції, вирощеної в однакових природних умовах, і визначення вмісту важких металів дозволяють зробити такі висновки:

1. Визначена загальна тенденція зменшення вмісту майже всіх важких металів у зразках овочів та ґрунту 2009 року у порівнянні з 2008 роком відповідно.

2. Найбільші значення середнього вмісту та найбільші коливання значень (СКО) визначено для Fe у овочах: для буряку та капусти. Для ґрунту найбільші значення показників є для Mn. У ґрунті визначено перевищення середнього вмісту Pb у порівнянні з овочами.

3. З аналізу акумулятивних рядів для всіх овочів протягом двох років пріоритетним визначено Fe (окрім картоплі 2009 року), Cu та Zn посідають друге місце. Змінні положення у акумулятивних рядах займають Mn, Cd, Zn, Pb, Ni, Co, що свідчить про вплив багатьох різноманітних факторів на хімічний склад рослинної продукції.

4. Моніторингові багаторічні просторово-часові дослідження вмісту хімічних елементів, у т.ч. важких металів, у овочах надають можливість підійти до визначення географічного фону регіонального рівня – північного сходу лісостепової зони України, а також визначити пріоритетні асоціації фоноформуючих важких металів для згаданого регіону.

### Список літератури

1. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас; пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
2. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
3. Дуглас П. Оморд. Воздействие загрязнения микроэлементами на растения // Загрязнение воздуха и жизнь растений. Под ред. Майкла Трешоу. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 2003. – 117 с.
4. Фононий вміст мікроелементів у ґрунтах України / За ред. док.с.-г.н. А.І. Фадєєва і к.с.-г.н. Я.В. Пашенка. – Харків: Прапор. – 2003. – 117с.
5. Добровольский Г. В. Экологические функции почвы / Г. В. Добровольский, Е. Д. Микитин. – М.: МГУ, 1986. – 136 с.
6. Некос А. Н. Спільності і відмінності у накопиченні важких металів в рослинній продукції на території країн, розташованих у різних географічних поясах // Людина і довкілля. Проблеми неоекології. – 2009. - №2 (13). – С. 43 – 49.
7. Некос А. Н. Вплив різних геоморфологічних і ґрунтових умов на екологічну безпеку рослинної продукції, що продукується в умовах лісостепу // Метеорологія, кліматологія та гідрологія: Між від. наук. збірник України. – Вид. «Екологія», 2008. – Вип. 50. – Ч. 1. – С. 349 – 353.
8. Некос А. Н. Регіональна зумовленість трофогеографічних закономірностей рослинної продукції широкого вжитку (закономірності екологічної якості рослинних продуктів) // Вісник ХНУ. Сер. Екологія. – 2009. - № 849. – С. 16 – 27.

### Мониторинг экологического качества овощной продукции широкого потребления. Некос А. Н.

*Предоставлены результаты мониторинговых исследований экологического качества овощной продукции широкого потребления (картофеля, моркови, свеклы и капусты), выращенной на частных участках в условиях лесостепной зоны Украины. Определено содержание тяжелых металлов, представлены результаты статистической обработки.*

**Ключевые слова:** трофогеографические исследования, мониторинг, тяжелые металлы, экологическое качество, овощная продукция.

### Ecological quality monitoring of wide consumption vegetable products. Nekos A. N.

*The results of ecological quality monitoring researches of wide consumption vegetable products (potato, carrot, beet and cabbage), reared on private areas in the conditions of forest-steppe area of Ukraine, are given. The content of heavy metals, the results of statistical treatment are given.*

**Keywords:** trofogeography researches, monitoring, heavy metals, ecological quality, vegetable products.

## **СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА В УКРАИНЕ**

*Выполнен анализ функционирования систем радиационного мониторинга на атомных электростанциях Украины. Проанализированы данные об аналогичных системах, действующих в других странах. Оценено взаимосвязь энергонапряженности территорий и контролируемых площадей.*

**Ключевые слова:** радиационный мониторинг, система контроля, атомная электростанция.

**Введение.** По данным МАГАТЭ, ныне в 31 стране мира действуют 442 ядерных реактора, на которых вырабатывается электроэнергия. На их долю приходится 16 % электричества, произведенного в мире. При этом количество ядерных реакторов в США составляет 103, во Франции – 59, Японии – 54, России – 31, Великобритании – 23, Украине – 19 (из них 4 законсервированы) [1].

Кроме того, в середине 2007 г. строились 28 новых реакторов (в Индии, Китае, Южной Корее, Болгарии, Финляндии и др.). Также 62 реактора находились в стадии получения разрешений на строительство, а еще 162 – в процессе разработки проектов. По прогнозам, к 2020 г. в мире появятся еще 60 ядерных электростанций, а производство электроэнергии на АЭС увеличится на 65 %.

На долю США, Франции и Японии приходится 49 % всех АЭС мира и 57 % всей «ядерной» электроэнергии. Процент удовлетворения потребностей в электроэнергии за счет работы АЭС представляется так: Литва – 80 %, Франция – 76 %, Словакия, Бельгия, Швеция - > 50 %, Болгария, Венгрия, Южная Корея, Швейцария, Словения, Украина - > 30 %, Япония, Германия, Финляндия – 25 %.

В Украине до 2030 г. предусмотрено введение в эксплуатацию двух десятков новых энергоблоков на АЭС.

Ядерные атаки конца Второй мировой войны, аварии разного уровня на АЭС с утечкой радиации (АЭС «Три-Майл-Айленд» в США, «Челябинск-40» в 1957 г., взрыв радонового отстойника на Ленинградской АЭС в конце 1970-х гг.) и техногенная катастрофа в Чернобыле способствовали формированию негативного мнения о ядерной энергетике.

При этом на симпозиуме по электроэнергии и окружающей среде (Хельсинки, 1991 г.) эксперты пришли к заключению [2]:

- при нормальных условиях эксплуатации ядерная энергетика и возобновляемые системы имеют тенденцию занимать нижнюю область спектра риска для здоровья, а энергетические системы, использующие уголь и нефть, находятся в верхней области этого спектра;

- риски для здоровья от тяжелых аварий на АЭС и ТЭС на нефти и газе имеют один порядок величины и на два порядка меньше, чем риск от гидравлического способа получения энергии (например, Саяно-Шушенская ГЭС).

Возможность выхода радиоактивных веществ за пределы контролируемых зон предприятий ядерного топливного цикла безусловно создает угрозу на обширных территориях для среды обитания, обуславливает необходимость предпринимать комплекс мер по обеспечению безопасности населения. Складирование отходов может привести к их утечке из мест захоронения сейчас или в будущем. Поэтому актуальной задачей является организация и функционирование системы мониторинга



радиационной обстановки в районе размещения АЭС (и прилегающих зонах), а также на остальных территориях Украины.

*Целью работы* является анализ функционирования систем радиационного мониторинга на АЭС Украины, а также оценка связи энергонапряженности территорий размещения АЭС и контролируемых площадей.

*Объект и исходные материалы исследований.* Объектами исследования являются системы радиационного мониторинга, функционирующие на АЭС Украины (Запорожская, Южно-Украинская, Ровенская и Хмельницкая АЭС). Были использованы официальные материалы, размещенные на сайтах электростанций, а также опубликованные материалы об аналогичных системах мониторинга в странах бывшего СССР и др.

*Методы исследований.* В работе предложена методика, основанная на использовании приведенных показателей энергонапряженности территорий ( $F$ ) и удельных контролируемых площадей ( $E$ ). На рис. 1 приведены обобщенные данные, связывающие эти показатели, для некоторых европейских государств. Зависимость включает как данные для территорий государств в целом (Германия, Великобритания), так и для наблюдаемых площадей, прилегающих к АЭС (Россия и др.).

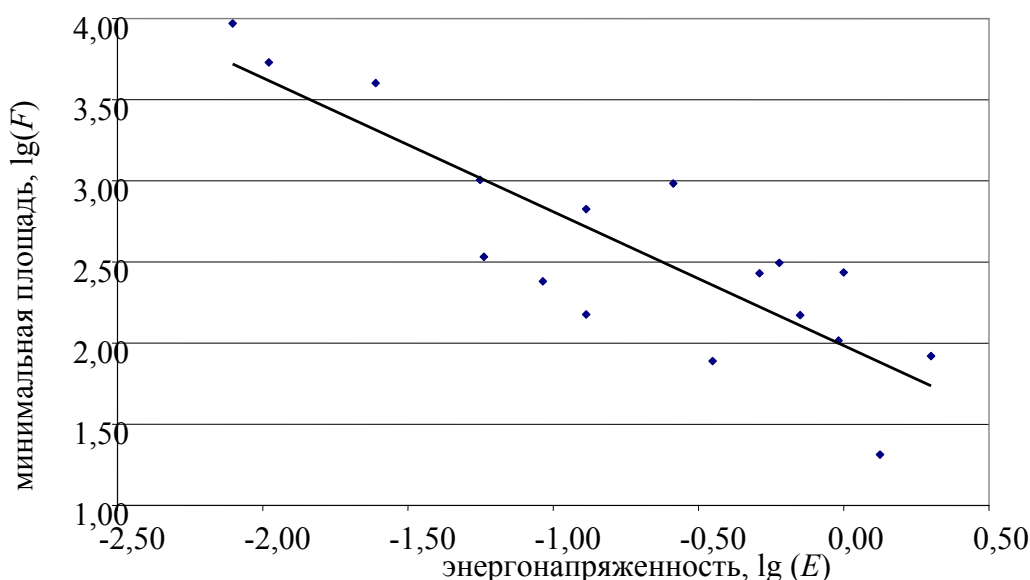


Рис. 1 - Влияние энергонапряженности на минимальный размер контролируемой территории.

Совместный анализ данных, позволяет отметить устойчивую их корреляцию. В логарифмических координатах эта связь достаточно корректно аппроксимируется линейной функцией с коэффициентом корреляции около 0,9.

Зависимость имеет обратно пропорциональный характер и практически охватывает весь интервал использованных статистических данных степенным соотношением вида

$$F = 1,9846 \cdot E^{-0,8254}, \quad (1)$$

где  $F$  - энергонапряженность территории, МВт/км<sup>2</sup>;  
 $E$  - размер контролируемых площадей, км<sup>2</sup>/пост.

**Результаты исследований и их анализ.** Радиационно-экологическая составляющая мониторинга имеет три основных направления:

- оценка и контроль радиационного состояния приземного слоя атмосферы, компонентов наземных и водных экосистем, продуктов питания и др.;
- изучение воздействия на окружающую среду техногенных объектов, мест хранения и захоронения радиоактивных отходов и др.;
- наблюдение за миграцией радионуклидов в компонентах окружающей среды с целью прогноза изменения радиационной обстановки.

Системы регулярных длительных наблюдений, обнаружения и оповещения в районах, прилегающих к АЭС, и на сопредельных территориях создаются на внутривнутригосударственном уровне и в рамках международного сотрудничества.

На АЭС Украины наблюдения за уровнем радиоактивного загрязнения ведутся с помощью автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) – обычно на промплощадке АЭС и в 30-ти километровой зоне [3 - 5]. АСКРО включает:

- посты контроля мощности  $\gamma$ -дозы на территории АЭС, в санитарно-защитной зоне и в 30-ти километровой зоне;
- автоматизированные метеостанции (температура и относительная влажность воздуха, скорость и направление ветра, атмосферное давление, количество осадков, температура почвы и поверхности воды);
- метеолокаторы высотного контроля;
- передвижные лаборатории радиометрического и  $\gamma$ -спектрометрического анализа проб воды и воздуха, плотности загрязнения поверхности радионуклидами.

Концепция мониторинга российских и американских проектов предусматривает контроль только прилегающих к станции территорий, разделенных на три зоны:

- промплощадка, где находится непосредственно реактор и другие сооружения;
- санитарно-защитная зона – в радиусе 3 км вокруг станции, в которой запрещена любая хозяйственная деятельность (выпас скота, выращивание сельхозпродукции и т.п.);
- зона наблюдения – 30 км, в которой осуществляется тщательный контроль влияния АЭС на окружающую среду. Радиационное состояние зоны наблюдения станций контролируется согласно «Регламенту радиационного контроля АЭС».

Система мониторинга на промплощадках АЭС и в прилегающих территориях является неотъемлемой частью системы контроля и управления станций, обеспечивающих их экологическую безопасность.

Радиационный мониторинг в районе размещения АЭС ведется с момента закладки промплощадки, когда выполняются фоновые замеры радиоактивности основных природных объектов.

В Великобритании функционируют 2 национальные системы мониторинга и ряд автономных. Средства оповещения и мониторинга UKWMOB предназначены для ситуаций радиоактивного поражения. Информация о ядерных взрывах поступает на пункты управления от 872 постов мониторинга (территория Великобритании разделена на 5 секторов, в каждом 5 групп по 35 постов мониторинга). В каждой группе пункт управления собирает информацию от постов мониторинга и оповещает об угрозе выпадения радиоактивных осадков.

Общегосударственная сеть мониторинга утечки радиоактивных веществ, созданная в рамках национальной программы 1987 г., базируется на 80-90 метеорологических станциях страны RIMNET.

Вокруг предприятия по переработке и хранению отработанного ядерного топлива в Селлафилде установлена автоматизированная система радиационного мониторинга из 37 постов компании BRITISH NUCLEAR FNOEL .

В Германии функционирует информационная система федерального правительства «Радиоактивность окружающей среды». Она обеспечивает:

- непрерывное наблюдение за радиоактивностью в окружающей среде;
- заблаговременное выявление и оценку возможных событий при невысоких уровнях воздействия радиоактивных веществ;
- постоянное прогнозирование обстановки при аналогичных случаях с учетом воздействия радиоактивных веществ на население;
- получение данных о последствиях воздействия на население высоких уровней радиоактивности окружающей среды.

Интегрированная система для контроля радиоактивности на территории страны трехступенчатая:

- 1) измерительные посты определения радиоактивности в окружающей среде;
- 2) сбор, обработка и документирование данных от постов административными учреждениями страны;
- 3) систематизация и оценка наблюдаемой радиоактивности центральной станцией страны.

Число измерительных постов, отстоящих примерно на 13 км друг от друга, около 2000.

В США вокруг каждой АЭС имеется 16 дозиметрических приборов «Сентри RCE-1012» на расстоянии примерно 4 км от площадки АЭС по одному в каждом секторе круга, рассчитанные на регистрацию  $\gamma$ -излучения. Создается автоматическая система контроля газов, выделяемых АЭС. Информация концентрируется в командном пункте управления ядерной безопасности штата.

Во Франции разработана бортовая система аэросъемки уровней радиации на поверхности Земли. Она служит для обнаружения точечных источников ионизирующего излучения или радиоактивного загрязнения больших площадей.

В табл. 1 приведены обобщенные данные по мониторингу радиационной обстановки в различных странах.

Таблица 1 - Обобщенные данные по мониторингу радиационной обстановки

Страна	Установленная мощность ядерных блоков, МВт	Территория, тыс.км <sup>2</sup>	Население, млн.чел.	Кол-во постов	Энерго-напряженность, МВт/тыс.км <sup>2</sup>	Размер контролируемых площадей, тыс.км <sup>2</sup> /пост	Энерго-вооруженность, МВт/млн.
Болгария	2722	110,9	7,32	26	24,5	4,27	371,7
Велико-британия	12020	130,3	49,99	996	92,2	0,13	240,4
Германия	20643	357,0	82,60	2000	57,8	0,18	249,9
Финляндия	2656	337,0	5,10	35	7,88	9,63	520,8
США	99096	9400,0	250,00	1664	10,5	5,65	396,4
Украина	11190	603,5	46,9	241	21,7	2500	238,6

Приведенные относительные показатели позволяют отметить, что при достаточно высокой энергонапряженности территорий Великобритании и Германии (50 - 90 МВт/тыс.км<sup>2</sup>) имеет место сравнительно низкая энерговооруженность населения (240 МВт/млн.). При этом на каждый пост контроля радиационной обстановки приходится менее 200 км<sup>2</sup>.

В США при близких значениях энергонапряженности наблюдается большая энерговооруженность населения и более чем в два раза большая территория, контролируемая одним постом радиационной обстановки.

В советских проектах АЭС (Болгария, Финляндия) контролируемая одним постом территория близка к американским проектам, идеология которых предусматривает мониторинг только прилежащих территорий, в отличие от системного подхода европейских проектов.

Анализ аналогичных данных по АЭС Украины (табл. 2) показывает, что энергонапряженность зоны наблюдения пропорциональна установленной мощности и не превышает 2 МВт/км<sup>2</sup>. Минимальна она на Хмельницкой станции, где имеется всего два энергоблока. При расчете параметров Чернобыльской станции с учетом увеличения зоны наблюдения до 60 км энергонапряженность не превышает 0,4 МВт/км<sup>2</sup>.

Таблица 2 – Параметры зон наблюдения и соответствующие им показатели систем контроля радиационной обстановки АЭС Украины

Параметр	АЭС					
	Запорожская	Ровенская	Хмельницкая	Южноукраинская	Чернобыльская	
					расширен.	стандарт.
Пункты, един.	36	29	19	11	146	146
Территория, км <sup>2</sup>	3000	3000	2826	3000	11304	3000
Население, тыс.	300	130	200	180	200	200
Мощность, МВт	6000	2880	2000	3000	4000	4000
Энергонапряженность, МВт/тыс.км <sup>2</sup>	2000	960	710	1000	350	1330
Обеспеченность, км <sup>2</sup> /пост	83,33	103,4	148,74	272,73	77,42	20,55

Сравнивая эти показатели с данными для европейских станций по странам в целом (табл. 1), можно отметить, что для Украины в целом энергонапряженность территории соответствует умеренным значениям и вдвое превышает этот показатель для высокоразвитой индустрии США, но при этом в 2 - 4 раза меньше, чем в развитых странах Евросоюза.

Энерговооруженность населения ядерной энергией одинакова с показателем для Великобритании и Германии.

Территория, контролируемая одним постом, в два раза меньше чем в США, но на порядок больше чем в ведущих европейских системах.

Аналогичная картина наблюдается и для количества населения, приходящегося на один пост контроля и контролируемой одним постом установленной мощности.

Автоматизированные системы контроля за радиационной обстановкой станций отличаются между собой территорией, контролируемой одним постом. Наихудшим следует считать ситуацию на Южно-Украинской АЭС, где на один пост контроля приходится почти 300 км<sup>2</sup>. Наилучшим образом дело обстоит на Запорожской АЭС и в зоне отчуждения.

Сопоставляя их с аналогичными показателями отдельных регионов Российской Федерации (табл. 3), видно, что для зон наблюдения отечественных станций обеспеченность контроля территорий в 2 - 8 раз выше, хотя абсолютная обеспеченность постами контроля сопоставима. Указанное отличие, скорее всего, обусловлено отличием размеров регионов, принятых для сравнения.



Таблица 3 - Параметры зон наблюдения и соответствующие им показатели систем контроля радиационной обстановки АЭС России

Параметр	Регионы и АЭС					
	Кольский	Ленинградская	Мурманский	Смоленская	Москва	Курская
Пункты, един.	31	16	23	16	52	29
Территория, тыс.км <sup>2</sup>	31,4	15,4	15,4	5,0	7,8	7,8
Мощность, МВт	1760	4000	2000	3000	1000	4000
Напряженность, МВт/тыс.км <sup>2</sup>	56,1	260	130	597	127	510
Обеспеченность, тыс.км <sup>2</sup> /пост	1,01	0,962	0,669	0,314	0,151	0,271

**Выводы.** В работе выполнен сравнительный анализ функционирования систем радиационного мониторинга на территории Украины и в других странах (РФ, страны ЕЭС, США). В результате выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Системы радиационного мониторинга Украины в части АЭС базируются на современных автоматизированных системах контроля за радиационной обстановкой.
2. Обеспеченность наблюдаемых территорий АЭС соответствует современному мировому уровню пользователей ядерной энергии.
3. Отсутствие информации о средствах мониторинга иных предприятий ядерного топливного цикла позволяет предполагать низкий уровень эффективности мониторинга либо отсутствие такового.

#### Список литературы

1. Коваленко Г.Д. Радиоэкология Украины. – Харьков: ИД «Инжек», 2008. – 264 с.
2. Бликс Х. Атомная энергия и окружающая среда // Экологические системы. – 2005. - № 8. – С. 5 - 7.
3. Офіційний веб-сайт ВП «Хмельницька АЕС» [www.xaec.org.ua](http://www.xaec.org.ua).
4. Офіційний веб-сайт Запорізької АЕС [www.npp.zp.ua](http://www.npp.zp.ua).
5. Офіційний веб-сайт Рівненської АЕС [www.rnpp.rv.ua](http://www.rnpp.rv.ua).

#### Системи радіаційного моніторингу в Україні. Чугай А.В., Ковальчук В.І.

Виконано аналіз функціонування систем радіаційного моніторингу на атомних електростанціях України. Проаналізовано дані про аналогічні системи, що діють в інших країнах. Оцінено взаємозв'язок енергонапруженості територій і контрольованих площ.

**Ключові слова:** радіаційний моніторинг, система контролю, атомна електростанція.

#### Systems of radiation monitoring in Ukraine. Chugai A.V., Kovaltchuk V.I.

The analysis of functioning of the systems of the radiation monitoring on the atomic power station of Ukraine is executed. Information about similar systems operating in other countries is analysed. Intercommunication of energy tension of territories and controlled areas is appraised.

**Keywords:** radiation monitoring, checking system, atomic power station.

УДК 504.3.054

Бургаз О.А. ас. Гарабажій Т.А. ас.

Одеський державний екологічний університет

## ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО РЕГІОНУ ОКИСЛАМИ АЗОТУ

*Досліджені особливості просторової структури полів окислів азоту в атмосфері європейського регіону. На основі матриць вихідних значень загального вмісту окислів азоту були побудовані матриці осереднених значень. Були побудовані та досліджені поля осереднених значень. Виявлена часова динаміка загального вмісту окислів азоту та зроблена спроба пояснення її сезонного характеру.*

**Ключові слова:** окисли азоту, структура, поля, градієнти, формування.

**Загальна постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загально визнаним є той факт, що з'єднання азоту здатні впливати на умови навколишнього середовища, змінювати якість їжі, впливати на клімат і трансформувати параметри гідросфери. Надмірне вживання нітратів призводить до забруднення вод і погіршення якості продуктів харчування. Крім цього, закис азоту ( $N_2O$ ), двоокис азоту ( $NO_2$ ) і окисел азоту ( $NO$ ), відносячись до малих газових складових атмосфери, роблять істотний вплив на формування процесів поглинання в атмосфері оптичного випромінювання. Незначні відхилення в їх концентраціях можуть викликати відчутні кліматичні варіації біля поверхні Землі [1 – 4]. Кругообіг азоту тісно пов'язаний з потоками вуглецю, сірки і інших хімічних елементів [5, 6].

Основною метою даного дослідження є виявлення особливостей просторово-часових характеристик забруднення атмосфери європейського регіону (між  $70,875$  та  $36^\circ$  півн. ш. та  $10,125^\circ$  зах. д. і  $49,5^\circ$  сх. д.) окислами азоту ( $NO_x$ ). Виходячи з цього були поставлені такі завдання:

- отримати матриці середньомісячних значень загального вмісту окислів азоту;
- побудувати та дослідити поля осереднених значень  $NO_x$  у визначеному секторі

**Матеріали і методи дослідження.** В якості вихідних були взяті дані міжнародного проекту GEMS [7]. Цей проект використовує дані, отримані за допомогою радіометрів високого дозволу, що встановлені на метеорологічних супутниках. Вихідна супутникова інформація була оброблена у моделі ре-аналізу з метою прив'язки даних до регулярної сітки точок. Вихідні дані представляють собою інформацію про загальний вміст окислів азоту у стовпі атмосфери площею поперечного перерізу  $1 \text{ м}^2$  і мають розмірність  $\text{кг}/\text{м}^2$ . Використовувалась строкова інформація про вміст окислів азоту за 12 годин (за Гринвічем) у регулярній сітці точок з просторовим дозволом  $1,125^\circ$  широти  $\times$   $1,125^\circ$  довготи за період з 1 січня 2003 р. по 31 грудня 2007 р. Таким чином ряд даних склав 1826 значень для кожного вузла сітки точок. Враховуючи крок сітки точок, загальна кількість вузлів склала 1728 значень.

На основі вихідних даних, були отримані середньомісячні значення загального вмісту окислів азоту в атмосфері. В результаті ми отримали ряд середньомісячних значень загального вмісту  $NO_x$  в атмосфері, що склав 60 членів для кожного вузла сітки точок. Це дало змогу побудувати матрицю середньомісячних значень загального вмісту окислів азоту в атмосфері розміром  $1728 \times 60$ . При дослідженні структури полів загального вмісту  $NO_x$  були також отримані поля середніх значень для кожного сезону окремо та для всього періоду дослідження.

**Результати дослідження та їх аналіз.** Осереднені поля  $NO_x$  представляють інтерес, так як відображають характер просторової мінливості окислів азоту з часом над територією Європи.

Розглядаючи структуру полів середньомісячних значень загального вмісту окислів азоту в атмосфері над європейським регіоном можна помітити їх яскраво виражений сезонний хід.

У зв'язку з цим, цілком достатньо обмежитись розглядом структури полів осереднених значень вмісту  $NO_x$  в центральних місяцях сезонів.

У зимовий період поля вмісту окислів азоту мають досить складний характер. Прикладом може бути поле загального вмісту окислів азоту у січні 2003 р. (рис. 1). Привертає увагу зона підвищених значень вмісту  $NO_x$  над територіями Великобританії та півночі Німеччини. Можна помітити, що ця зона складається з декількох осередків. Значення вмісту  $NO_x$  досягають  $14 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2$ . Саме ці осередки обумовлюють навколо себе зони великих меридіональних та зональних градієнтів, що досягають  $2 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2 / 1^\circ$  широти (довготи).

Ця зона підвищених значень вмісту  $NO_x$  обмежена  $60^\circ$  півн. ш. та  $25^\circ$  зах. д. Як можна побачити, на північ від  $60^\circ$  півн. ш. структура поля ізоліній вмісту окислів азоту має широтний характер з досить невеликими меридіональними градієнтами.

Зона на схід від  $25^\circ$  зах. д., характеризується наявністю декількох замкнутих осередків з середніми значеннями вмісту  $NO_x$  близько  $8,5 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2$ .

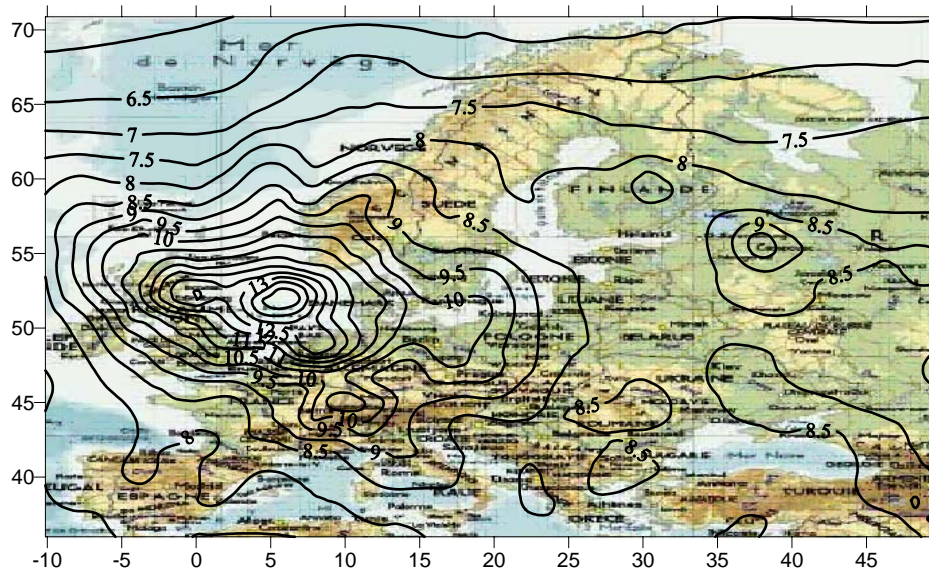


Рис. 1 – Поле середньомісячних значень загального вмісту  $NO_x$  (січень, 2003 р.).

Слід зазначити, що зона підвищених значень вмісту окислів азоту над північними районами західної Європи зберігається на протязі усього року. Звертає на себе увагу наявність подібної зони, щоправда меншого масштабу, над територією Ленінградської області з дещо меншими, у порівнянні із західноєвропейською зоною, значеннями загального вмісту  $NO_x$  в атмосфері.

Весняний період характеризується більш простою структурою полів осереднених значень вмісту окислів азоту. Як приклад, можна привести поле загального вмісту  $NO_x$  у квітні 2006 р. (рис. 2).



Зона максимуму зберігає своє положення, проте навесні відбувається досить значна релаксація поля вмісту  $NO_x$ . Значення концентрації окислів азоту у центрі зони досягають  $9 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2$ , а градієнти зменшуються вдвічі і становлять, відповідно,  $1 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2 / 1^\circ$  широти. На північ і на схід від області максимумів спостерігається малоградієнтне поле середніх значень загального вмісту  $NO_x$ . Подібна структура полів окислів азоту спостерігається і у травні (рис. 3).

Характерною особливістю полів вмісту  $NO_x$  у атмосфері можна назвати витягування зони максимальних значень із заходу на схід, що досить логічно пояснюється пануванням західно-східного переносу в атмосфері північної півкулі. Така особливість призводить до зменшення зональних градієнтів до значення  $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2 / 1^\circ$  довготи. Крім того, в даний період область максимумів зменшується за площею майже вдвічі.

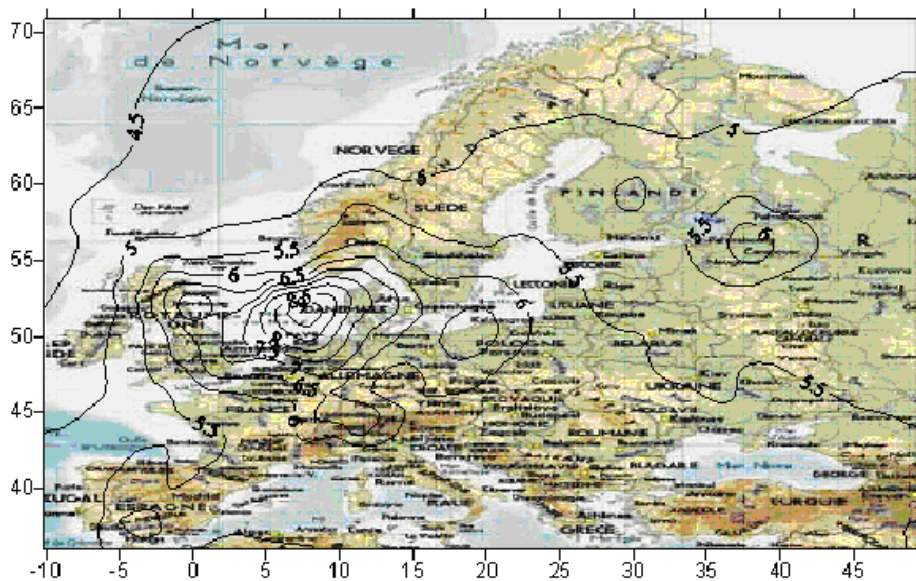


Рис. 2 – Поле середньомісячних значень загального вмісту  $NO_x$  (квітень, 2006 р.).

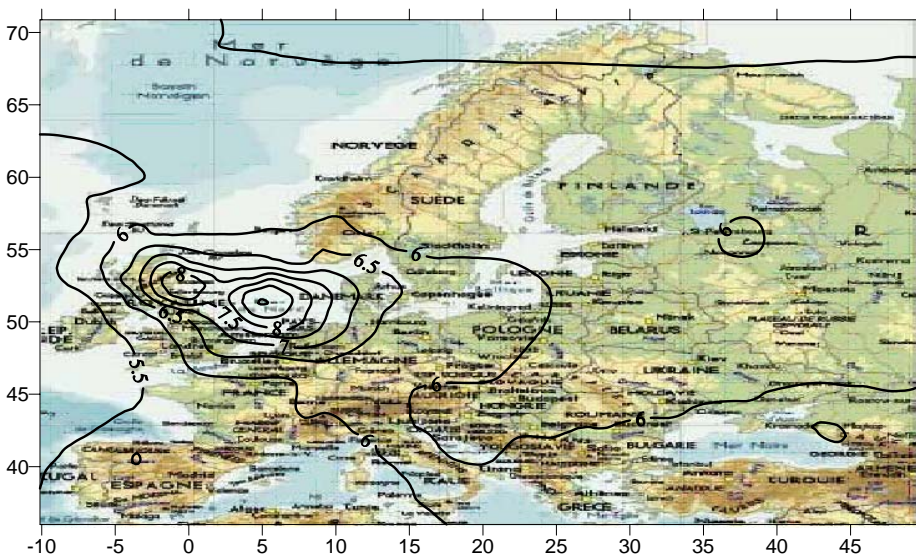


Рис. 3 – Поле середньомісячних значень загального вмісту  $NO_x$  (травень, 2006 р.).



Подібна структура полів середніх значень загального вмісту  $NO_x$  спостерігається і влітку (рис. 4). Слід відмітити, що в цей період зональні градієнти стають ще меншими, зменшуються також і меридіональні градієнти. Як видно з рисунку, над територією на схід від  $15^\circ$  сх. д. спостерігаються значення вмісту окислів азоту порядку  $(6,5 - 7) \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2$ . В літній період відбувається розмивання зони максимуму над територією Ленінградської області.

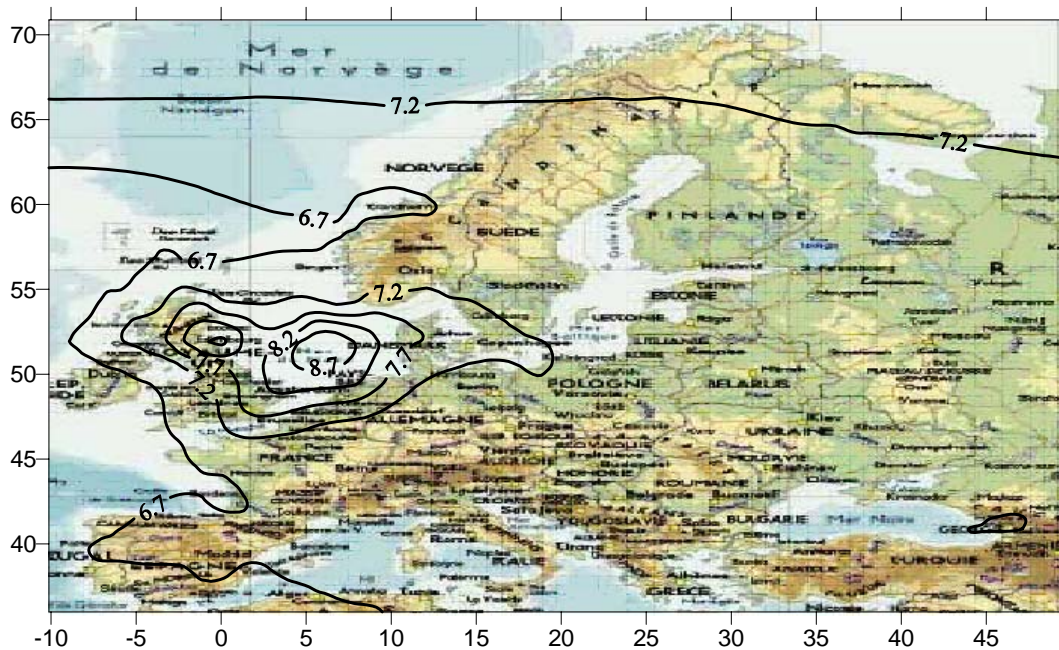


Рис. 4 – Поле середньомісячних значень загального вмісту  $NO_x$  (липень, 2005 р.).

Починаючи з вересня спостерігається обернений хід описаного вище процесу. Поле середніх значень загального вмісту окислів азоту у подібне до поля у квітні. Восени відбувається збільшення площі області максимуму над Німеччиною та Великобританією, а також збільшення меридіональних та зональних градієнтів поля, максимум концентрацій в ній збільшується до  $(8,5 - 7) \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2$ . Знову з'являється окрема зона підвищених значень вмісту  $NO_x$  над Ленінградською областю.

Якщо розглядати поля загального вмісту окислів азоту осереднені по сезону, то можна помітити, що вони майже повністю копіюють поля для центральних місяців сезонів, що були описані вище. Для прикладу можна навести поле значень загального вмісту  $NO_x$  для весняного періоду (рис. 5). Подібну структуру має і поле осереднених по всьому періоду дослідження значень вмісту окислів азоту в атмосфері (рис. 6).

Як відомо, значна частка окислів азоту надходить в атмосферу саме в результаті діяльності промислових підприємств. Сезонний характер формування структури полів  $NO_x$  та збільшення області максимуму в пізній осінній, зимовий та ранній весняний періоди, можна пояснити додатковими викидами окислів азоту в результаті функціонування ТЕЦ.

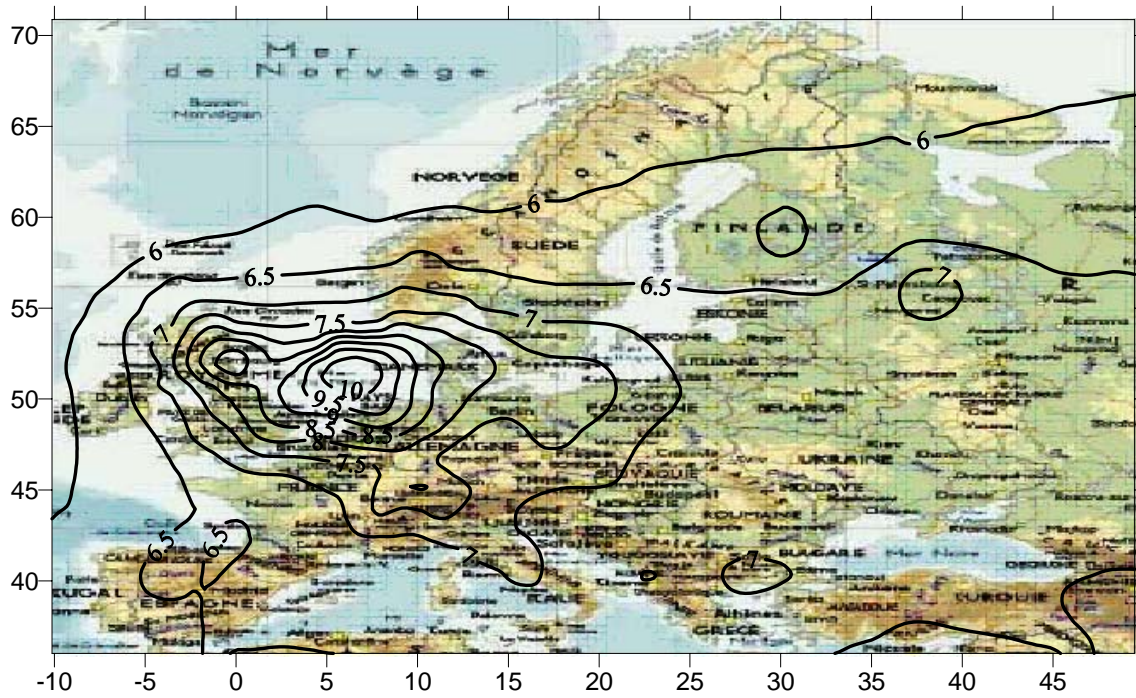


Рис. 5 – Поле середньомісячних значень загального вмісту  $NO_x$  (весняний сезон, 2003 – 2007рр.).

Причини формування області великих значень вмісту  $NO_x$  в атмосфері досить ясні, якщо поглянути з точки зору промислового розвитку Європейських країн. Справа полягає в тому, що північ Німеччини, Франції та центральні райони Великобританії це досить потужні промислові райони.

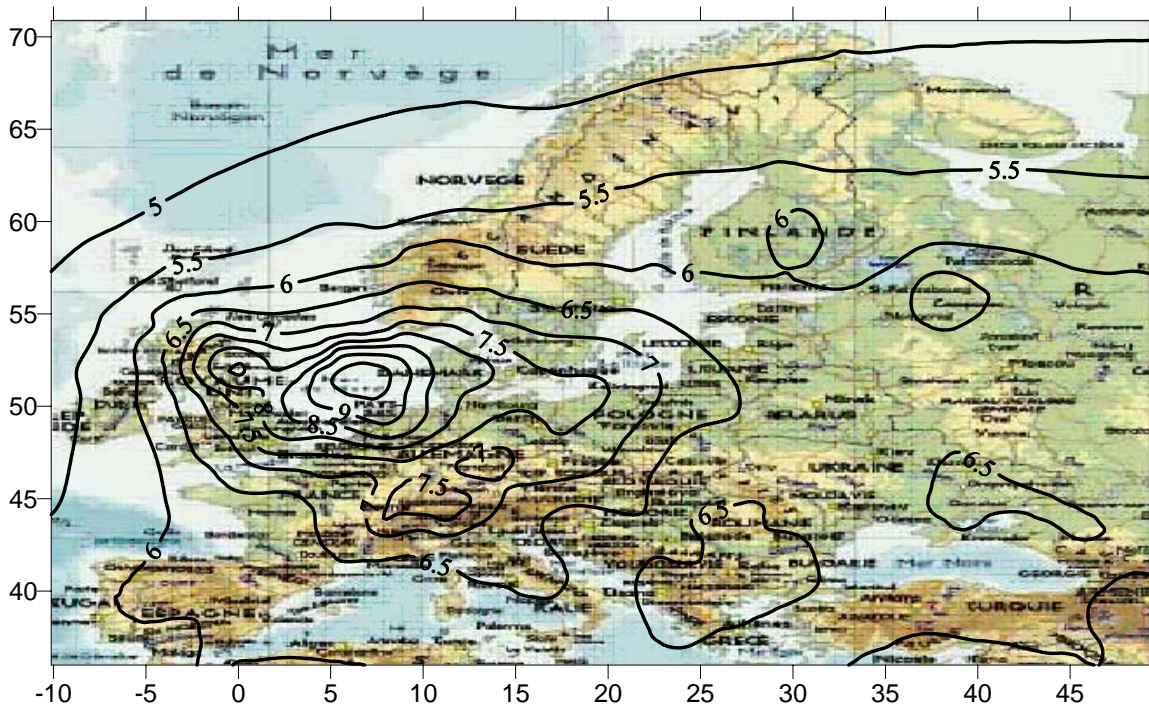


Рис. 6 – Поле середньомісячних значень загального вмісту  $NO_x$  (2003 – 2007 рр.).



**Висновки.** У роботі були отримані матриці середньомісячних значень загального вмісту окислів азоту в атмосфері європейського регіону. Побудовані та досліджені поля осереднених значень вмісту  $NO_x$ . Отримані поля дали змогу виявити зону підвищених значень вмісту  $NO_x$  над територіями Великобританії та півночі Німеччини, що може бути пов'язано з наявністю в даному районі багатьох потужних промислових підприємств. Виявлена сезонна динаміка загального вмісту окислів азоту в атмосфері. Відмічено збільшення вмісту  $NO_x$  у зимовий період. Така особливість може бути спричинена додатковим надходженням окислів азоту в результаті функціонування ТЕЦ.

### Список літератури

1. *Кондратьев К. Я.* Экодинамика и геополитика. Т. 1: Глобальные проблемы. - С.-Пб, 1999. - 1040 с.
2. *Горшков В.Г., Макарьева А.М.* Влияние девственной и освоенной человеком биоты на глобальную окружающую среду // Исслед. Земли из космоса. – 1999. – V. 5. – P. 3-11.
3. *Sellers P.I, Meeson B. W., Hall F.G. et al.* Remote sensing of the land surface for studies of global change: models - algorithms - experiments // Remote Sensing and Environment. – 1995. – V. 51(1). – P. 3-26.
4. *Stockwell D.Z., Giannakopoulos C, Planteuin P.H. et al.* Modelling  $NO_x$  from lightning and its impact on global chemical fields // Atmospheric Environment. – 1999. – V. 33 (27). – P. 4477-4493.
5. *Smith K.A., Thomson P.E., Clayton H. et al.* Effects of temperature, water content and nitrogen fertilisation on emissions of nitrous oxide by soils // Atmos. Env. – 1998. – V. 32 (19). – P. 3301-3309.
6. *Dimitroulopoulou C, Marsh A.R. W.* Modelling studies of  $NO_3$  nighttime chemistry and its effects on subsequent ozone formation // Atmos. Env. – 1997. – V. 31 (18). – P. 3041-3057.
7. [www.ecmwf.int/data](http://www.ecmwf.int/data)

#### **Загрязнение атмосферы европейского региона окислами азота. Бургаз А.А. Гарабажій Т.А.**

*Исследованы особенности пространственной структуры полей окислов азота в атмосфере европейского региона. На основе матриц исходных значений общего содержания окислов азота были построены матрицы осредненных значений. Были построены и исследованы поля осредненных значений. Обнаружена временная динамика общего содержания окислов азота и сделана попытка объяснения ее сезонного характера.*

**Ключевые слова:** окислы азота, структура, поля, градиенты, формирование.

#### **Contamination of atmosphere of the European region by the nitrogen oxides. Burgaz A.A. Garabagii T.A.**

*The features of spatial structure of the fields of nitrogen oxides in the atmosphere of the European region are investigated. On the basis of matrices of initial values of general maintenance of nitrogen oxides the matrices of average values were built. The fields of average values were built and researched. Found out the sentinel dynamics of general maintenance of nitrogen oxides and the attempt of explanation of it seasonal character is done.*

**Keywords:** nitrogen oxides, structure, fields, gradients, forming.

УДК 551.513.1:551.551.8

**С.Н. Степаненко**, д. ф.-м. наук, **В.Г. Волошин**, к. геогр. наук,  
Одеський державний екологічний університет

### УНИВЕРСАЛЬНЫЕ БЕЗРАЗМЕРНЫЕ ПРОФИЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ДЛЯ ГРАДИЕНТОВ СКОРОСТИ ВЕТРА И ТЕМПЕРАТУРЫ И ИХ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ФОРМЫ

*Предлагаются новые универсальных функций сдвига ветра  $\varphi(m)$  и градиента температуры воздуха  $\varphi(H)$  и их интегральные формы. Результаты сравниваются с аналогичными зависимостями других авторов.*

**Ключевые слова:** Приземный слой, турбулентный поток, универсальная функция, сдвиг ветра, профиль температуры.

**Введение.** Анализ размерностей показывает, что статистические особенности атмосферной турбулентности, зависящие от вертикальных градиентов метеорологических величин, являются универсальными функциями  $\varphi = f(\zeta)$  параметра устойчивости приземного слоя атмосферы  $\zeta (= z/L)$  Мони́на-Обухова [1] и согласно теории подобия приземного слоя определяются соотношениями вида:

$$\varphi_m = \frac{\kappa \cdot z}{u_*} \frac{dU}{dz}, \quad (1)$$

$$\varphi_H = -\frac{\kappa z}{\theta_*} \frac{\partial \theta}{\partial z}, \quad (2)$$

$$\varphi_q = -\frac{\kappa z}{Q_*} \frac{\partial q}{\partial z}, \quad (3)$$

где  $k$  – постоянная Кармана,  $u_*, \theta_*, Q_*$  – масштабы для импульса, температуры и влажности соответственно,  $z$  – высота над поверхностью земли в пределах слоя постоянных потоков (СПП),  $U, \theta, Q$  – скорость ветра, потенциальная температура, массовая доля водяного пара соответственно.

Теория подобия не предсказывает точные формы этих функций, и они определяются экспериментально. Характер зависимости универсальных безразмерных функций от безразмерного параметра  $\zeta$  является предметом многих экспериментальных исследований, так как функции являются неотъемлемой частью методик расчета приземных турбулентных потоков. Разумная точность определения безразмерных профильных функций, в широком интервале  $\zeta$ , обеспечивает достоверность расчета всех турбулентных потоков.

С нахождением параметра устойчивости  $\zeta$  решаются все проблемы приземного слоя, т.е. находятся потоки тепла, влаги и импульса, с помощью которых определяется нижнее граничное условие для расчета энергии турбулентных пульсаций.



Как правило, экспериментальные оценки функций (1-3) выполняются путем прямых измерений метеорологических составляющих входящих в эти безразмерные соотношения [2,3,4,5].

**Формулировка целей статьи.** Исследования закономерностей вертикального распределения скорости ветра и температуры крайне необходимы при описании процессов массо-тепловлагообмена в системе “поверхность–атмосфера”. Особую роль в этом описании выполняет турбулентное число Прандтля, связывающее касательное напряжение и градиент скорости с потоком тепла и градиентом потенциальной температуры, а, следовательно, определяющее и взаимосвязь безразмерных профильных функций  $\varphi_u$ ,  $\varphi_H$  между собой. Нахождение этой взаимосвязи и является целью работы.

**Последние исследования и публикации.** В работе авторов [6] был предложен метод нахождения безразмерных профильных функций  $\varphi_u$ ,  $\varphi_H$ ,  $\varphi_q$  основанный на сравнении турбулентных потоков, рассчитанных с помощью косвенных (модельных) методов и, градиентов метеорологических величин, непосредственно измеренных при градиентных наблюдениях. Сопоставляя расчетные величины турбулентных потоков тепла  $H$ , влаги  $LE$  и импульса  $u_*$  с непосредственно измеренными значениями метеорологических величин на уровнях  $z_1$ ,  $z_2$  в пределах СПП, можно найти функции  $\varphi_u$ ,  $\varphi_H$ ,  $\varphi_q$ .

Воспользовавшись безразмерными соотношениями (1-3) и определив градиенты с помощью интерполяционных логарифмических формул, можно переписать (1-3) следующие образом:

$$(u_*)_{\text{мод}} \cdot \left( \frac{\ln(z_2/z_1)_u}{(u_2 - u_1)} \right)_{\text{экс}} = \frac{\kappa}{\varphi_u}, \quad (4)$$

$$\left( \frac{H}{\kappa^2 \cdot \rho c_p} \right)_{\text{мод}} \cdot \left( \frac{[\ln(z_2/z_1)]_T \cdot [\ln(z_2/z_1)]_u}{(\theta_2 - \theta_1)(u_2 - u_1)} \right)_{\text{экс}} = -\frac{a_H}{\varphi_u^2}, \quad (5)$$

$$\left( \frac{E}{\kappa^2 \rho} \right)_{\text{мод}} \cdot \left( \frac{[\ln(z_2/z_1)]_q [\ln(z_2/z_1)]_u}{(q_2 - q_1) \cdot (u_2 - u_1)} \right)_{\text{экс}} = -\frac{a_q}{\varphi_u^2}, \quad (6)$$

где  $\kappa$  – постоянная Кармана, принятая равной  $\kappa \approx 0,4$ .

Левые части уравнений (4–6) состоят из двух сомножителей отмеченных индексами “модель” и “эксперимент”. Для расчета градиентного сомножителя (“эксперимент”) использовались данные градиентных измерений [7]. Для расчета турбулентных потоков (“модель”) использовались одноуровневые метеорологические наблюдения проводимые параллельно с градиентными. Расчет потоков выполнен по энергобалансовой модели взаимодействия атмосферы и подстилающей поверхности, подробно описанной в работах авторов [8].

В обработку были включены только случаи с  $\Delta\theta = (\theta_S - \theta_z) \geq 2^0 \text{ C м/с}$ ;  $\Delta U = (u_2 - u_{0,5}) \geq 0,3$ ;  $\Delta q_{2-0,5} > 0,2$  г/кг, лежащие в интервале параметра устойчивости  $1 \geq (z/L) \geq -2$  и в диапазоне  $\bar{x} \pm \sigma$ .

**Результаты исследования и их анализ.** Правую часть уравнения (5) представить в следующем виде

$$\alpha_H \cdot \varphi_u^{-2} = (\varphi_u \varphi_H)^{-1}, \quad \text{тогда } a_H = \varphi_u / \varphi_H, \quad (7)$$

где  $a_H$  – относительный коэффициент теплообмена, зависящий от соотношения коэффициентов турбулентности для тепла  $k_H$  и импульса  $k_u$  и называемый “эффективной инверсией” турбулентного числа Прандтля  $a_H = \text{Pr}^{-1} = k_H/k_u$ .

Правую часть уравнения (6) аналогично перепишем в виде

$$\alpha_q \cdot \varphi_u^{-2} = (\varphi_u \varphi_q)^{-1}, \quad \text{тогда } a_q = \varphi_u / \varphi_q. \quad (8)$$

Отношение (8) является отношением коэффициентов турбулентного обмена для водяного пара и количества движения. Это отношение обратно “турбулентному числу Шмидта”. Коэффициент  $a_q$  должен быть равен единице. Например, в работе [9] найдено, что  $a_q = 1,13$  (при  $\kappa = 0,42$ ). Из других источников следует, что  $a_q$  практически можно принять равной единице.

Поскольку функции  $\varphi_u$ ,  $\varphi_H$  и  $\varphi_q$  зависят только от параметра устойчивости  $\zeta$ , то и отношение коэффициентов турбулентного обмена  $k_H/k_u$ , также зависит от  $\zeta$ . При нейтральных условиях, когда  $\zeta = 0$  эти функции равны  $\varphi_u = 1$ ;  $\varphi_H = \alpha_H^{-1}$ ;  $\varphi_q = \alpha_q^{-1}$ .

Левые части уравнений (4-6) при нейтральной стратификации, должны быть равны постоянной Кармана, числу Прандтля  $\text{Pr}^{-1}$  и числу Шмидта  $\text{Sc}^{-1}$  соответственно.

На рис. 1 и 2 показаны результаты расчетов по уравнениям (4-6), которые позволили нам построить корреляционные зависимости для  $\kappa/\varphi_u$ ,  $a_H/\varphi_u^2$  от параметра устойчивости приземного слоя.

На рис.1 представлено отфильтрованное поле экспериментальных точек  $\kappa/\varphi_u$ , которые выровнены степенной зависимостью

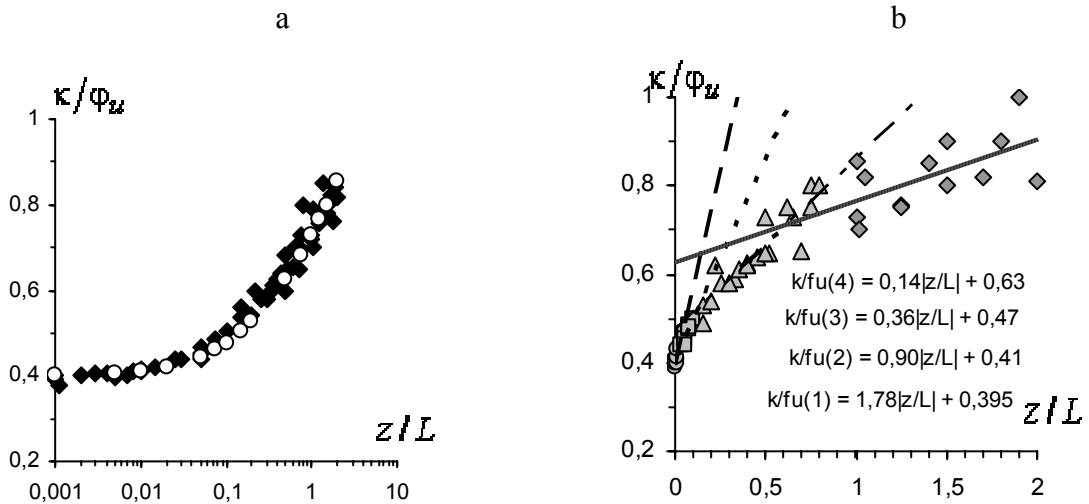
$$\frac{\kappa}{\varphi_u} = 0,4(1 - 10 \cdot \zeta)^{1/4}. \quad (9)$$

Из (9) и результатов опыта следует, что значение постоянной Кармана, в условиях нейтральной стратификации, когда  $\zeta \rightarrow 0$ ,  $\varphi_u \rightarrow 1$  приближается к  $\bar{\kappa} \Rightarrow 0,40$  и, с доверительной вероятностью  $p=0,95$ , находится в интервале  $0,39 \leq \kappa \leq 0,42$  (см. коэффициент  $b_0$  корреляционного уравнения (1 и 2) в поле рис. 1б).

Из (9) находим профильную функцию сдвига ветра  $\varphi_u$

$$\varphi_u = (1 - 10 \cdot \zeta)^{-1/4} \quad (10)$$

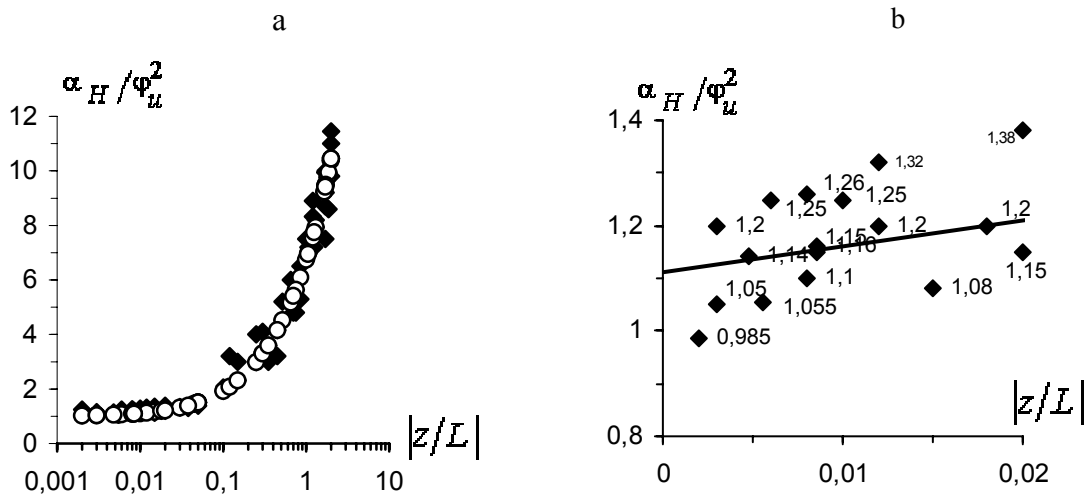
Найденная зависимость хорошо согласуется с данными измерений других авторов [2,3,4,5,9,10,11].



а – темные маркеры: поле экспериментальных точек рассчитанных по уравнению (4), круглые светлые маркеры - выравнивание по уравнению (9); б – поле экспериментальных точек рассчитанных по уравнению (4), разделенное на 3-и интервала по параметру  $\zeta$

Рис. 1- Зависимость отношения  $\kappa/\varphi_u$  от параметра устойчивости (ось  $z/L < 0$ ).

Рассмотрим результаты расчета отношения  $\alpha_H/\varphi_u^2$  по (5), которые позволяют выполнить оценку коэффициента  $\alpha_H = 1/Pg$  и его зависимости  $\alpha_H = \alpha_H(\zeta)$  от характера устойчивости слоя.



а – темные маркеры: поле экспериментальных точек рассчитанных по уравнению (5), круглые светлые маркеры: выравнивание по уравнению (11); б – поле точек для диапазона  $0 < -z/L \leq 0,02$ .

Рис.2 – Зависимость отношения  $\alpha_H/\varphi_u^2$  от параметра устойчивости (ось  $z/L < 0$ ).

По оценке разных авторов [3,4,5,11,12], число Прандтля в условиях нейтральной стратификации ( $\zeta \rightarrow 0$ ) находится в интервале  $0,74 \leq \text{Pr} \leq 1,04$  и, следовательно, коэффициент теплообмена  $0,96 \leq \alpha_H \leq 1,35$ . Точное определение числа  $\text{Pr}$  для условий  $\zeta = 0$  затруднено в связи с явно выраженной его зависимостью от устойчивости слоя.

На рис.2а показана зависимость  $\alpha_H/\varphi_u^2 = f(\zeta)$ , построенная в интервале значений  $0,002 \leq (-\zeta) < 2,0$ , хорошо выравшиваемая корреляционным уравнением

$$\alpha_H/\varphi_u^2 = \text{Pr}^{-1} \varphi_u^{-2} = (\varphi_u \varphi_H)^{-1} = (1-18\zeta)^{2/3} . \quad (11)$$

Аналогично для  $\alpha_q/\varphi_u^2$  запишем

$$\alpha_q/\varphi_u^2 = \varphi_u^{-2} \text{Sc}^{-1} = (\varphi_u \varphi_q)^{-1} = a_E (1-17z/L)^{2/3} . \quad (12)$$

На рис. 2б нанесено поле экспериментальных точек рассчитанных только для условий близких к нейтральному состоянию  $0,002 \leq (-\zeta) \leq 0,01$ . Наблюдается большой разброс значений  $\alpha_H/\varphi_u^2$ . Видно, что линия регрессии пересекает ось Y в ординате равной  $\alpha_H \approx 1,11$ , а среднее значение  $\bar{\alpha}_H$  в этом диапазоне параметра  $\zeta$  равно  $\bar{\alpha}_H = 1,16 \pm 0,05$ . Следовательно, турбулентное число Прандтля при условии, что  $\zeta \cong 0$  равно  $\text{Pr} = 0,862$ .

Воспользовавшись уравнением (11), найдем для коэффициента теплообмена  $\alpha_H = f(\zeta)$  универсальную функцию

$$a_H = (1-18 \cdot \zeta)^{2/3} \cdot \varphi_u^2 \quad (13)$$

и, после подстановки функции  $\varphi_u$  из (10), преобразуем ее к виду

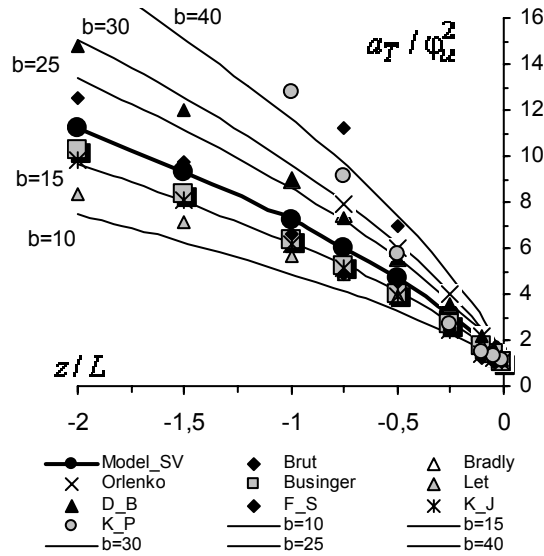
$$a_H = \varphi_u/\varphi_H = (1-8\zeta)^{1/3} . \quad (14)$$

На рис. 3 показана зависимость  $\alpha_H/\varphi_u^2 = f(\zeta)$ , которая аппроксимирована уравнением (11) (темная линия с темными круглыми маркерами). Там же показаны результаты экспериментальных измерений  $a_H/\varphi_u^2$ , полученные в работах [2,3,4,5,9,10,11,12,13]. Видно, что наши результаты согласуются с экспериментальными данными и лежат между предельными (максимальными и минимальными) значениями отношения  $a_H/\varphi_u^2$ .

На рис. 3 тонкими линиями, нанесены функции  $\alpha_H/\varphi_u^2 = f(\zeta)$  промоделированные с помощью уравнения

$$\alpha_H/\varphi_m^2 = (\varphi_u \varphi_H)^{-1} = (1-b\zeta)^{2/3} \quad (15)$$

с коэффициентами  $b = 10, 15, 25, 30, 40$ .



Пояснение к обозначению экспериментальных данных: Бусинжер –Businger; Lettau – Let; Dyer and Bradley –D\_B, Фокен и Скиб- F\_S; Kader and Perepelkin - K\_P; Kader and Yaglom - K\_J; Brutsaert -Brut; Орленко -Orlenko.

Рис. 3 – Зависимость  $\alpha_H / \varphi_u^2 = f(z/L)$  от стратификации.

Практически все экспериментальные результаты укладываются в диапазон значений  $10 \leq b \leq 30$ , исключая функции Кадера-Перепелкина [4] и Брутсаерт [2].

Коэффициент  $\alpha_H$  играет особую роль в “К-моделях” турбулентности, так как определяет взаимосвязь между касательным напряжением и градиентом скорости, потоком тепла и градиентом потенциальной температуры, т.е. между коэффициентами турбулентного обмена для тепла и импульса. Поэтому достоверные зависимости  $\alpha_H = f(\zeta)$  крайне важны для решения прикладных задач оценки турбулентных потоков и их изменчивости в приземном и пограничном слоях атмосферы.

На рис. 4d показаны функции  $\alpha_H = f(\zeta)$ , построенные для интервала  $0,002 \leq (-\zeta) < 2,0$ . Кроме функции, построенной по уравнению (14), показаны так же функции, рассчитанные по данным из работ [2,3,4,5,9,10,11].

Обратим внимание, что функция “Br” [2] линейна во всем диапазоне изменений аргумента. Примерно так же ведет себя функция “K\_P” [4]. Функции “Bus” и “D\_B” [3,9] подобны и различаются только значения  $\alpha_H$ . Функция “K\_Y” [5],  $\alpha_H = \text{const} = 1,54$  не зависит от характера устойчивости.

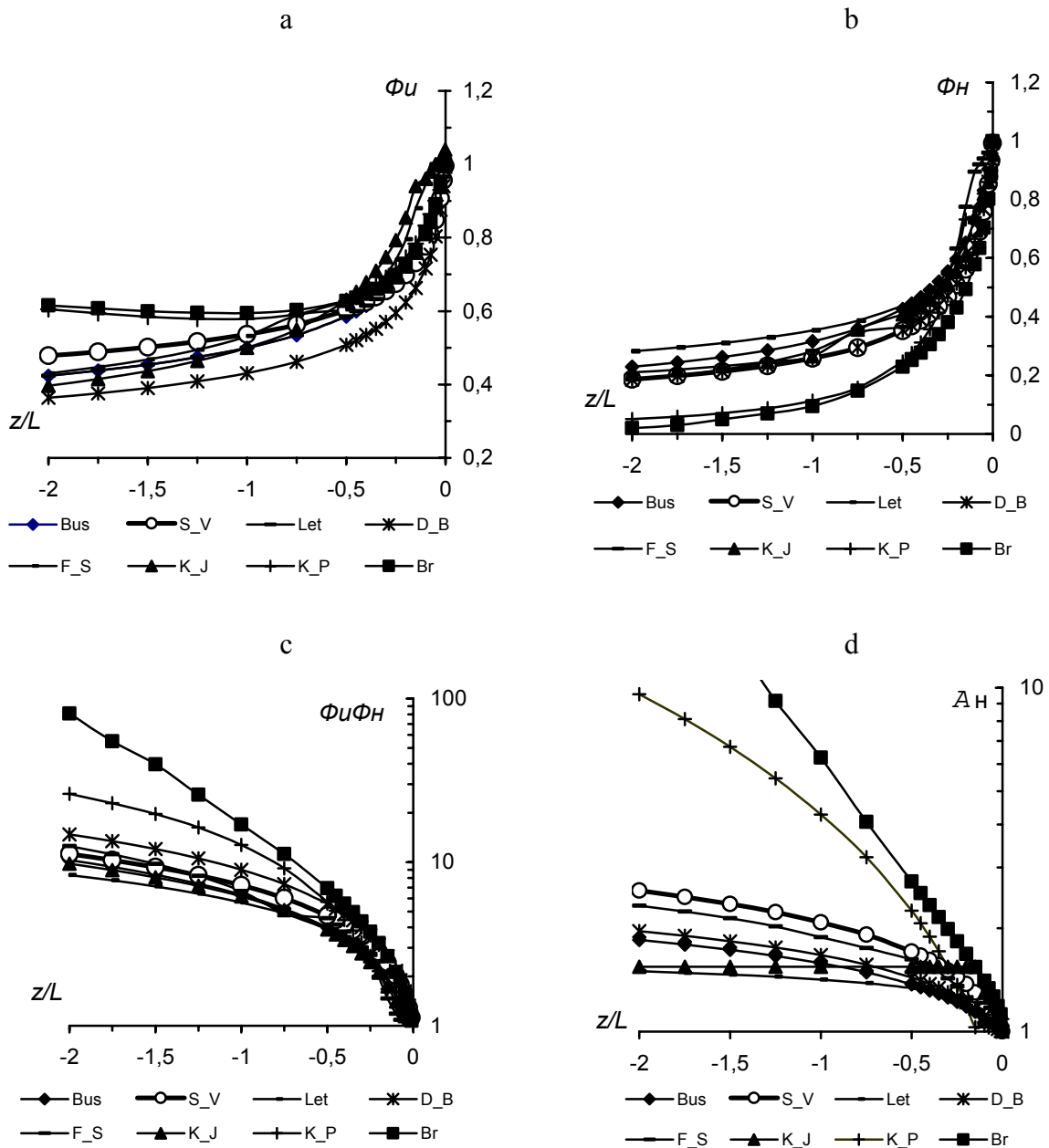
Комбинируя безразмерные функции (9) и (11), можно окончательно построить безразмерные универсальные функции сдвига скорости ветра и градиента температуры для условий неустойчивого  $\zeta \leq 0$  состояния:

$$\varphi_u = \sqrt{\frac{x_1}{x_2}}, \tag{16}$$

$$\varphi_H = \sqrt{\frac{1}{x_1 \cdot x_2}}, \tag{17}$$

где  $x_1 = (1 - 7,4 \cdot \zeta)^{1/3}$ ;  $x_2 = (1 - 17 \cdot \zeta)^{2/3}$ .





а –  $\Phi_u$  по уравнению (16); б –  $\Phi_H$  по уравнению (17); в –  $\Phi_u \cdot \Phi_H$  по уравнению (16) и (17); д –  $\alpha_H$  по уравнению (14).

Рис. 4 – Зависимость универсальных безразмерных функций  $\Phi_u, \Phi_H$ , произведения  $\Phi_u \cdot \Phi_H$  и относительного коэффициента теплообмена  $\alpha_H$  от стратификации  $z/L$ .

Основное достоинство формул (16) и (17) в том, что функции  $\Phi_u, \Phi_H$  оказались взаимосвязаны между собой безразмерным турбулентным числом Прандтля и, следовательно, изменение одной из них ведет к изменению другой. Из этого следует, что сопоставление экспериментально найденных значений функций  $\Phi_u, \Phi_H$  без учета их взаимной зависимости практически не имеет смысла. Такие сравнения могут проводиться только после анализа отношения  $\Phi_u / \Phi_H = \alpha_H = \text{Pr}^{-1} = k_H / k_u$ , так как, в

конце концов, это отношение и определяет величину потоков при энергообмене атмосферы и подстилающей поверхности.

Для устойчивых условий ( $\zeta > 0$ ) отношения  $\kappa/\varphi_u = f(z/L)$  и  $a_H/\varphi_u^2 = f(z/L)$  не находились, но, используя аналогичный подход к их определению и ориентируясь на изменение функций  $\varphi_u, \varphi_H$  вблизи нейтральной стратификации, предлагаются следующие приближения:

$$\varphi_u = \sqrt{x_3 \cdot x_4}, \quad (18)$$

$$\varphi_H = \sqrt{\frac{x_4}{x_3}}, \quad (19)$$

где  $x_3 = (1 - 0,45\sqrt{\zeta})$  при  $0 \leq \zeta \leq 1$ ,  $x_4 = \frac{(1 + 4,7\zeta)^2}{(1 - 0,45\sqrt{\zeta})}$  при  $\zeta \leq 0,25$ ,

$$x_4 = \frac{(1 + 4,7\zeta)^2}{(-0,0851\zeta + 0,636)} \text{ при } \zeta > 0,25.$$

Для нахождения интегральных форм  $\Psi(\zeta)$  функций (16-19) необходимо найти их простые приближения, интегрирование которых можно выполнить в виде

$$\Psi(z) = \int_0^z (1 - \varphi_i(z)) \frac{dz}{z}. \quad (20)$$

Соответствующие универсальные безразмерные функции  $\varphi_i(z)$  имеют вид:

- для профиля ветра:

$$\begin{aligned} \varphi_u &= (1 - 22 \cdot \zeta)^{-0,2} \text{ для } \zeta \leq 0, \\ \varphi_u &= (1 + 4,9 \cdot \zeta) \text{ для } \zeta > 0. \end{aligned} \quad (21)$$

- для профиля температуры:

$$\begin{aligned} \varphi_H &= (1 - 14 \cdot \zeta)^{-0,5} \text{ для } \zeta \leq 0, \\ \varphi_H &= (1 + 6,4 \cdot \zeta)^{1,1} \text{ для } 0 < \zeta \leq 0,1, \\ \varphi_H &= (1 + 9,36 \cdot \zeta) \text{ для } \zeta > 0,1. \end{aligned} \quad (22)$$

Интегральная функция для профиля ветра  $\Psi_u(\zeta)$ , определяющая степень отклонения реального профиля ветра от логарифмического при  $\zeta \leq 0$ , имеет вид

$$\begin{aligned} \Psi_u(\zeta) &= \int_0^\zeta \left(1 - (1 - 22 \cdot z)^{-1/5}\right) \frac{dz}{z} = \left[ t = (1 - 22 \cdot \zeta)^{0,2} = \varphi_u^{-1}; A = \frac{1}{\sin S_1 \sin S_3} \right] = \\ &= \frac{5}{2}(t - 1) - \frac{5A}{4} \left[ \left( \cos C_2 \ln \frac{t^2 - 2t \cos C_2 + 1}{4 \sin^2 S_1} \right) - \frac{\cos C_1}{\sin S_2} \left( \operatorname{arctg} \frac{t - \cos C_2}{\sin S_2} - \frac{\pi}{5} \right) \right] - \\ &- \frac{5A}{4} \left[ \left( \cos C_4 \ln \frac{t^2 - 2t \cos C_4 + 1}{4 \sin^2 S_2} \right) - \frac{\cos C_3}{\sin S_4} \left( \operatorname{arctg} \frac{t - \cos C_4}{\sin S_4} - C_2 \right) \right], \end{aligned} \quad (23)$$

где  $S_1 = \pi/5$ ;  $S_2 = 2\pi/5$ ;  $S_3 = 3\pi/5$ ;  $S_4 = 4\pi/5$ .

$C_1 = \pi/5$ ;  $C_2 = 2\pi/5$ ;  $C_3 = 3\pi/5$ ;  $C_4 = 4\pi/5$ .

Для устойчивых условий при  $\zeta > 0$  имеем

$$\psi_u(\zeta) = -4,9 \cdot \zeta. \quad (24)$$

Интегральная функция  $\Psi_H(\zeta)$  для профиля температуры при неустойчивых условиях ( $\zeta \leq 0$ )

$$\Psi_H(\zeta) = \int_0^\zeta \left(1 - (1 - 14 \cdot z)^{-0,5}\right) \frac{dz}{z} = 2 \ln \frac{t+1}{2}, \quad (25)$$

где  $t = (1 - 14 \cdot \zeta)^{0,5}$

Интегральная функция  $\Psi_H(\zeta)$  для профиля температуры при слабо устойчивой стратификации ( $0 < \zeta \leq 0,1$ )

$$\begin{aligned} \Psi_H(\zeta) &= \int_0^\zeta \left(1 - (1 - 6,4 \cdot z)^{1,1}\right) \frac{dz}{z} = \left[ t = (1 - 6,4 \cdot \zeta)^{11/10}; A_n = \sin \frac{\pi n}{10}; B_n = \cos \frac{\pi n}{10} \right] = \\ &= -10 \left( \frac{t^{11} - 1}{11} + t - 1 \right) + 2 \ln \frac{1+t}{2} + \\ &+ \sum_{n=1}^4 \left[ 2A_n^2 \ln \left( \frac{t^2 - 2t(-A_n^2 + B_n^2) + 1}{4A_n^2} \right) - 4A_n B_n \left( \operatorname{arctg} \left( \frac{t + A_n^2 - B_n^2}{2A_n B_n} \right) - \frac{\pi n}{10} \right) \right]. \end{aligned} \quad (26)$$

Интегральная функция  $\Psi_H(\zeta)$  для профиля температуры при умеренной и сильной устойчивой стратификации ( $\zeta > 0,1$ ) имеет вид

$$\Psi_H(\zeta) = -9,36 \zeta. \quad (27)$$

Интегральные функции  $\psi_u(\zeta)$ ,  $\Psi_H(\zeta)$  (23-27) использовались в энергобалансовом методе, который позволяет оценить все турбулентные потоки по одноуровневым стандартным метеорологическим наблюдениям [8].

**Выводы.** Таким образом, функции  $\varphi_m, \varphi_H$  взаимосвязаны между собой безразмерным турбулентным числом Прандтля и, следовательно, изменение одной из них ведет к изменению другой. Из этого следует, что сравнение экспериментально найденных функций  $\varphi_m, \varphi_H$  может проводиться только с учетом их взаимосвязи с турбулентным числом Прандтля  $\varphi_m/\varphi_H = a_H = \operatorname{Pr}^{-1} = k_H/k_u$ .

Так как экспериментальные наблюдения могут приводить к новым формам функций  $\varphi = f(\zeta)$ , то следовало бы найти некую “усредненную функцию”, которая и будет принята как “эталон” для профилей ветра и температуры, а все последующие эксперименты могут только дополнять, не изменяя их в целом.

## Список литературы

1. Монин А.С., Обухов А.М. Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы // Тр. Геофизин. АН СССР.- 1954.- №24.- С.163-187.
2. Brutsaert W. Stability correction functions for the mean wind speed and temperature in the unstable surface layer // Geophys. Res. Lett.- 1992.-№19.-P.150-174.
3. Businger J. A. et al. Fluxprofile relationships in the atmospheric surface layer // J. Atmos. Sci.- 1971.- №28.- P.181-189.
4. Kader B. A., and V. G. Perepelkin. Effect of the unstable stratification on wind and temperature profiles in the surface layer // J. Fluid Mech.- 1989.- №212.-P. 637-662.
5. Kader B. A., and A. M. Yaglom. Mean fields and fluctuation moments in unstable stratified turbulent boundary layers // J. Fluid Mech.- 1990.-№212.-P.57-71.
6. Степаненко С.Н., Волошин В.Г. Безразмерные функции сдвига ветра и градиента температуры воздуха в неустойчивом приземном слое атмосферы // Вестник ОДЭУ.- 2006.- вып.1.- С. 35-47.
7. Комплексный энергетический эксперимент (КЭНЭКС-71).– Тр. ГГО.- 1973.- вып.296.- С.140.
8. Волошин В.Г. Метод расчета турбулентных потоков и температуры подстилающей поверхности на основе метеорологических наблюдений //Метеорология, климатология и гидрология.- 2002.-вып.46.- С.83-89.
9. Dyer A. J., and E. F. Bradley. An alternative analysis of flux-gradient relationships at the 1976 ITCE, //Boundary Layer Meteorol.- 1982.- №22.- P. 3-19.
10. Hsieh et al. Estimation of momentum and heat fluxes using dissipation and flux-variance methods in the unstable surface layer // Water resources research.- 1996.-vol. 32, № 8
11. Орленко Л.П. Строение пограничного слоя атмосферы.–Л.: Гидрометеиздат, 1979.– 279 с.
12. Налбандян О. Г., Кухарец В.П. Голицын Г.С. Трехслойная динамическая модель взаимодействия поверхности с приземным слое атмосферы // Изв. РАН, Ф.А.О.- 2002.- Т.38, №3.- с.293-300
13. Кухарец В.П., Налбандян О. Г. Корреляционный анализ температуры подстилающей поверхности, инсоляции и скорости ветра в приземном слое атмосферы // Изв. РАН, Ф.А.О. -2005.- Т.41, №6.- с.752-760.

### **Універсальні безрозмірні профільні функції для градієнтів швидкості вітру і температури і їх інтегральні форми. С.М. Степаненко, В.Г. Волошин**

*Пропонуються нові форми апроксимацій універсальних функцій зрушення вітру і профілю температури повітря і їх інтегральні форми. Результати порівнюються з аналогічними залежностями інших авторів.*

**Ключові слова:** Приземний шар, турбулентний потік, універсальна функція, профіль вітру, профіль температури.

### **Universal dimensionless functions for gradients of wind and temperature and their integral forms.**

**Stepanenko S., Voloshyn V.**

*The new forms of approximations of universal functions of change of wind and type of temperature of air and their integral forms are offered. Results are compared to similar dependences of other authors.*

**Keywords:** Ground layer, turbulent stream, universal function, change of wind, type of temperature.

**Л.Д.Гончарова**, к. з. н., **С.І. Решетченко**, асп.  
*Одеський державний екологічний університет*

## **ВПЛИВ ПІВНІЧНОЇ АТЛАНТИКИ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОВІТРЯ, ОПАДИ, ПРИЗЕМНИЙ ТИСК НА ЛІВОБЕРЕЖНІЙ УКРАЇНІ**

*На основі взаємного спектрального аналізу був виявлений взаємозв'язок між Північною Атлантикою та температурою повітря, опадами, приземним тиском на території лівобережної України у другій половині ХХ століття.*

**Ключові слова:** *Північноатлантичне коливання, атмосферний тиск, атмосферна циркуляція, температура повітря, опади, періодичність.*

**Вступ.** Встановлено, що часова неоднорідність у змінах глобальної температури повітря залежить від атмосферної циркуляції. Для характеристики стану та інтенсивності атмосферної циркуляції в північній Атлантиці використовують характеристики центрів дії атмосфери (ЦДА). Чисельні дослідження [1-11] підтверджують думку про взаємозв'язок стану ЦДА, інтенсивності атмосферної циркуляції та змін кліматичних характеристик в Атлантико-Європейському регіоні в ХХ столітті.

Північноатлантичне коливання (ПАК) є значущою рисою низькочастотної зміни атмосферної циркуляції в північній частині Атлантичного океану. Під його впливом відбувається великомасштабна перебудова основних термодинамічних полів в океані та атмосфері північної півкулі.

Таким чином, зміна кліматичних умов потребує подальшого дослідження атмосферних процесів, що є актуальним для створення методів їх короткострокового та довгострокового прогнозу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі Гущиної Д.Ю. та інших [12] досліджуються центри дії атмосфери через циркуляцію вектора швидкості вітру на ізобаричних поверхнях 850, 500, 200 гПа. Вивчається зв'язок між аномаліями циркуляції вектора швидкості вітру в центрах дії атмосфери та аномаліями температури повітря, кількості опадів. Були визначені додаткові два райони (Західна Європа та Східна Європа), які характеризуються частим проходженням рухомих циклонів та антициклонів. Встановлено, що в контурах, розташованих над Західною та Східною Європою, відбувається зміна знака циркуляції: над Східною Європою в нижній тропосфері переважає антициклонічна діяльність, а у верхній та середній тропосфері спостерігається циклонічна циркуляція. Західна Європа є областю активного циклогенезу, але у жовтні, грудні, січні в нижній та середній тропосфері відзначається слабкий антициклогенез.

В роботі [7] автор досліджує річний хід циклогенезу за період 1949-1986 рр. в помірних широтах північної півкулі. Показано, що максимальна інтенсивність циклонів відповідає зимовому періоду, коли спостерігається максимальна інтенсивність зонального переносу. Найбільша повторюваність циклонів характеризує літній період за умов послаблення зонального переносу.

Свердлік Т.А. [4], вивчаючи великомасштабну атмосферну циркуляцію під час другого періоду глобального потепління, підкреслює, що в період 1984-1995 рр. взимку спостерігались значні зміни середньої атмосферної циркуляції.

Суттєві зміни умов циркуляції атмосфери досліджуються в роботах [11,13]. Автори аналізують зміну частоти появи різних форм атмосферної циркуляції, які визначив Вангенгейм та Гірс. Форми атмосферної циркуляції Вангенгейма-Гірса



характеризують кліматичний режим північної півкулі. При зональних процесах західного та західно-східного переносу від'ємні аномалії температури та атмосферного тиску спостерігаються у високих широтах, а додатні – в помірних та субтропічних широтах. При меридіональних формах атмосферної циркуляції додатні аномалії температури повітря та атмосферного тиску в середньому відповідають гребеням, а від'ємні – улоговинам.

Аномалії опадів мають обернений зв'язок з аномаліями атмосферного тиску: вони мають додатні значення в улоговинах та від'ємні – в гребенях. Осередки аномалій температури повітря, як правило, зміщені на захід, а атмосферного тиску та опадів – на схід від осі відповідних висотних гребенів та улоговин.

Зміна циркуляції атмосфери пов'язана зі зміною характеру центрів дії атмосфери. Тривала зміна циркуляції у межах десятиріччя призводить до зміни регіонального клімату. Тому інтенсивність і відхилення від географічного положення центрів дії атмосфери особливо важливо враховувати під час дослідження зміни глобального і регіонального клімату і розроблення довгострокових прогнозів погоди.

**Метою** цього дослідження є виявлення впливу Північноатлантичного колювання на формування кліматичних полів температури повітря, опадів та приземного тиску на території лівобережної України. Для розв'язання цієї задачі були використані часові ряди індексу Північноатлантичного колювання, середньомісячної температури повітря, місячної кількості опадів та приземного тиску за період 1951-2000 рр.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Спектральний аналіз є одним із важливих методів статистичного дослідження випадкових часових рядів. Він всебічно використовується в різних галузях науки та техніки, у тому числі в гідрометеорології для фізико-статистичного моделювання складних атмосферних процесів [14].

Важливою характеристикою випадкового процесу є спектральна щільність, яка визначає щільність розподілу дисперсії гармонічних колювань у залежності від частоти та виступає енергетичним спектром випадкової функції (табл. 1).

Таблиця 1 – Періодичності ( $T_k$ ) в спектральній щільності та її характеристики в рядах індексу ПАК і середньомісячної температури повітря

Місяць	ПАК			Температура повітря		
	$T_k$ , рік	$S_x(\omega)$ , середня	$S_x(\omega)$ , максимальна	$T_k$ , рік	$S_x(\omega)$ , середня	$S_x(\omega)$ , максимальна
01	6,4 3,2	2,78	4,62 4,69	4,6	30,72	54,64
02	3,6 2,9	3,09	6,41 6,21	2,9	28,11	46,18
03	2,9	2,45	3,74	4,6	24,43	59,82
04	3,6	2,74	4,32	6,4	29,83	55,39
05	2,6 2,3	1,95	4,42 4,62	4-4,6 2,3	31,27	66,68 66,00 57,27
06	6,4 3,6	2,91	5,98 4,52	3,6	35,39	66,74
07	3,2	2,73	7,15	-	-	-
08	5,3	2,60	6,63	3,2	30,39	52,24
09	4,6	3,22	5,89	4,0	29,34	43,37
10	5,3	3,04	9,49	3,2	40,74	90,80
11	5,3 2,9	1,77	2,83 2,53	2,7	20,38	38,37
12	3,6	2,27	6,21	6,4	32,35	69,63

Із наведених даних бачимо, що не всі періодичності часових рядів середньомісячної температури повітря та індексу ПАК мають однаковий енергетичний внесок в загальну дисперсію цих процесів.

Часовий ряд індексу ПАК представлений широким спектром коливань: від 2-х до 6-ти років.

У спектральній щільності часового ряду індексу ПАК максимум енергії (9,49) спостерігається у жовтні, мінімум (2,53) – у листопаді. Це в три рази перевищує середній рівень спектральної щільності цього процесу та відповідає 5-річній періодичності. Максимум енергії несуть в собі також 6-річні та 2-3-річні коливання, що перевищують середній рівень спектральної щільності в 2,5 рази. В зимовий період спостерігається максимум енергії в коливаннях 3-х та 4-х років. Весною (у травні) більш енергетичними є 2-3-річні коливання, в літній період – 3-6-річні. Восени максимум енергії припадає на 5-річні коливання.

У березні часовий ряд середньомісячної температури повітря характеризується 5-річним коливанням, яке перевищує середній рівень спектральної щільності майже в 2 рази. Для цієї періодичності таке співвідношення спостерігається також у травні. У жовтні та грудні 3-річна, 6-річна періодичності мають максимум енергії (90,80 та 69,63).

Середній рівень спектральної щільності середньомісячної температури повітря змінюється від максимального (40,74) у жовтні до мінімального у листопаді (20,38).

У зимовий період в часових рядах середньомісячної температури повітря відмічаються 3, 5 та 6-річні періодичності. Останні у грудні перевищують в 2 рази середній рівень спектральної щільності. Весною спостерігається широкий спектр коливань: 4, 5 та 6-річні. Максимум енергії припадає на 4 та 5-річні коливання у березні та травні. Влітку виявлені 3 і 4-річні коливання.

У часовому ряді місячної кількості опадів (табл. 2) 3-5-річні коливання виявлені переважно у теплий період року. Характерним є зростання максимального рівня спектральної щільності з червня (20,76) по листопад (46,14). Максимум енергії припадає на 4-річні коливання у серпні та листопаді.

Таблиця 2 – Періодичності ( $T_k$ ) в спектральній щільності та її характеристики в рядах місячної кількості опадів

Місяць	$T_k$ , рік	$S_x(\omega)$ , середня	$S_x(\omega)$ , максимальна
05	4,6	15,70	24,59
	3,6		24,70
06	3,6	13,75	20,76
08	4,6	16,77	29,84
	3,6		32,20
10	2,7	21,42	39,17
11	4,0	23,83	46,14

Застосувавши взаємний спектральний аналіз до часових рядів середньомісячної температури повітря на території лівобережного регіону країни та індексу ПАК, можна визначити їх взаємозв'язок та взаємообумовленість (табл. 3).

Взаємний спектральний аналіз дає змогу визначити вклад коливань різної частоти (періоду) в загальну дисперсію двох досліджуваних процесів, а також

встановити тісний кореляційний зв'язок між коливаннями в часових рядах індексу ПАК та середньомісячної температури повітря, місячної кількості опадів.

Таблиця 3 – Статистичні оцінки взаємної спектральної щільності двох процесів (індекс ПАК – середньомісячна температура повітря)

Місяць	$K$	$C_{XY}(\omega)$	$Q_{XY}(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$T_k$ , рік	$\Psi_{XY}(\omega)$ , град.	$\Psi_{XY}(\omega)$ , рік	Висновок (виперед.)
01	3	7,81	-3,54	0,81	10,6	153,77	4,5	$X(t)$
	7	7,59	-0,41	0,77	4,6	176,93	2,3	$X(t)$
	12	0,55	-7,48	0,84	2,6	94,21	0,7	$X(t)$
02	4	1,05	5,03	0,81	8	258,22	5,7	$Y(t)$
	7	5,31	-4,07	0,82	4,6	142,54	1,8	$X(t)$
	12	-2,70	-8,19	0,82	2,6	71,73	0,5	$X(t)$
03	5	4,29	1,32	0,85	6,4	197,06	3,5	$Y(t)$
05	5	-3,07	1,99	0,76	6,4	327,03	5,8	$Y(t)$
	12	4,99	-3,45	0,77	2,6	145,31	1,0	$X(t)$
06	6	-5,55	5,29	0,92	5,3	316,36	4,7	$Y(t)$
	8	0,12	-11,30	0,85	4	90,63	1,0	$X(t)$
07	13	3,81	-1,88	0,79	2,5	153,75	1,1	$X(t)$
08	4	4,85	1,15	0,82	8	193,34	4,3	$Y(t)$
	8	-7,90	-5,48	0,91	4	34,75	0,4	$X(t)$
09	7	2,93	-9,57	0,85	4,6	107,01	1,4	$X(t)$
10	4	18,16	2,76	0,81	8	188,65	4,2	$Y(t)$
	13	-0,87	5,02	0,86	2,5	279,85	1,9	$Y(t)$
11	3	2,12	-1,79	0,81	10,6	139,91	4,1	$X(t)$
12	10	4,24	-9,58	0,83	3,2	113,87	1,0	$X(t)$

Вірогідність оцінок взаємної спектральної щільності визначалася когерентністю  $\gamma(\omega)$ . Як відомо, когерентність є спектральним коефіцієнтом взаємної кореляції процесів  $X(t)$  та  $Y(t)$ , який визначає тісноту кореляційного зв'язку між цими процесами на фіксованій частоті. Аналіз когерентності дає змогу виявити статистично значущий зв'язок гармонік з частотою (періодом  $T_k$ ), які утримуються в процесі  $X(t)$  та  $Y(t)$ . Це дає можливість порівняти взаємну енергію процесів  $X(t)$

та  $Y(t)$  на фіксованій частоті з енергією кожного з цих процесів на тій же частоті. Аналізу підлягали піки взаємної когерентності за умови  $\gamma(\omega) \geq 0,75$ .

Як випливає з табл. 3, найбільший кореляційний зв'язок між індексом ПАК та середньомісячною температурою повітря на території лівобережної України існує впродовж осінньо-зимового періоду за умови  $\gamma(\omega) > 0,80$ . У зимовий період максимуми взаємозв'язку між ними відповідають періодам 3-5, 8 та 11 років. Коливання з періодом 3 роки має максимум енергії за умови  $\gamma(\omega) = 0,84$ . У березні період значущої взаємодії зафіксовано у 6 роках за умови  $\gamma(\omega) = 0,85$ . У травні – це періоди 3 та 6 років. У квітні взаємозв'язок між середньомісячною температурою повітря та індексом ПАК відсутній. Влітку серед 3, 4, 5 та 8-річних періодів максимум енергії несуть 4-5-річні гармоніки за умови  $\gamma(\omega) = 0,91$ . Восени значущими є періоди 3, 5, 8 та 11 років, де переважаючими стали 3 та 5-річні коливання за умов  $\gamma(\omega) = 0,85$ .

Таким чином, відчутний вплив Північної Атлантики спостерігається на території досліджуваного регіону впродовж періоду осінь-зима.

За допомогою фазового спектра  $\Psi_{XY}(\omega)$  вдалося визначити початкові фази кожного з процесу, що досліджується (табл. 3). Так, процес  $X(t)$ , а саме індекс ПАК, випереджає у осінньо-зимовий період середньомісячну температуру повітря ( $Y(t)$ ) на території даного регіону. Навесні та влітку відбувається обернена ситуація: середньомісячна температура повітря випереджає індекс ПАК.

Характерною ознакою місячної кількості опадів на території України є значна просторово-часова мінливість. Так, для з'ясування впливу Північної Атлантики на режим зволоження даної території було застосовано взаємний спектральний аналіз до часових рядів індексу ПАК та місячної кількості опадів (табл. 4).

Таблиця 4 – Статистичні оцінки взаємної спектральної щільності двох процесів (індекс ПАК – місячна кількість опадів)

Місяць	K	$C_{XY}(\omega)$	$Q_{XY}(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$T_k$ , рік	$\Psi_{XY}(\omega)$ , град.	$\Psi_{XY}(\omega)$ , рік	Висновок (виперед.)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
01	5	10,88	-4,79	0,94	6,4	156,23	2,8	$X(t)$
02	3	-9,58	-3,40	0,91	10,6	19,05	0,6	$X(t)$
	12	-5,55	-5,37	0,84	2,6	44,06	0,3	$X(t)$
03	5	-1,08	-2,98	0,86	6,4	70,09	1,2	$X(t)$
04	3	6,49	-1,51	0,85	10,6	166,86	4,9	$X(t)$
05	3	1,31	-1,60	0,80	10,6	129,29	3,8	$X(t)$
06	6	4,08	-1,28	0,92	5,3	162,62	2,4	$X(t)$
07	6	-4,09	3,23	0,88	5,3	326,61	4,8	$Y(t)$
08	8	0,56	8,28	0,92	4	266,14	2,9	$Y(t)$
09	3	-7,06	2,48	0,79	10,6	340,64	10	$Y(t)$

Продовження табл.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	13	-2,79	-0,42	0,90	2,5	8,59	0,06	$X(t)$
10	6	8,0	0,58	0,74	5,3	184,13	2,7	$Y(t)$
11	4	-3,36	-0,45	0,94	8	7,66	0,2	$X(t)$
	13	1,91	-4,60	0,81	2,5	112,58	0,8	$X(t)$
12	7	2,99	3,60	0,95	4,6	230,27	2,9	$Y(t)$

Аналізу підлягали піки взаємної когерентності за умови  $\gamma(\omega) \geq 0,75$ . Високий взаємозв'язок виявлено між індексом ПАК і місячною кількістю опадів в осінньо-зимовий період. Зимово та весною максимуми взаємозв'язку між ними припадають на періоди 5, 6 та 11 років. Серед існуючих максимумів енергії відмічаються значні періоди. Отже влітку це 4 роки за умови  $\gamma(\omega)=0,92$ , восени 8 років за умови  $\gamma(\omega)=0,94$ . Вдалося визначити випередження одного процесу над іншим. Так, індекс ПАК випереджає місячну кількість опадів у період січень-червень та в осінні місяці. Впродовж липня-серпня місячна кількість опадів на території лівобережної України випереджає індекс ПАК.

Відомо також, що зміни атмосферної циркуляції в Північній Атлантиці впливають на формування приземного баричного поля. Підтвердженням цього є великі значення когерентності  $\gamma(\omega)$ , які наведені в табл. 5.

Як впливає з наведених даних, тісний кореляційний зв'язок між цими процесами спостерігається в осінньо-зимовий період. У період зима-весна максимуми взаємозв'язку між ними припадають на періоди 3-6 років. Максимум енергії характеризує період 3 роки за умови  $\gamma(\omega)=0,89$ . Влітку серед визначених періодів переважаючим є період 11 років за умови  $\gamma(\omega)=0,89$ . Восени значущим є період 5 років за умови  $\gamma(\omega)=0,97$ . У квітні, травні взаємозв'язок між приземним тиском на лівобережній частині країни та індексом ПАК відсутній.

Також було визначено випередження індексу ПАК по відношенню до приземного атмосферного тиску на території лівобережного регіону країни. Так, з'ясувалося, що перший випереджає приземний тиск впродовж осіннього періоду.

Зміна інтенсивності зональної циркуляції над Північною Атлантикою пов'язана з поступовою зміною кліматичних умов над територією Європи та України. Таким чином, переважаючим фактором формування кліматичних полів температури повітря, опадів, приземного тиску в осінньо-зимовий період є зміна ПАК.

Одержані результати добре підтверджують існування 2-6-річних та 10-річних гармонік в часових рядах ПАК, які мають вплив на формування кліматичних полів даного регіону. Також існують 11 та 22-річні коливання температури повітря, тиску та інших гідрометеорологічних показників, які пов'язані з сонячною активністю.

З'явилися роботи [15], в яких досліджується часовий ряд інсоляції, де виявлені поряд з річними коливаннями періоду обертання Землі гармоніки синодичних періодів планет Венера, Марс, Юпітер, Сатурн. Їх періоди характеризуються інтервалами від 100 діб до 15,7 років. Головним коливанням спектра значущості сигналу є гармоніка, яка відповідає синодичному періоду Юпітера з періодом 399,0 діб, та перша гармоніка синодичного періоду Венери з періодом 291,9 діб. Також при дослідженні сонячної



активності [16, 17] визначені основні цикли з періодами 11, 22, 33, 80-90 років у кліматичних варіаціях за інструментальними спостереженнями за температурою повітря та дендрохронологічними даними. Було вказано, що прояв циклів сонячної активності в змінах температури повітря поступово зменшується від берегової лінії системи Північна Атлантика – Європа.

Таблиця 5 - Статистичні оцінки взаємної спектральної щільності двох процесів (індекс ПАК – приземний атмосферний тиск)

Місяць	$K$	$C_{XY}(\omega)$	$Q_{XY}(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$T_k$ , рік	$\Psi_{XY}(\omega)$ , град	$\Psi_{XY}(\omega)$ , рік	Висновок (виперед.)
01	5	-6,76	-9,76	0,76	6,4	55,29	0,97	$X(t)$
	10	6,12	-5,25	0,79	3,2	139,37	1,2	$X(t)$
02	12	4,06	-8,73	0,72	2,7	114,95	0,9	$X(t)$
03	5	0,16	-4,47	0,84	6,4	92,01	1,6	$X(t)$
	8	-4,94	5,86	0,75	4	310,13	3,4	$X(t)$
06	3	0,79	4,65	0,89	10,6	260,36	7,6	$Y(t)$
	9	2,18	6,45	0,79	3,6	251,35	2,5	$X(t)$
07	11	3,53	-2,85	0,81	2,9	141,16	1,1	$X(t)$
08	10	-6,09	0,44	0,79	3,2	355,85	3,2	$Y(t)$
09	3	8,34	4,46	0,85	10,7	208,13	2,6	$X(t)$
	13	5,36	-1,78	0,87	2,5	161,58	1,1	$X(t)$
10	6	-10,57	5,14	0,97	5,3	334,07	4,9	$Y(t)$
	7	-6,16	0,73	0,97	4,6	353,23	4,5	$Y(t)$
11	3	2,33	-3,02	0,81	10,6	127,61	3,8	$X(t)$
	13	-2,93	-1,43	0,75	2,5	25,94	0,2	$X(t)$
12	7	-5,86	2,21	0,78	4,6	339,32	4,3	$Y(t)$
	11	13,44	0,07	0,89	2,9	180,31	1,5	$Y(t)$

**Висновки:** атмосферна циркуляція в Північній Атлантиці є головною ланкою загальної циркуляції атмосфери, яка впливає на формування кліматичних умов Атлантико-Європейського сектора. Часовий ряд індексу ПАК містить значущі 3-6-річні коливання, які спостерігаються в осінньо-зимовий період. Максимуми енергії в осінньо-зимовий та весняний періоди приховують часові ряди середньомісячної температури повітря. Взаємний спектральний аналіз підтвердив тісний кореляційний зв'язок між індексом ПАК та місячною кількістю опадів, середньомісячною температурою повітря, приземним тиском на території лівобережного регіону країни.

Виявлені особливості статистичної структури кліматичних полів температури повітря, опадів, приземного тиску на території лівобережної України допоможуть при складанні короткочасних і довгочасних прогнозів.

### Список літератури

1. *Мартазинова Т.В.* О колебаниях положения и интенсивности центров действия атмосферы // Метеорология и гидрология. – 1990. - № 4. – С. 50-56.
2. *Казаков С.И.* О межгодовой изменчивости поля приземного давления воздуха // Метеорология и гидрология. – 1991. - № 6. – С. 22-27.
3. *Александрова М.П., Володин Е.М., Газина Е.А., Соколичина Н.Н.* Низкочастотная изменчивость атмосферной циркуляции Северного полушария зимой // Метеорология и гидрология. – 2004. - № 1. – С. 15-24.
4. *Свердлик Т.А.* Эволюция крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха Северного полушария во второй период современного глобального потепления // Тр. УкрНИГМИ. – 1999. – Вып. 247. – С. 63-75.
5. *Жадин Е.А.* Арктическое колебание и межгодовые вариации температуры поверхности Атлантического и Тихого океанов // Метеорология и гидрология. – 2001. - № 8. – С. 28-40.
6. *Полонский А.Б.* О десятилетней изменчивости в системе океан-атмосфера // Метеорология и гидрология. – 1998. - № 5. – С. 55-63.
7. *Гуцина Д.Ю.* Оценка воспроизведения особенностей глобальной циркуляции атмосферы и взаимосвязи между циркуляцией в тропиках и умеренных широтах // Метеорология и гидрология. – 2003. - № 8. – С. 5-26.
8. *Бардин М.Ю., Воскресенская Е.Н.* Тихоокеанская декадная осцилляция и европейские климатические аномалии // Морской гидрофизический журнал. – 2007. - № 4. – С. 13-23.
9. *Полонский А.Б., Башарин Д.В., Воскресенская Е.Н., Ворли С.* Североатлантическое колебание: описание, механизмы и влияние на климат Евразии // Морской гидрофизический журнал. – 2004. - № 2. – С. 42-59.
10. *Нестеров Е.С.* Особенности состояния океана и атмосферы в различные фазы североатлантического колебания // Метеорология и гидрология. – 1998. - № 8. – С. 74-82.
11. *Сидоренко Н.С., Орлов И.А.* Атмосферные циркуляционные эпохи и изменение климата // Метеорология и гидрология. – 2008. - № 9. – С. 22-29.
12. *Гуцина Д.Ю., Аракелян Т.Г., Петросянци М.А.* Связь интенсивности циркуляции в циклонах умеренных широт с аномалиями температуры и осадков // Метеорология и гидрология. – 2008. - № 11. – С. 5-20.
13. *Сидоренко Н.С., Орлов И.А.* Атмосферные циркуляционные эпохи и изменение климата // Метеорология и гидрология. – 2008. - № 9. – С. 22-29.
14. *Гончарова Л.Д., Школьный С.П.* Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації : Навчальний посібник. – Одеса: Екологія, 2007. – 464 с.
15. *Богданов М.Б., Сурков А.Н.* Короткопериодные изменения инсоляции, вызванные планетарными возмущениями орбиты Земли // Метеорология и гидрология. – 2006. - № 1. – С. 48-54.
16. *Касаткина Е.А., Шумилов О.И., Канатъев А.Г.* Проявление циклов солнечной активности в атмосфере Северной Атлантики и Европы // Метеорология и гидрология. – 2006. - № 1. – С. 55-59.
17. *Егоров А.Г.* Солнечная активность, барическая волна в приземной атмосфере и многолетнее изменение арктического колебания // Метеорология и гидрология. – 2004. - № 2. – С. 27-37.

#### **Влияние Северной Атлантики на температуру воздуха, осадки, приземное давление на левобережной Украине. Гончарова Л.Д., Решетченко С.И.**

*На основе взаимного спектрального анализа была выявлена взаимосвязь между Северной Атлантикой и температурой воздуха, осадками, приземным давлением на территории левобережной Украины во второй половине XX столетия.*

**Ключевые слова:** Североатлантическое колебание, атмосферное давление, атмосферная циркуляция, температура воздуха, осадки, периодичности.

#### **Influence of North Atlantic on the temperature of air, precipitation, surface pressure of left bank part Ukraine. Goncharova L.D., Reschetchenko S. I.**

*On the basis of spectral analysis intercommunication is exposed between North Atlantic and temperature of air, precipitation, by the ground pressure on territory of left-bank Ukraine in the second half of 20-ty century.*

**Keywords:** North-Atlantic oscillation, atmospheric pressure, atmospheric circulation, temperature of air, precipitation, periodicity.

**ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАССЕЙНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ ПРИ ПОСТОЯННЫХ КОЭФФИЦИЕНТАХ ДИФФУЗИИ И СКОРОСТЯХ ПЕРЕНОСА**

Доказана теорема о фундаментальности решения дифференциального уравнения турбулентной диффузии для функции  $q(t,x,y,z)$  пространственно-временного распределения вредных веществ от любого типа непрерывно действующего источника, который удовлетворяет условиям теоремы. Решение представлено уравнением, которое названо "формулой SVT". Формула SVT содержит пространственные координаты, составляющие вектора скорости ветра и тензора турбулентного напряжения, учитывает поглощающие свойства поверхности и скорость осаждения частиц вредных веществ.

**Ключевые слова:** уравнение турбулентной диффузии, модель загрязнения атмосферы, взаимодействие примеси с поверхностью, загрязнение воздуха, точечный источник.

**Постановка проблемы.** При моделировании процессов распространения примесей в трехмерной области предпочтение отдается аналитическому или численному решению полуэмпирического дифференциального уравнения турбулентной диффузии (УТД) в декартовых координатах [1,2,3,4,5]. В этом случае линейризованная модель распространения примеси учитывает характерные основные особенности процесса, а именно: перенос примеси в направлении потока, турбулентную диффузию, конвекцию, пространственно-временную неоднородность параметров рассеяния, взаимодействие примеси с подстилающей поверхностью и верхней границей слоя перемешивания и другие факторы.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работах [6,7] получено решение уравнения турбулентной диффузии для постоянно действующего точечного источника  $Q(t) \equiv Q(\text{const})$ , в котором, в отличие от предыдущих решений, учитывается взаимодействие составляющих диффузии  $K_i$  и скорости ветра  $u_i$  в направлении осей ( $i = x, y, z$ ) выбранной системы координат. Решение стационарного уравнения турбулентной диффузии [6]

$$uq_x + vq_y + wq_z - K_x q_{xx} - K_y q_{yy} - K_z q_{zz} = Q\delta(x)\delta(y)\delta(z-h), \quad (1)$$

при выбранных граничных условиях в полупространстве  $z \geq z_0$

$$K_z q_z(x, y, z_0) - \beta q(x, y, z_0) = 0; \quad \lim_{x, y \rightarrow \pm\infty, z \rightarrow +\infty} q(x, y, z) = 0, \quad (2)$$

приводит к следующей стационарной функции

$$q(x, y, z) = \frac{Q e^{\frac{ux}{2K_x} + \frac{vy}{2K_y} + \frac{w(z-h)}{2K_z}}}{4\pi \sqrt{K_x K_y K_z}} \left( \frac{e^{-\frac{1}{2} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z-h)^2}{K_z}} \cdot \sqrt{\frac{u^2}{K_x} + \frac{v^2}{K_y} + \frac{w^2}{K_z}}}}{\sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z-h)^2}{K_z}}} \right) +$$

$$+ \frac{Qe^{\frac{ux}{2K_x} + \frac{vy}{2K_y} + \frac{w(z-h)}{2K_z}}}{4\pi\sqrt{K_x K_y K_z}} \left( \frac{e^{-\frac{1}{2}\sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z+h-2z_0)^2}{K_z}} \cdot \sqrt{\frac{u^2}{K_x} + \frac{v^2}{K_y} + \frac{w^2}{K_z}}}}{\sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z+h-2z_0)^2}{K_z}}} \right) + \quad (3)$$

$$+ \frac{w+2\beta}{K_z} \cdot \frac{Qe^{\frac{ux}{2K_x} + \frac{vy}{2K_y} + \frac{w(z-h)}{2K_z}}}{4\pi\sqrt{K_x K_y K_z}} \int_0^\infty e^{\frac{w+2\beta}{2K_z}\xi - \frac{1}{2}\sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z+h-2z_0+\xi)^2}{K_z}} \cdot \sqrt{\frac{u^2}{K_x} + \frac{v^2}{K_y} + \frac{w^2}{K_z}}} d\xi,$$

В формулах (1),(2),(3)  $u, v, w$  – средние скорости переноса,  $K_x, K_y, K_z$  – коэффициенты диффузии в соответствующих направлениях координатных осей,  $\beta$  – параметр, характеризующий взаимодействие примеси с подстилающей поверхностью, имеющий размерность скорости и далее представленный коэффициентом поглощения  $\beta = -\alpha$ ,  $h$  – высота источника примеси. В уравнениях (1) и (2) индексами при искомой функции обозначены ее частные производные. Формула (3), в силу ее достаточной оригинальности, названа авторами “формулой SVT” [7,8].

Решение уравнения (1) ранее многими авторами автоматически переносилось на решение упрощенного стационарного уравнения в предположении, что диффузия примеси в направлении переноса отсутствует, а процессы горизонтальной (по  $y$ ) и вертикальной (по  $z$ ) диффузии независимы. Это облегчало математическую задачу, но искажало суть процесса. Решение упрощенного уравнения вело к простой, но приближенной функции, соответствующей гауссову распределению концентраций. Однако, при малых скоростях переноса или при штиле, в условиях развитой конвективной турбулентности, член, содержащий  $K_x$  в уравнении (1), позволяет построить поле  $q(x, y, z)$ , даже с наветренной стороны источника.

Найденное решение УТД в виде формулы (3) является общим по сравнению с иными решениями, которые относительно (3), являются частными случаями. Решение в большей части полупространства асимптотически приближается к известной формуле гауссовой модели диффузии [6].

В работе Берлянда М.Е. [3] отмечалось, что упрощенные схемы решения УТД позволяют получить его фундаментальное решение, близкое к решению полного уравнения диффузии, но только при условии совпадения начальных и граничных условий. Но с уменьшением скорости переноса частиц примеси, т.е. при уменьшении скорости ветра, различия между решениями упрощенного и полного уравнения УТД существенно возрастают.

**Формулировка целей статьи.** В работе приводится доказательство фундаментальности решения полного уравнения турбулентной диффузии. Перенос и диффузия примеси рассматривается над поверхностью, которая удовлетворяет граничным условиям, предложенным Мониным А.С. [9] и другими авторами [4,10]. Подробность выполненного доказательства позволяет отразить его в качестве теоремы.

**Теорема.** Рассмотрим нестационарное уравнение турбулентной диффузии для концентрации примеси, заданной функцией  $q(x, y, z)$  от точечного источника мгновенного выброса с мощностью  $Q$ , расположенного в точке с координатами  $(0, 0, 0, h)$  в области  $t > 0, x, y \in R, z \geq 0$

$$q_t + uq_x + vq_y + wq_z - K_x q_{xx} - K_y q_{yy} - K_z q_{zz} = Q\delta(t)\delta(x)\delta(y)\delta(z-h). \quad (4)$$

В качестве граничных используются условие (2), с учетом временного аргумента, и принимаются нулевые начальные условия

$$q(0, x, y, z) = 0; K_z q_z(t, x, y, 0) + \alpha q(t, x, y, 0) = 0; \lim_{x, y \rightarrow \pm\infty, z \rightarrow +\infty} q(t, x, y, z) = 0. \quad (5)$$

Фундаментальным решением уравнения (4) при условиях (5) является функция, полученная в работе [6]

$$q(t, x, y, z) = \frac{Qe^{-\frac{(x-ut)^2}{4K_x t} - \frac{(y-vt)^2}{4K_y t} - \frac{(z-h-wt)^2}{4K_z t}}}{8\pi\sqrt{\pi K_x K_y K_z t^3}} \left( 1 + e^{-\frac{zh}{K_z t} + \frac{w+2\alpha}{K_z} \int_0^\infty e^{-\frac{w+2\alpha}{2K_z} \tau - \frac{(\tau+z+h)^2}{4K_z t} + \frac{(z-h)^2}{4K_z t}} d\tau} \right). \quad (6)$$

**Доказательство теоремы.** Для доказательства рассмотрим двумерное уравнение переноса

$$b_t + ub_x - Kb_{xx} = Q(t, x); t > 0; x \in R; b(0, x) = 0; \lim_{x \rightarrow \pm\infty} b(t, x) = 0. \quad (7)$$

Здесь  $Q(t, x)$  – абсолютно интегрируемая в указанной области функция,  $b(t, x)$  – функция (ограниченная по физическому смыслу) медленного роста.

Применим преобразование Лапласа к уравнениям (7), где переход от оригинала к изображению обозначен стандартно  $b(t, x) \rightarrow \hat{b}(p, x)$  и, учитывая начальные условия, получаем краевую задачу

$$K\hat{b}_{xx} - u\hat{b}_x - p\hat{b} = -\hat{Q}(p, x); x \in R; \lim_{x \rightarrow \pm\infty} \hat{b}(p, x) = 0; Q(t, x) \rightarrow \hat{Q}(p, x). \quad (8)$$

Представим (8) в следующем виде

$$K \frac{d}{dx} \left( e^{-\frac{u+\sqrt{u^2+4pK}}{2K}x} \left( \hat{b}_x - \frac{u-\sqrt{u^2+4pK}}{2K} \hat{b} \right) \right) = -\hat{Q}(p, x) e^{-\frac{u+\sqrt{u^2+4pK}}{2K}x}. \quad (9)$$

Учитывая граничные условия, интегрируем (9) в пределах  $s \in [x, +\infty]$



$$K \left( \hat{b}_x - \frac{u - \sqrt{u^2 + 4pK}}{2K} \hat{b} \right) = \int_x^\infty \hat{Q}(p, s) e^{-\frac{u + \sqrt{u^2 + 4pK}}{2K}(x-s)} ds. \quad (10)$$

Для повторного интегрирования приводим уравнение (10) к виду

$$K \frac{d}{dx} \left( e^{-\frac{u - \sqrt{u^2 + 4pK}}{2K}x} \hat{b} \right) = \int_x^\infty \hat{Q}(p, s) e^{-\frac{u + \sqrt{u^2 + 4pK}}{2K}s + \frac{\sqrt{u^2 + 4pK}}{K}x} ds. \quad (11)$$

Интегрируем по оставшейся части области изменения  $s \in [-\infty, x]$  и, учитывая граничное условие, получаем

$$K \hat{b} = \int_{-\infty}^x d\tau \int_{-\infty}^\infty \hat{Q}(p, s) e^{\frac{u + \sqrt{u^2 + 4pK}}{2K}(x-s) + \frac{\sqrt{u^2 + 4pK}}{K}(\tau-x)} ds. \quad (12)$$

Изменяем, порядок интегрирования в правой части (12)

$$K \hat{b} = \int_{-\infty}^\infty \hat{Q}(p, s) e^{\frac{u + \sqrt{u^2 + 4pK}}{2K}(x-s)} ds \int_{-\infty}^{\min(s, x)} e^{\frac{\sqrt{u^2 + 4pK}}{K}(\tau-x)} d\tau, \quad (13)$$

и интегрируя по аргументу внутреннего интеграла, находим изображение

$$\hat{b} = \frac{1}{\sqrt{u^2 + 4pK}} \int_{-\infty}^\infty \hat{Q}(p, s) e^{\frac{u}{2K}(x-s) + \frac{\sqrt{u^2 + 4pK}}{2K}(2 \min(s, x) - x - s)} ds,$$

или окончательно

$$\hat{b}(p, x) = \frac{1}{\sqrt{u^2 + 4pK}} \int_{-\infty}^\infty \hat{Q}(p, s) e^{\frac{u}{2K}(x-s) - \frac{\sqrt{u^2 + 4pK}}{2K}|x-s|} ds. \quad (14)$$

Оригинал, есть решение уравнения (7) и имеет следующий вид

$$b(t, x) = \int_{-\infty}^\infty e^{\frac{u}{2K}(x-s)} ds \int_0^t \frac{Q(t-\tau, s)}{2\sqrt{\pi K \tau}} e^{-\frac{u^2 \tau^2 + (x-s)^2}{4K \tau}} d\tau. \quad (15)$$

Предполагая  $Q(t, x) = \delta(t) \delta(x)$ , для уравнения (7) находим фундаментальное решение обобщенной задачи, которое будет также и классическим

$$b(t, x) = \frac{e^{-\frac{(x-ut)^2}{4Kt}}}{2\sqrt{\pi Kt}}, \quad t > 0. \quad (16)$$

Аналогичная двухмерная краевая задача в пространстве  $(t, y)$ ,  $t > 0$ ,  $y \in R$ , имеет фундаментальное решение

$$c(t, y) = e^{-\frac{(y-vt)^2}{4Kt}} / 2\sqrt{\pi Kt}, \quad t > 0. \quad (17)$$

Рассмотрим теперь краевую задачу в пространстве  $(t, z)$ ,  $t > 0, z \geq 0$ , заданную уравнением со смешанными краевыми условиями на нижней границе

$$g_t + wg_z - Kg_{zz} = Q(t, z); \quad t > 0; z \geq 0; \quad g(0, z) = 0; \quad (18)$$

$$\lim_{z \rightarrow +\infty} g(t, z) = 0; \quad Kg_z(t, 0) + \alpha g(t, 0) = 0.$$

Применив преобразование Лапласа к уравнению, получим

$$g(t, z) \rightarrow \hat{g}(p, z); \quad g(t, 0) \rightarrow \hat{g}_0(p); \quad Q(t, z) \rightarrow \hat{Q}(p, z); \\ K\hat{g}_{zz} - w\hat{g}_z - p\hat{g} = -\hat{Q}(p, z); \quad t > 0; z \geq 0, \quad \lim_{z \rightarrow +\infty} \hat{g}(p, z) = 0; \quad K\hat{g}_z(p, 0) + \alpha\hat{g}_0(p) = 0. \quad (19)$$

Представим уравнение (19) в следующем виде

$$K \frac{d}{dz} \left( e^{-\frac{w+\sqrt{w^2+4pK}}{2K}z} \left( \hat{g}_z - \frac{w-\sqrt{w^2+4pK}}{2K} \hat{g} \right) \right) = -\hat{Q}(p, z) e^{-\frac{w+\sqrt{w^2+4pK}}{2K}z}. \quad (20)$$

Как и в предыдущем случае выполним интегрирование (20) с учетом граничных свойств изображения в пределах  $s \in [z, +\infty]$

$$K \left( \hat{g}_z - \frac{w-\sqrt{w^2+4pK}}{2K} \hat{g} \right) = \int_z^\infty \hat{Q}(p, s) e^{\frac{w+\sqrt{w^2+4pK}}{2K}(z-s)} ds. \quad (21)$$

При  $z = 0$  определяем, используя (19), граничное значение изображения

$$-\alpha\hat{g}_0(p) - \frac{w-\sqrt{w^2+4pK}}{2} \hat{g}_0(p) = \int_0^\infty \hat{Q}(p, s) e^{-\frac{w+\sqrt{w^2+4pK}}{2K}s} ds, \quad (22)$$

или окончательно

$$\hat{g}_0(p) = \int_0^\infty \frac{2\hat{Q}(p, s) e^{-\frac{w+\sqrt{w^2+4pK}}{2K}s}}{\sqrt{w^2+4pK} - w - 2\alpha} ds. \quad (23)$$

Далее приводим (21) к следующему виду

$$K \frac{d}{dz} \left( e^{-\frac{w-\sqrt{w^2+4pK}}{2K}z} \hat{g} \right) = \int_z^\infty \hat{Q}(p,s) e^{-\frac{w+\sqrt{w^2+4pK}}{2K}s + \frac{\sqrt{w^2+4pK}}{K}z} ds. \quad (24)$$

При повторном интегрировании на промежутке  $[0, z]$  учитываем граничное значение (23) на нижней границе

$$K \left( \hat{g} - e^{-\frac{w-\sqrt{w^2+4pK}}{2K}z} \hat{g}_0 \right) = \int_0^z d\tau \int_\tau^\infty \hat{Q}(p,s) e^{-\frac{w+\sqrt{w^2+4pK}}{2K}(z-s) + \frac{\sqrt{w^2+4pK}}{K}(\tau-z)} ds. \quad (25)$$

Изменяем порядок интегрирования в (25)

$$K \left( \hat{g} - \hat{g}_0 e^{-\frac{w-\sqrt{w^2+4pK}}{2K}z} \right) = \int_0^\infty \hat{Q}(p,s) e^{-\frac{w+\sqrt{w^2+4pK}}{2K}(z-s)} ds \int_0^{\min(s,z)} e^{-\frac{\sqrt{w^2+4pK}}{K}(\tau-z)} d\tau. \quad (26)$$

Интегрируем по внутреннему аргументу, аналогично (14), и выражаем изображение, используя граничное значение  $\hat{g}_0(p)$ , заданное формулой (23)

$$\hat{g}(p,z) = \int_0^\infty \hat{Q}(p,s) e^{\frac{w}{2K}(z-s)} \left( \frac{e^{-\frac{\sqrt{w^2+4pK}}{2K}|z-s|}}{\sqrt{w^2+4pK}} - \frac{e^{-\frac{\sqrt{w^2+4pK}}{2K}(z+s)}}{\sqrt{w^2+4pK}} + \frac{2e^{-\frac{\sqrt{w^2+4pK}}{2K}(z+s)}}{\sqrt{w^2+4pK} - w - 2\alpha} \right) ds. \quad (27)$$

Определяем оригиналы интегрального ядра по изображениям

$$\frac{e^{-\frac{\sqrt{w^2+4pK}}{2K}|z-s|}}{\sqrt{w^2+4pK}} \leftarrow \frac{e^{-\frac{w^2t^2+(z-s)^2}{4Kt}}}{2\sqrt{\pi Kt}}; \quad \frac{e^{-\frac{\sqrt{w^2+4pK}}{2K}(z+s)}}{\sqrt{w^2+4pK}} \leftarrow \frac{e^{-\frac{w^2t^2+(z+s)^2}{4Kt}}}{2\sqrt{\pi Kt}}. \quad (28)$$

Обратное преобразование оставшегося члена ядра находим по следующей схеме:

$$1. \quad \frac{2e^{-\frac{p}{\sqrt{K}}(z+s)}}{2\sqrt{K}p - w - 2\alpha} \leftarrow \frac{e^{\frac{w+2\alpha}{2\sqrt{K}}\left(t - \frac{z+s}{\sqrt{K}}\right)}}{\sqrt{K}} \eta\left(t - \frac{z+s}{\sqrt{K}}\right), \text{ где } \eta\left(t - \frac{z+s}{\sqrt{K}}\right) - \text{единичная функция Хевисайда;}$$

$$2. \quad \frac{2e^{-\frac{\sqrt{p}}{\sqrt{K}}(z+s)}}{2\sqrt{pK} - w - 2\alpha} \leftarrow \frac{e^{-\frac{(z+s)^2}{4Kt}}}{\sqrt{\pi Kt}} + \frac{w+2\alpha}{2K} \int_0^\infty e^{-\frac{w+2\alpha}{2\sqrt{K}}\omega - \frac{\left(\omega + \frac{z+s}{\sqrt{K}}\right)^2}{4t}} d\omega;$$

$$3. \frac{2e^{-\frac{\sqrt{w^2+4pK}(z+s)}{2K}}}{\sqrt{w^2+4pK-w-2\alpha}} \leftarrow e^{-\frac{w^2t^2+(z+s)^2}{4Kt}} + \frac{w+2\alpha}{2K} \int_0^\infty e^{-\frac{w+2\alpha}{2K}\tau - \frac{(\tau+z+s)^2+w^2t^2}{4Kt}} \frac{d\tau}{\sqrt{\pi Kt}} \quad (29)$$

Используя (28) и схему (29) для правой части формулы (27), находим оригинал

$$g(t,z) = \int_0^\infty \int_0^t ds \int_0^\infty Q(t-\omega,s) e^{-\frac{(z-s-w\omega)^2}{4K\omega}} \frac{\left( 1 + e^{-\frac{zs}{K\omega} + \frac{w+2\alpha}{K} \frac{(z-s)^2}{4K\omega}} \int_0^\infty e^{-\frac{w+2\alpha}{2K}\tau - \frac{(\tau+z+s)^2}{4K\omega}} d\tau \right)}{2\sqrt{\pi K\omega}} d\omega \quad (30)$$

В случае наличия функции источника  $Q(t,z) = \delta(t)\delta(z-h)$ , определяем фундаментальное решение краевой задачи (18)

$$g(t,z,h) = \frac{e^{-\frac{(z-h-wt)^2}{4Kt}}}{2\sqrt{\pi Kt}} \left( 1 + e^{-\frac{zh}{Kt} + \frac{w+2\alpha}{K} \frac{(z-h)^2}{4Kt}} \int_0^\infty e^{-\frac{w+2\alpha}{2K}\tau - \frac{(\tau+z+h)^2}{4Kt}} d\tau \right) \quad (31)$$

По построению решений обобщенных задач в форме (16), (17) и (31), и аддитивно мультипликативных свойств дифференцирования, однородное уравнение (4) с приведенными краевыми условиями имеет частное решение, заданное произведением решений соответствующих двухмерных задач при заданных коэффициентах диффузии

$$L(t,x,y,z,h) = b(t,x)c(t,y)g(t,z,h). \quad (32)$$

Это решение имеет сингулярность в точке области интегрирования  $t=0, x=0, y=0, z=0$ . Остается показать, что неоднородная краевая задача (4), (5) с произвольной правой частью  $Q(t,x,y,z)$  будет иметь частное решение вида

$$q(t,x,y,z) = \int_{-\infty}^\infty ds \int_{-\infty}^\infty dr \int_0^\infty dp \int_0^t Q(t-\omega,s,r,p) L(\omega,x-s,y-p,z,p) d\omega; \quad (33)$$

$$L(t,x,y,z,p) = \frac{e^{-\frac{(x-ut)^2}{4K_x t} - \frac{(y-vt)^2}{4K_y t} - \frac{(z-p-wt)^2}{4K_z t}}}{8\pi\sqrt{\pi K_x K_y K_z t^3}} \times \quad (34)$$

$$\times \left( 1 + e^{-\frac{zp}{K_z t} + \frac{w+2\alpha}{K_z} \frac{(z-p)^2}{4K_z t}} \int_0^\infty e^{-\frac{w+2\alpha}{2K_z}\tau - \frac{(\tau+z+p)^2}{4K_z t}} d\tau \right)$$

Поскольку интегральное ядро  $L(t, x, y, z, p)$  в области интегрирования при  $t > 0$  удовлетворяет однородному уравнению по аргументам исходной задачи, то подстановка (33) в неоднородное уравнение приводит к равенству

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\infty} ds \int_{-\infty}^{\infty} dr \int_0^{\infty} dp \int_0^t Q_t(t-\omega, s, r, p) L(\omega, x-s, y-r, z, p) d\omega - \\ & - \int_{-\infty}^{\infty} ds \int_{-\infty}^{\infty} dr \int_0^{\infty} dp \int_0^t Q(t-\omega, s, r, p) L_{\omega}(\omega, x-s, y-r, z, p) d\omega = \\ & = \int_{-\infty}^{\infty} ds \int_{-\infty}^{\infty} dr \int_0^{\infty} Q(0, s, r, p) L(t, x-s, y-r, z, p) dp + Q(t, x, y, z). \end{aligned} \quad (35)$$

Проинтегрировав по частям второй интеграл и переходя к пределу в точке  $\omega = 0$ , с учетом сингулярности получаем уравнение, равносильное (35)

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \int_{-\infty}^{\infty} ds \int_{-\infty}^{\infty} dr \int_0^{\infty} Q(t-\omega, s, r, p) L(\omega, x-s, y-r, z, p) dp = Q(t, x, y, z). \quad (36)$$

Чтобы доказать (36), проинтегрируем (27) при  $\hat{Q}(p, s) = \delta(s-h)$  и  $K = K_z$  по переменной  $h$ , что соответствует правой части двумерного уравнения (21) с источником

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} \hat{g}(p, z, h) dh &= \int_0^{\infty} e^{\frac{w}{2K_z}(z-s)} \left( \frac{e^{-\frac{\sqrt{w^2+4pK_z}}{2K_z}|z-s|}}{\sqrt{w^2+4pK_z}} - \frac{e^{-\frac{\sqrt{w^2+4pK_z}}{2K_z}(z+s)}}{\sqrt{w^2+4pK_z}} + \frac{2e^{-\frac{\sqrt{w^2+4pK_z}}{2K_z}(z+s)}}{\sqrt{w^2+4pK_z}-w-2\alpha}} \right) ds = \\ &= \frac{2K_z - 2K_z e^{\frac{w-\sqrt{w^2+4pK_z}}{2K_z}z}}{\sqrt{w^2+4pK_z}(\sqrt{w^2+4pK_z}+w)} - \frac{2K_z - 2K_z e^{\frac{w-\sqrt{w^2+4pK_z}}{2K_z}z}}{\sqrt{w^2+4pK_z}(\sqrt{w^2+4pK_z}-w)} + \\ &+ \frac{4K_z e^{\frac{w-\sqrt{w^2+4pK_z}}{2K_z}z}}{(\sqrt{w^2+4pK_z}-w-2\alpha)(\sqrt{w^2+4pK_z}+w)} = \frac{1}{p} + \frac{2\alpha e^{\frac{w-\sqrt{w^2+4pK_z}}{2K_z}z}}{p(\sqrt{w^2+4pK_z}-w-2\alpha)}. \end{aligned} \quad (37)$$

Обратным преобразованием по схеме (29) определяем соответствующий (37) оригинал



$$\int_0^{\infty} g(t, z, h) dh = 1 + \alpha \int_0^t \frac{e^{-\frac{(z-w\omega)^2}{4K_z\omega}}}{\sqrt{\pi K_z\omega}} \left( 2 + \frac{w+2\alpha}{K_z} \int_0^{\infty} e^{-\frac{w+2\alpha}{2K_z}\tau - \frac{\tau^2+2z\tau}{4K_z\omega}} d\tau \right) d\omega \rightarrow 1, \quad t \rightarrow 0. \quad (38)$$

В области интегрирования левой части (33) точка сингулярности определена координатами:  $s = x$ ,  $r = y$ ,  $p = z$ ,  $\omega = 0$ . Зафиксируем произвольное положительное число  $\varepsilon > 0$ . Для переменной  $\omega > 0$  выберем окрестность  $\Omega_\varepsilon$ , заданную неравенством

$$\omega \left( \frac{|u|}{\sqrt{K_x}} + \frac{|v|}{\sqrt{K_y}} + \frac{|w| + 2|\alpha|}{\sqrt{K_z}} \right) \leq \frac{\varepsilon}{2}.$$

В области интегрирования определим также окрестность, содержащую точку сингулярности

$$U_\varepsilon = \bigcap_{\omega \in \Omega_\varepsilon} \left\{ (\omega, s, r, p) : |x - s - u\omega| \leq \varepsilon\sqrt{K_x}, |y - r - v\omega| \leq \varepsilon\sqrt{K_y}, |z - p - w\omega| \leq \varepsilon\sqrt{K_z} \right\}.$$

По правилу выбора  $\Omega_\varepsilon$ , данная точка содержит окрестность

$$\tilde{U}_\varepsilon = \left\{ (s, r, p) : |x - s| \leq \frac{\varepsilon\sqrt{K_x}}{2}, |y - r| \leq \frac{\varepsilon\sqrt{K_y}}{2}, |z - p| \leq \frac{\varepsilon\sqrt{K_z}}{2} \right\}.$$

Следовательно, для всех точек  $\tilde{U}_\varepsilon$  и  $\omega \in \Omega_\varepsilon$  будут выполнены неравенства  $U_\varepsilon$ .

Согласно (38) и свойствам Гауссовых функций – решений двухмерных уравнений (17), (18), составляющих ядро интегрирования, равенство (36) можно представить в виде

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \int_{-\infty}^{\infty} ds \int_{-\infty}^{\infty} dr \int_0^{\infty} (Q(t - \omega, s, r, p) - Q(t, x, y, z)) L(\omega, x - s, y - r, z, p) dp = 0. \quad (39)$$

Тогда в малой окрестности  $U_\varepsilon$ , для дифференцируемых на  $U$  по всем аргументам функций  $Q(t, x, y, z)$  выполнено

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} |Q(t - \omega, s, r, p) - Q(t, x, y, z)| \leq \lim_{\omega \rightarrow 0} (C_1(t)\varepsilon + C_2(t)\omega) = C_1(t)\varepsilon, \quad (40)$$

при этом для неотрицательного интегрального ядра справедливо неравенство

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \iiint_{\tilde{U}_\varepsilon} L(\omega, x - s, y - r, z, p) dp \leq \lim_{\omega \rightarrow 0} \iiint_U L(\omega, x - s, y - r, z, p) dp = 1, \quad (41)$$

а во внешней части окрестности при оговоренных ограничениях на  $Q(t, x, y, z)$  получаем

$$\begin{aligned}
 R_\varepsilon(\omega) &= \left| \iiint_{U \setminus \tilde{U}_\varepsilon} (Q(t-\omega, s, r, p) - Q(t, x, y, z)) L(\omega, x-s, y-r, z, p) dsdrdp \right| \leq \\
 &\leq \max_{U \setminus \tilde{U}_\varepsilon} L(\omega, x-s, y-r, z, p) \iiint_U |Q(t-\omega, s, r, p)| dsdrdp + \\
 &+ |Q(t, x, y, z)| \iiint_{U \setminus \tilde{U}_\varepsilon} L(\omega, x-s, y-r, z, p) dsdrdp \leq \\
 &\leq 4 |Q(t, x, y, z)| \operatorname{Erf}^2 \left( \frac{\varepsilon}{4\sqrt{\omega}} \right) \int_0^\infty q_3(\omega, z, s) ds + \frac{e^{-\frac{3\varepsilon^2}{4\omega}} \iiint_U |Q(t-\omega, s, r, p)| dsdrdp}{4\pi\sqrt{\pi K_x K_y K_z \omega^3}}.
 \end{aligned} \tag{42}$$

Согласно интегральным свойствам правой части, а также свойствам Гауссовых функций

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} R_\varepsilon(\omega) = 0, \tag{43}$$

при этом остальные величины ограничены. Следовательно, по (40), (41), (42) имеем

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \left| \int_{-\infty}^\infty ds \int_{-\infty}^\infty dr \int_0^\infty (Q(t-\omega, s, r, p) - Q(t, x, y, z)) L(\omega, x-s, y-r, z, p) dp \right| \leq C_1 \varepsilon. \tag{44}$$

В силу произвольности выбора  $\varepsilon$ , равенство (39), также как и (36), тождественно а, следовательно, теорема доказана.

**Результаты исследования и их анализ.** Доказанная теорема позволяет с помощью формулы (33) установить пространственно-временное распределение концентрации вредных веществ от любого типа непрерывно действующего источника, удовлетворяющего условиям теоремы. Форма и интенсивность источников при этом регулируется приведенными в доказательстве требованиями к правой части уравнения (4), всюду на области неоднородности уравнения.

Если в динамической модели интенсивность источников не зависит от времени, то при длительном их действии, при квазипостоянных скоростях переноса, происходит стационарное распределение примеси  $\tilde{q}(x, y, z) = \lim_{t \rightarrow \infty} q(t, x, y, z)$ . Если граничные процессы соответствуют условиям динамической задачи, то для стационарного распределения концентрации будут справедливы следующие граничные условия

$$K_z \tilde{q}_z(x, y, 0) + \alpha \tilde{q}(x, y, 0) = 0; \lim_{x, y \rightarrow \pm\infty, z \rightarrow +\infty} \tilde{q}(x, y, z) = 0. \tag{45}$$

Согласно формуле (33), при переходе к пределу  $t \rightarrow \infty$  получаем стационарное распределение концентрации

$$\tilde{q}(x, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} ds \int_{-\infty}^{\infty} dr \int_0^{\infty} dp \int_0^{\infty} Q(s, r, p) L(\omega, x-s, y-r, z, p) d\omega. \quad (46)$$

Внутренний интеграл для ядра (34) легко определяется в таблице изображений Лапласа, а формула (46) приобретает вид

$$\begin{aligned} \tilde{q}(x, y, z) = & \frac{w+2\alpha}{K_z} \int_{-\infty}^{\infty} ds \int_{-\infty}^{\infty} dr \int_0^{\infty} Q(x-s, y-r, p) I(s, r, z, p) e^{\frac{su}{2K_x} + \frac{rv}{2K_y} + \frac{(z-p)w}{2K_z}} dp + \\ & + \int_{-\infty}^{\infty} ds \int_{-\infty}^{\infty} dr \int_0^{\infty} \frac{Q(x-s, y-r, p) e^{\frac{su}{2K_x} + \frac{rv}{2K_y} + \frac{(z-p)w}{2K_z} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{s^2}{K_x} + \frac{r^2}{K_y} + \frac{(z-p)^2}{K_z}} \sqrt{\frac{u^2}{K_x} + \frac{v^2}{K_y} + \frac{w^2}{K_z}}}}{4\pi \sqrt{K_x K_y K_z} \sqrt{\frac{s^2}{K_x} + \frac{r^2}{K_y} + \frac{(z-p)^2}{K_z}}} dp + \\ & + \int_{-\infty}^{\infty} ds \int_{-\infty}^{\infty} dr \int_0^{\infty} \frac{Q(x-s, y-r, p) e^{\frac{su}{2K_x} + \frac{rv}{2K_y} + \frac{(z-p)w}{2K_z} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{s^2}{K_x} + \frac{r^2}{K_y} + \frac{(z+p)^2}{K_z}} \sqrt{\frac{u^2}{K_x} + \frac{v^2}{K_y} + \frac{w^2}{K_z}}}}{4\pi \sqrt{K_x K_y K_z} \sqrt{\frac{s^2}{K_x} + \frac{r^2}{K_y} + \frac{(z+p)^2}{K_z}}} dp, \end{aligned} \quad (47)$$

где введенная функция  $I(s, r, z, p)$  обозначена выражением

$$I(x, y, z, p) = \int_0^{\infty} e^{\frac{(w+2\alpha)\tau}{2K_z} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(\tau+z+p)^2}{K_z}} \sqrt{\frac{u^2}{K_x} + \frac{v^2}{K_y} + \frac{w^2}{K_z}}} \frac{d\tau}{4\pi \sqrt{K_x K_y K_z} \sqrt{\frac{s^2}{K_x} + \frac{r^2}{K_y} + \frac{(\tau+z+p)^2}{K_z}}} \quad (48)$$

Полученная функция (47) удовлетворяет стационарному уравнению с граничными условиями (45)

$$uq_x + vq_y + wq_z - K_x q_{xx} - K_y q_{yy} - K_z q_{zz} = Q(x, y, z); \quad x, y \in R; \quad z \geq 0. \quad (49)$$

Тогда, для непрерывно действующего точечного источника постоянной интенсивности  $Q\delta(x)\delta(y)\delta(z-h)$  получим фундаментальное решение в виде

$$\begin{aligned}
 q(x, y, z) = & \frac{Qe^{\frac{xu}{2K_x} + \frac{yv}{2K_y} + \frac{(z-h)w}{2K_z} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z-h)^2}{K_z}} \sqrt{\frac{u^2}{K_x} + \frac{v^2}{K_y} + \frac{w^2}{K_z}}}}{4\pi \sqrt{K_x K_y K_z} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z-h)^2}{K_z}}} + \\
 & + \frac{Qe^{\frac{xu}{2K_x} + \frac{yv}{2K_y} + \frac{(z-h)w}{2K_z} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z+h)^2}{K_z}} \sqrt{\frac{u^2}{K_x} + \frac{v^2}{K_y} + \frac{w^2}{K_z}}}}{4\pi \sqrt{K_x K_y K_z} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z+h)^2}{K_z}}} + \\
 & + \frac{w+2\alpha}{K_z} Q \cdot I(x, y, z, h) e^{\frac{xu}{2K_x} + \frac{yv}{2K_y} + \frac{(z-h)w}{2K_z}}.
 \end{aligned} \tag{50}$$

Для оценки интегрального члена  $I(x, y, z, h)$  (48), содержащегося в формуле (50), выполним некоторые преобразования, используя свойства оригинала и изображения для подобных интегральных выражений

$$I = \int_0^{\infty} \frac{e^{b\tau - \tilde{u} \sqrt{a^2 + (\tau+s)^2}}}{\sqrt{a^2 + (\tau+s)^2}} d\tau = \int_{\tilde{u}}^{\infty} \frac{e^{-sp} J_0 \left( a \sqrt{p^2 - \tilde{u}^2} \right)}{p-b} dp. \tag{51}$$

При условии  $b \leq \hat{u}$  максимальное значение подынтегральной функции достигается в нижнем пределе, причем, при возрастании аргумента ее амплитуда и частота колебаний асимптотически определяются числителем. Поэтому, при достаточно больших значениях параметров  $a \gg 1$ ,  $s \geq z+h \gg 1$ , функциональный вклад знаменателя в изменение амплитуды минимальный и, следовательно, будет асимптотически верно записать

$$I \sim \int_{\tilde{u}}^{\infty} \frac{e^{-sp} J_0 \left( a \sqrt{p^2 - \tilde{u}^2} \right)}{\tilde{u} - b} dp = \frac{e^{-\tilde{u} \sqrt{a^2 + s^2}}}{(\tilde{u} - b) \sqrt{a^2 + s^2}}, \quad a \gg 1, \tag{52}$$

где  $J_0 \left( a \sqrt{p^2 - \tilde{u}^2} \right)$  – функция Бесселя нулевого порядка. Если  $a \ll 1$ ,  $s \geq z+h \gg 1$  то, переходя к пределу  $a \rightarrow 0$ , асимптотически ограничиваем его сверху

$$I \sim \frac{e^{-\tilde{u}s}}{(\tilde{u} - b)s}, \quad a \rightarrow 0, s \gg 1. \tag{53}$$

Уровень асимптотической приближенности (53) оставим без оценки, поскольку он достаточно очевиден. Оценки (52) и (53), при  $a = 0$ , совпадают, что позволяет обобщить их формулой (52) для любых горизонтальных расстояниях от источника, соответствующих параметру  $a = \sqrt{K_z} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y}}$ . Поскольку параметры (48), обозначенные в (51), как правило, удовлетворяют оговоренным требованиям при асимптотическом выводе, то окончательно записываем

$$\tilde{u} = \frac{1}{2\sqrt{K_z}} \sqrt{\frac{u^2}{K_x} + \frac{v^2}{K_y} + \frac{w^2}{K_z}}; \quad b = \frac{w + 2\alpha}{2K_z} \leq \tilde{u}; \quad \alpha \leq 0; \quad s = z + h \gg 1.$$

Таким образом, выполненная асимптотическая оценка интегрального члена  $I(x, y, z, h)$ , учитывающего как взаимодействие примеси с подстилающей поверхностью через коэффициент поглощения  $\alpha$ , так и вертикальные скорости движения частиц примеси  $w = w_a + w_g$  (где  $w_a$  – вертикальная скорость атмосферы,  $w_g \leq 0$  – скорости оседание примеси), позволяет записать окончательно уравнение (50) в виде

$$q(x, y, z) = \frac{Qe^{\frac{xu}{2K_x} + \frac{yv}{2K_y} + \frac{(z-h)w}{2K_z} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z-h)^2}{K_z}} \sqrt{\frac{u^2}{K_x} + \frac{v^2}{K_y} + \frac{w^2}{K_z}}}}{4\pi \sqrt{K_x K_y K_z} \cdot \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z-h)^2}{K_z}}} +$$

$$+ A \cdot \frac{Qe^{\frac{xu}{2K_x} + \frac{yv}{2K_y} + \frac{(z+h)w}{2K_z} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z+h)^2}{K_z}} \sqrt{\frac{u^2}{K_x} + \frac{v^2}{K_y} + \frac{w^2}{K_z}}}}{4\pi \sqrt{K_x K_y K_z} \cdot \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{(z+h)^2}{K_z}}}, \quad (54)$$

где безразмерный коэффициент  $A$ , расположенный перед вторым слагаемым правой части, обусловлен асимптотической оценкой интегрального члена  $I(x, y, z, h)$  и равен

$$A = (d + a)/(d - a) \quad (55)$$

где  $d = \sqrt{(u^2/K_x) + (v^2/K_y) + (w^2/K_z)}$ ,  $a = (2\alpha - (w_g + w))/\sqrt{K_z}$

Из формулы (54), следует, что если  $\alpha \rightarrow -\infty$ , то  $A \rightarrow -1$ , т.е. наблюдается полное поглощение примеси поверхностью и концентрация  $q(x, y, 0) = 0$ . При



удалении от поглощающей поверхности и приближении к уровню  $z = h$  происходит рост концентрации. Однако, общий уровень концентрации меньше, чем над отражающей поверхностью. Если вертикальная составляющая скорости движения потока компенсирует скорость оседания частиц  $w_g \leq 0$ , т.е.  $2\alpha - (w_g + w) = 0$  и  $\alpha = 0$ , то выполняется условие полного отражения примеси и концентрация  $q(x, y, z)$  равна удвоенному первому члену уравнения (54).

Уравнение (54) можно рекомендовать для практических расчетов концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий. Результаты его использования демонстрируются в работах авторов [7,8, 11, 12].

### Выводы.

1. Доказана теорема о фундаментальности решения уравнения турбулентной диффузии (4), (5) для распределения концентрации примеси, заданной функцией  $q(t, x, y, z)$  от мгновенного точечного источника мощностью  $Q$ . Фундаментальным решением нестационарного уравнения диффузии (4), (5), является функция (6).

2. Неоднородное уравнение (4) с произвольной правой частью  $Q(t, x, y, z)$ , имеет частное решение (33), которое позволяет установить значение концентрации для источников примеси любого типа, удовлетворяющих условиям теоремы.

3. Получено фундаментальное решение в виде формул (50) и (54), удовлетворяющих стационарному уравнению диффузии для непрерывно действующего точечного источника с постоянной интенсивностью.

4. Выполнен учет взаимодействия примеси с подстилающей поверхностью и учет вертикальных скоростей движения частиц примеси, который позволяет привести уравнение (50) к виду формулы SVT, удобному для вычислений концентраций вредных веществ (54).

5. Формула SVT в качестве основных диффузионных параметров использует коэффициенты турбулентной вязкости  $K_x = K_y, K_z$ , а не масштабы диффузии  $\sigma_y, \sigma_z$  [13,14]. Коэффициенты турбулентности достоверно оцениваются в приземном и пограничном слое атмосферы.

6. Формула SVT позволяет рассчитывать концентрацию вредных веществ в трехмерной области с учетом взаимодействия всех компонент диффузии в любых направлениях без ограничения скорости ветра и расстояния от источника при любом рельефе местности. Формула учитывает скорости оседания примеси и её поглощение поверхностью, а также включает любые метеорологические условия.

### Список литературы

1. Алоян А.Е. Моделирование динамики и кинетики газовых примесей и аэрозолей в атмосфере.–М.: Наука, 2008.– 415 с.
2. Алоян А.Е., Переходцев Д.М. Математическое моделирование распространение примесей в пограничном слое атмосферы и регулирования мощности источников // Проблемы физики пограничного слоя атмосферы и загрязнения воздуха; (Сб. науч. ст., посвящ. 80-летию Берлянда М.Е).- СПб.: Гидрометеоздат, 2002. С. 43-57
3. Берлянд М.Е., Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы.-Л.: Гидрометеоздат, 1975. -439 с.

4. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси.–Л.: Гидрометеоиздат, 1991. -270 с.
5. Степаненко С.Н. Динамика турбулентно-циркуляционных и диффузионных процессов в нижнем слое атмосферы. Одесса. ТЭС,1998. - 280 с.
6. Степаненко С.Н., Волошин В.Г., Типцов С.В. Решение уравнения турбулентной диффузии для стационарного точечного источника //Украинский гидрометеорологический журнал. -2008. -№ 3.- С. 13-25
7. Stepanenko S.M., Voloshin V.G., Tiptsov S.V. A New Formula for Evaluation of Level of Air Pollution with Industrial Emissions // Украинский гидрометеорологический журнал.- 2009. - № 4.- С. 227-238.
8. Степаненко С.Н., Волошин В.Г. Эйлерова K-GDM модель расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий // Украинский гидрометеорологический журнал. -2009. -№ 5.- С. 5-15
9. Монин А.С., Обухов А.М. Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы // Труды Геофизического института АН СССР. -1954. -№24.- С. 163–187.
10. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды – М.:Наука, 1982.- 315 с.
11. Степаненко С.Н., Волошин В.Г., Иванова Е.В. Влияние рельефа земной поверхности на уровень загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных источников // Украинский гидрометеорологический журнал. -2009. - № 5. -С. 32-42
12. Степаненко С.Н., Волошин В.Г. Анализ функции плотности распределения концентрации в гауссовых моделях рассеяние примеси в атмосфере // Украинский гидрометеорологический журнал. -2008. -№ 3. -С. 5-15
13. A Dispersion Model AERMOD for Industrial Source Applications. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization //Journal of Applied Meteorology, 44(5): P.682–693
14. Zannetti P. Air Pollution Modeling: theories, computational methods, and available software. Computational Mechanics Publications, Southampton and Van Nostrand Reinhold. New York, 1990. -444 pp.

**Динамічна модель розсіяння шкідливих речовин в атмосфері при постійних коефіцієнтах дифузії і швидкостях перенесення**

**Степаненко С.Н., Волошин В.Г., Типцов С.В.**

*Доведена теорема про фундаментальність рішення диференціального рівняння турбулентної дифузії для функції  $q(t,x,y,z)$  просторово-часового розподілу шкідливих речовин від будь-якого типу безперервно діючих джерел, які задовольняють умовам теореми. Рішення представлено рівнянням, яке назване "формулою SVT". Формула SVT містить просторові координати, складові вектора швидкості вітру і тензора турбулентної напруги, враховує поглинаючі властивості поверхні і швидкість осадження частинок шкідливих речовин.*

**Ключові слова:** *рівняння турбулентної дифузії, модель забруднення атмосфери, взаємодію приміси з поверхнею, забруднення повітря, точкове джерело.*

**Dynamic model of dispersion air pollution at permanent coefficients diffusion and speeds of transfer**

**Stepanenko S., Voloshin V., Tiptsov S.**

*A theorem is proved about solidity of decision of differential equation of turbulent diffusion for the estimation of function of  $q(t,x,y,z)$  of the temporal and spatial distributing of harmful matters in the district of action of any continuously operating sources, meeting conditions of theorem. A decision is presented equation which is adopted the "formula of SVT". The formula of SVT contains all spatial co-ordinates, constituents of vector of speed of wind and tensor of turbulent tension, takes into account taking in properties of surface and speed of besieging of particles of harmful matters.*

**Keywords:** *equations of turbulent diffusion, model diffusion of atmosphere, pollutions of air, cooperation with a surface, point source.*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ И ВОЛНОВОДОВ НА ИХ ОСНОВЕ В ДВУМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

*Статья посвящена рассмотрению процесса моделирования прохождения волн света через фотонные кристаллы. С целью упрощения процесса моделирование выполнено в двумерном пространстве. Результаты моделирования для наглядности и большей общности представлены в виде графиков, построенных в относительных координатах.*

**Ключевые слова:** детектор, мода, спектр пропускания, фотонная запрещенная зона, фотонный кристалл.

**Введение.** Для построения широкого класса оптоэлектронных устройств возникла потребность в разработке управляющих элементов (ключей, вентиляей) аналогичных транзисторам в электронике. Такие оптические вентиляи могут быть построены на основе фотонных кристаллов (ФК), являющихся принципиально новыми оптическими приборами, имеющими в своей основе периодические структуры соизмеримые с длиной световой волны. Моделированию процесса прохождения света, через такие устройства и посвящена данная статья.

**Основной материал статьи.** Для выделения основных закономерностей распространения света в ФК имеет смысл рассмотреть упрощенную двумерную модель. Будем полагать, что в этом случае распространение света происходит только в плоскости периодического рисунка.

Типичный спектр пропускания волновода на основе фотонных кристаллов (ФКВ) в широком частотном диапазоне изображен на рис.1. Коэффициент пропускания нормирован на пропускание входного детектора. Для сравнения на этом же рисунке приводится спектр пропускания в том случае, когда выходной детектор смещен в сторону от канала и находится напротив бездефектной части кристалла. На рис. 1 хорошо заметен провал в пропускании в диапазоне нормированных частот  $0,23 \div 0,32$ , отвечающий фотонной запрещенной зоне (ФЗЗ).

Ключевой вопрос оптики ФК – это вопрос о возможности формирования и спектральном положении ФЗЗ. В периодической среде не могут распространяться фотоны, энергия которых соответствует области частот в ФЗЗ. Основным вопросом, на который обращалось внимание на начальном этапе исследования ФК, было исследование условий существования и размеров фотонных запрещенных зон в периодических упаковках различного типа и симметрии. Этот вопрос решался на протяжении ряда лет после постановки задачи о создании ФК, как оптического аналога полупроводниковым кристаллам, только в полупроводниковых устройствах осуществляется управление движением электронов и дырок, в то время как фотонные кристаллы регулируют движение фотонов.

Сделаем замечание по поводу превышения коэффициента пропускания  $T$  единицы в некоторых точках спектра. Это связано с особенностями возбуждения волн и размерами детекторов. Часть излучения от первичного источника, расположенного прямо напротив канала ФКВ, минует входной детектор, но за счет эффективной локализации при последующем распространении в узкой области вблизи канала, проходит через выходной детектор. Таким образом, на отдельных частотах в ФЗЗ наблюдается превышение энергии выходящей из канала над входящей в него.

Другой механизм для  $T > 1$  существует в низкочастотной области спектра. При достаточно большой длине волны излучение как бы перестает чувствовать наличие отверстий, и система отвечает больше модели распространения света в однородной двумерной среде (или однородной пластинке в трехмерном случае). Излучение, падающее наклонно на поглощающие слои частично отражается, внося вклад в прохождение энергии через выходной детектор. Поэтому длинноволновые участки спектра не сильно меняются при смещении детектора от канала волновода.

Чтобы убедиться, что никакого нарушения закона сохранения энергии не имеется, был сделан расчет спектра пропускания для такой же системы, но увеличив размеры детекторов так, что они простираются в поперечном направлении от левого идеально согласующегося слоя (ИСС) до правого. Спектры пропускания и отражения представлены на рис.2. Как видно, они отражают основные черты спектров рис. 1, однако, хорошо заметна их дополнительность. Сумма коэффициентов пропускания и отражения не превышает единицу.

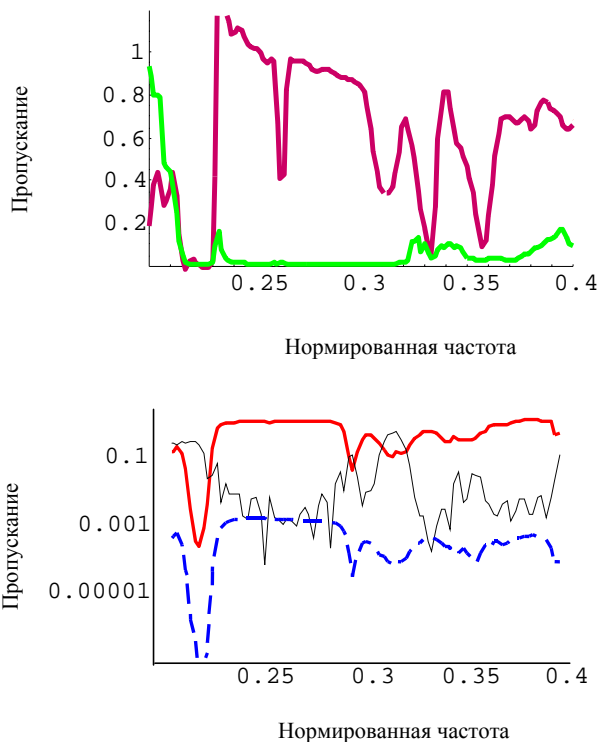


Рис.1 - Спектр пропускания ФКВ при двумерном моделировании: верхний рисунок - детектор находится в канале волновода; нижний рисунок – детектор смещен в сторону от канала.

Рассмотрим зависимость пропускания волновода в ДФК от его длины. Исходя из модели потерь в двумерных структурах, связанных с интенсивным рассеянием на частотах вблизи границ ФЗЗ и отсутствием вытекающих мод внутри ФЗЗ, можно предположить, что величина пропускания волновода на частоте дефектной моды от длины зависеть не должна. Это заключение в полной мере подтверждается расчетами для волноводов длиной  $7\Lambda$ ,  $14\Lambda$ ,  $21\Lambda$ ,  $28\Lambda$  (Рис.3), где  $\Lambda$  обозначает период пространственной решетки ФК.

Следующий этап исследований ФКВ заключается в дешифровке спектра — сопоставлению пиков и провалов в пропускании определенным модам или их отсутствию. Для этого требуется знать зонную структуру соответствующего типа волновода. Зонная структура обычно просчитывается либо с помощью разложения по плоским волнам (PWE — plane wave expansion), либо методом конечных разностей во временной области (FDTD — finite-difference time-domain) [1]. Типичный пример зонной структуры для двумерного ФКВ в  $\Gamma$ -К направлении приведен на рис.4. Частота и волновой вектор здесь и далее даются в нормированных единицах: нормированная частота -  $\frac{\omega\Lambda}{2\pi c} = \frac{\Lambda}{\lambda}$ , нормированный волновой вектор -  $\frac{k\Lambda}{2\pi}$ .

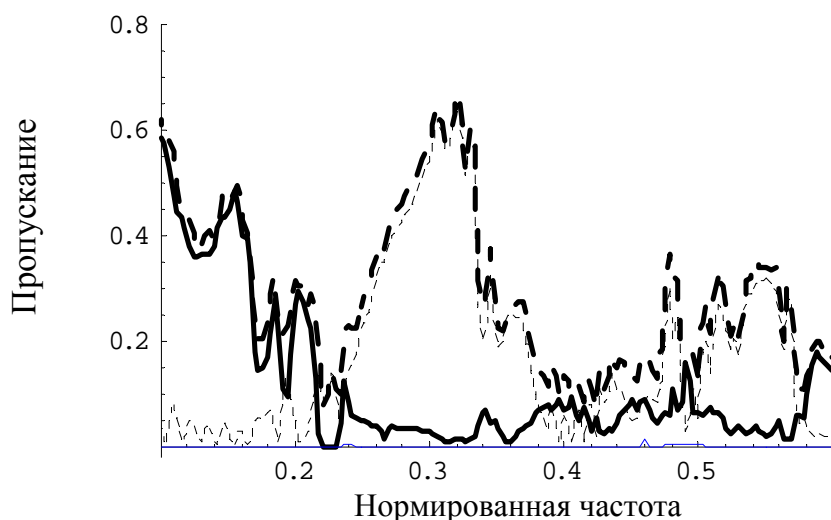


Рис.2 - Спектр пропускания двумерного ФКВ при широких детекторах: жирная линия – отражение; тонкая линия – пропускание; сумма пропускания и отражения дается жирной прерывистой линией.



Рис.3 - Спектр пропускания двумерного ФКВ для нескольких значений его длины.

Кристаллы на при экспериментах отличаются только размером отверстий: в первом случае радиус отверстий  $R = 0,3\lambda$ , а во втором -  $R = 0,4\lambda$ . При увеличении фактора заполнения атомами пространства кристалла, эффективный показатель преломления уменьшается, положение зоны сдвигается в область более высоких частот, а сама зона расширяется. Положение ФЗЗ для первого случая:  $0,22 \div 0,28$ , а для второго соответственно  $0,25 \div 0,38$ .

Вследствие этого увеличивается число дефектных мод в области волноводного канала. На рис.4а в ФЗЗ существуют только две волноводные моды, в то время как на рис.4б их уже 5, хотя две из них представляют два участка одной фундаментальной моды, завернутой на границе по условию периодичности. Моды имеют разную симметрию относительно оси канала. Они могут быть симметричными или антисимметричными (четными и нечетными). Из-за идеальности расчетной структуры, возможно взаимодействие мод только одинаковой четности. Такое взаимодействие приводит к образованию локальных мини стоп-зон внутри ФЗЗ.

Интересно провести сопоставление спектров пропускания ФКВ, рассчитанных по версии FDTD (рис.5 и рис.6) и приводимых в статье [2]. Стоп-зонам соответствуют

явно выраженные провалы в спектрах пропускания, заметные как в графиках работы [2], так и на рис.5 и 6. Так как на остальных участках спектров в области ФЗЗ существует по крайней мере одна дефектная мода (см. рис.4), пропускание ФКВ в этой области весьма велико.

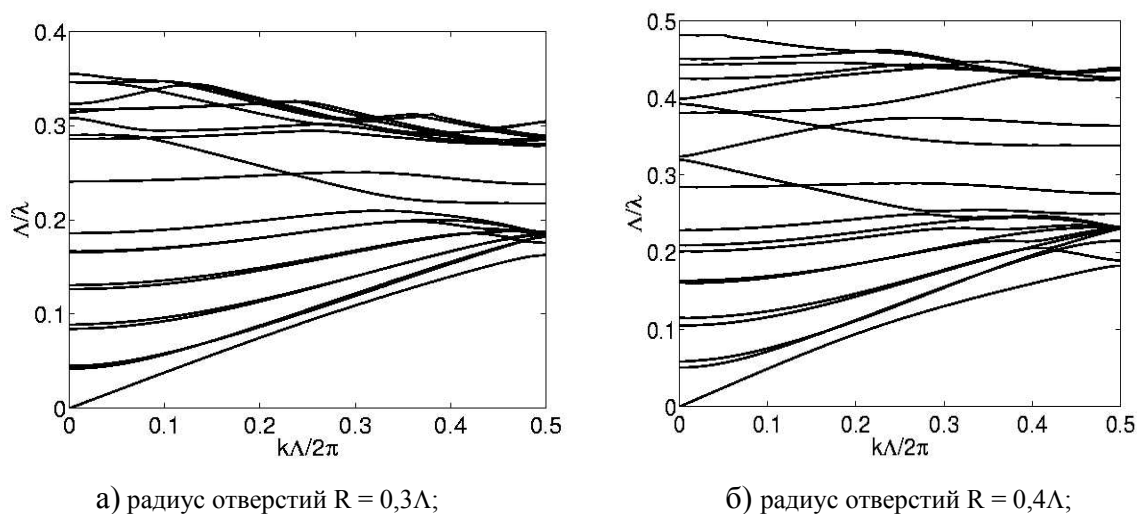


Рис.4 - Зонная структура двумерного ФКВ с тригональной решеткой.

Удобно расположить спектр пропускания волновода в инвертированных координатах (рис.5, б): по оси абсцисс – пропускание, а по оси ординат – частоты рядом с его модовой структурой. Из сопоставления рис.5 и рис.4а хорошо заметно детальное соответствие провалов спектра и мини стоп-зон. На рис.4б и рис.6 подобная композиция выглядит более запутанной из-за многообразия мод и их взаимодействия, однако соответствие положения мод и спектральной плотности пропускания также имеет место.

Наши спектры практически совпадают со спектрами из работы [2] за исключением наличия дополнительных небольших провалов в нашем случае (например, на частоте 0,25 на рис.5 и 0,28 на рис.6). Эти провалы в точности соответствуют частотам пересечения (или антипересечения – если учесть, эффект заворачивания мод вследствие периодичности граничных условий, ограничивающих систему) мод различной четности (см. рис.4а,б). Как уже отмечалось, такое взаимодействие невозможно в идеально симметричной системе. Следовательно, в рассматриваемом численном пространстве снимается симметричное вырождение. Это результат использования, в рассматриваемом случае, несимметричных конечных разностей при аппроксимации пространственных производных. При этом ввиду смещения электрических полей на один шаг вперед по пространственной решетке положение волноведущего канала оказывается несимметричным.

Этот численный артефакт не возникает в схеме с симметричными конечными разностями по пространственным координатам, например, в алгоритме [1]. В нашем случае от него можно избавиться за счет уменьшения шага сетки. Для доказательства на рис.7 приведены спектры пропускания для одной и той же волноведущей структуры (двумерный ФКВ с отверстиями радиусом) при последовательном увеличении пространственного разрешения:  $\Lambda/16$ ,  $\Lambda/32$ ,  $\Lambda/48$ , т.е. 16, 32 и 48 узлов сетки на один период решетки. Влияние разнородных диэлектриков минимизируется, что проявляется в заметном уменьшении провала на частоте 0,25. Для другого примера двумерного



ФКВ ( $R = 0,4\lambda$ ) пропускание в логарифмическом масштабе при различных пространственных разрешениях дано на рис.8.

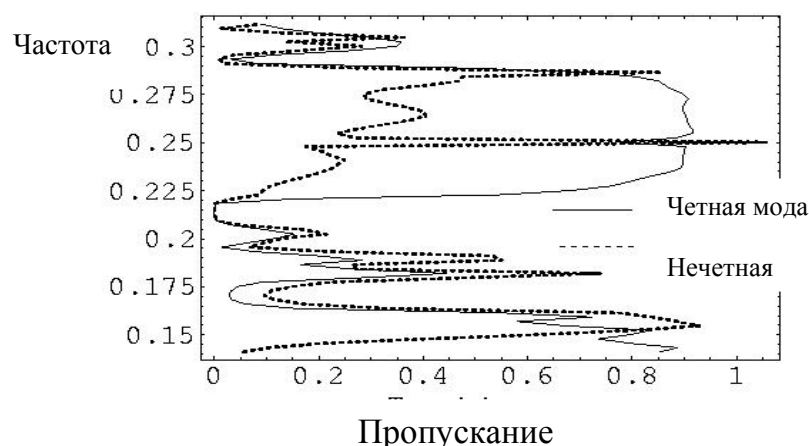


Рис.5 - Спектр пропускания двумерного ФКВ, радиус отверстий  $R = 0,3\lambda$ .

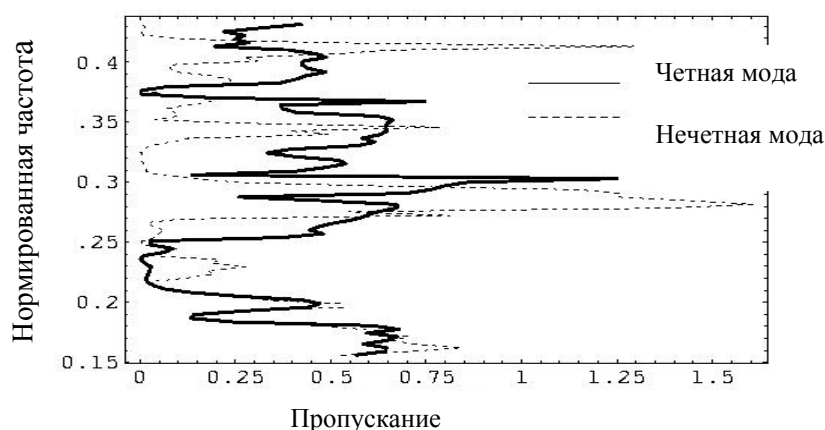


Рис.6 - Спектр пропускания двумерного ФКВ, радиус отверстий  $R = 0,4\lambda$ .

Если говорить о том, насколько хорошо тот или иной способ описывает реальный эксперимент, то отметим, что, на наш взгляд, технологические погрешности могут снимать вырождение по четности. Сопоставление расчетных результатов с экспериментом будут даны в нашей работе ниже. Отметим, что увеличение пространственного разрешения в 2 раза приводит к росту размеров численного пространства в 8 раз с пропорциональным ростом времени счета и затрат памяти.

Следующий шаг в расшифровке спектров пропускания мы сделали, используя источники возбуждения различной исходной четности. Исходный источник, представлял собой участок фронта плоской волны, имеющей вдоль оси распространения форму гауссова импульса. Таким образом, это был изначально четный источник. Если добавить в выражение для поля исходной волны нечетную функцию типа  $\sin(kx)$  то спектр пропускания изменится. Теперь, в первую очередь, возбуждаться будут нечетные моды (см. графики на рис.5 и 6)

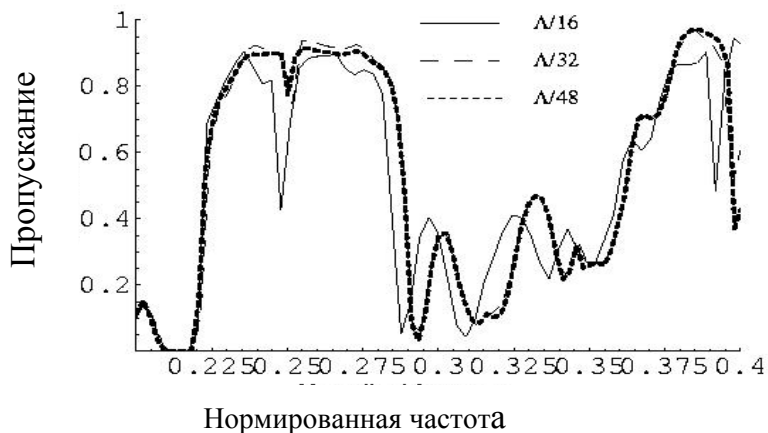


Рис. 7 - Спектр пропускания двумерного ФКВ при различном шаге численной сетки, радиус отверстий  $R = 0,3\Lambda$ .

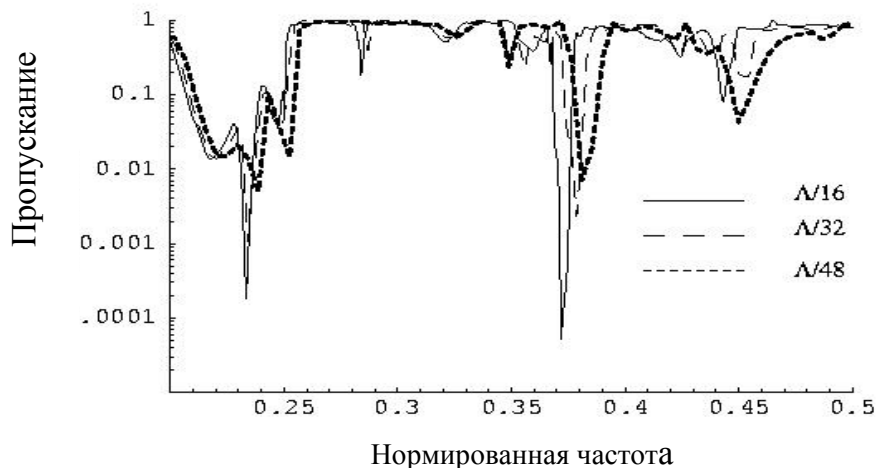


Рис. 8 - Спектр пропускания (в логарифмическом масштабе) двумерного ФКВ при различном шаге численной сетки, радиус отверстий  $R = 0,4\Lambda$ .

**Вывод.** Проведенное моделирование, несмотря на его двумерность рассматриваемой модели, наглядно показывает зависимости пропускания от симметрии источника возбуждения в случае высокосимметричной структуры, в нашем случае – прямой волновод в двумерной системе.

#### Список литературы

1. Lavrinenko A., Borel P.I., Frandsen L.H., Thorhauge M., Harpoth A., Kristensen M., Niemi T., Chong H.M.H. Comprehensive FDTD modelling of photonic crystal waveguide components//Optics Express.-2004.-V.12, No2. - P.234-248.
2. Agio M., Soukoulis C.M. Ministop bands in single-defect photonic crystal waveguides//Phys.Rev.E.-2001.-V.64, No5.-P.055603/1-055603/4.

**Моделювання оптичних властивостей фотонних кристалів та хвилеводів на їх основі у двовірному просторі.** Лавріненко А.В., Лавріненко Ю.В., Черненко Д.С.

Стаття присвячена розгляду процесу моделювання проходження хвиль світла через фотонні кристали. З метою спрощення процесу моделювання виконано у двовірному просторі. Для наочного подання узагальнені результати моделювання зображені у вигляді графіків, побудованих у відносних координатах.

**Ключові слова:** детектор, мода, спектр пропускання, фотонна заборонена зона, фотонний кристал.

**Modeling of optical properties of photonic crystals and waveguides on their basis in two- dimensional space.**

Lavrinenko A.V., Lavrinenko Y.V., Chernenko D.S.

The paper is devoted to the modeling of light waves propagation in photonic crystal waveguides. For simplicity the modeling is applied in two- dimensional space. For better visualization and generality the modeling results are presented in normalized units.

**Keywords:** detector, mode, transmission spectrum, photonic band gap, photonic crystal.

## ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В УКРАИНСКИХ КАРПАТАХ

*В работе рассматриваются изменения климатических факторов и биоклиматических показателей в Украинских Карпатах за сто лет. Этот временной интервал разделён на два периода – 1891-1960гг. и 1961–1990гг. Сравнение средних многолетних значений метеорологических величин в каждом из них позволяет сделать выводы о знаке и величине трендов как климатических, так и биоклиматических показателей за всё время исследования. Анализ их изменений проведен в соответствии с методическими рекомендациями, разработанными Главной Геофизической Обсерваторией Федеральной службы России.*

**Ключевые слова:** глобальное потепление, климатические факторы, биоклиматические показатели, рекреационный потенциал.

**Постановка проблемы.** Проблема потепления климата, а с ним и изменения биоклиматических условий жизни – одна из глобальных проблем современного мира, которая беспокоит человечество. Данные наблюдений показывают увеличение приземной температуры на всём земном шаре, хотя по тем же результатам наблюдений это потепление пространственно неоднородно. В 1985 г., когда была подписана Венская Конвенция, в Филлах (Австрия) состоялась международная конференция Программ ООН, ВМО и Международного совета научных обществ. На ней обсуждались проблемы изменений климата и их возможные причины. Было отмечено, что антропогенное воздействие на парниковый эффект, особенно за счёт увеличения  $\text{CO}_2$ , может привести к потеплению глобального климата Земли на  $1,5-4,5^\circ\text{C}$  до 2030 года. Другими причинами потепления назывались: изменение солнечной активности, увеличение концентрации тропосферного озона, атмосферное электричество, которое зависит от солнечной активности и др.

По данным некоторых авторов потепление началось в высоких широтах и в холодный период года достигало здесь  $4-5^\circ\text{C}$ , а в тёплый период в отдельных районах было незначительным или не отмечалось совсем. В вертикальном разрезе для умеренных широт в северном полушарии в период 1950-1970 гг. отмечалось похолодание, а в 1976-2006 гг. в полярных и средних широтах позитивные тренды отмечались до высоты 400 гПа.

**Формулировка цели статьи.** Определить изменения климатических факторов и зависящих от них биоклиматических показателей в рекреационном регионе Украины.

**Материалы и методы исследований.** Главная Геофизическая Обсерватория Федеральной службы России разработала «Методические рекомендации по изучению влияния изменений климата на строительство, энергетику, транспорт и здоровье человека» [1], которые и были взяты авторами за основу исследования изменений климатических и биоклиматических показателей в Украинских Карпатах.

В работе использованы средние многолетние данные по температуре воздуха у земной поверхности, скорости ветра и относительной влажности за семидесятилетний период 1891-1960 гг. (период I) [2] и тридцатилетний период с 1961 по 1990 гг. (период II) [3]. Были рассчитаны разности между средними многолетними значениями температуры за эти периоды (II-I), которые представлены в табл.1.

Эффект потепления в зимнее время отмечен практически во всех районах Карпат. Исключение составляют предгорные станции, где в отдельные зимние месяцы температура в январе и декабре периода I на  $0,1-0,4^\circ\text{C}$  меньше, чем периода II. Поло-

жительные разности, говорящие о том, что зимы, в Карпатах стали теплее, отмечены в 90% случаев, причём увеличение средней месячной многолетней температуры за тридцатилетний период наибольшее в феврале и достигает 1,5°C.

Таблица 1 – Разности средней месячной температуры воздуха (°C) за два периода (II-I)

№ п/п	Станция	Высота над уровнем моря, м	Зима			Лето		
			I	II	XII	VI	VII	VIII
1	Берегово	112	0,3	1,5	-0,3	0,1	-0,9	-0,6
2	Ужгород	115	0,0	1,2	-0,4	0,6	-0,1	0,2
3	Черновцы	239	0,1	0,6	0,5	0,0	-0,6	-0,6
4	Ивано-Франковск	244	-0,2	0,4	0,4	-0,3	-0,5	-0,1
5	Коломыя	298	0,2	0,4	0,2	-0,5	-1,0	-0,9
6	Рахов	430	0,5	1,5	0,3	-0,4	-1,0	-0,6
7	Яремча	531	0,5	0,6	-0,1	0,0	-0,7	-0,3
8	Славско	593	0,6	1,0	0,2	-0,4	-0,6	-0,3
9	Турка	594	0,9	1,3	0,1	-0,3	-0,6	-0,4
10	Нижний Студёный	629	0,5	0,8	0,0	-0,4	-0,7	-0,8
11	Селятин	744	0,2	0,4	0,0	-0,1	-0,5	-0,5
12	Пожежевская	1429	1,2	1,0	0,1	-0,4	-1,2	-0,8

Летние месяцы характеризуются отрицательными разностями: лето в горах и предгорных районах в среднем прохладнее на несколько десятых градуса (от 0,1 до 1,2°C), и таким образом, зимнее потепление превышает летнее похолодание в гористом районе, что тем самым создаёт эффект потепления климата.

В равнинных районах разности (II-I) средних многолетних температур в оба сезона меньше по модулю, но знак разности в большинстве случаев сохраняется: зимой теплее (II-I>0), летом холоднее, но средняя за шесть месяцев экстремальных сезонов года разность температуры близка к нулю. Зимнее потепление климата принято объяснять увеличением концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере.

Изменение ветрового режима, судя по разности значений средней многолетней скорости на равнине и на станциях Карпат, в подавляющем числе случаев отрицательное, на равнине уменьшение ветра превышает 1 м/с, в гористой местности – несколько меньше (табл. 2).

Отрицательные разности равновероятны для обоих сезонов года. Случаи положительных отклонений редки и в горах не превышают 0,3 м/с. В равнинной части Украины в той же полосе широт разности средних многолетних значений скорости ветра преимущественно отрицательные и нередко по величине превышают 1 м/с.

Изменения относительной влажности (табл.3) незначительны и лежат в пределах -4 ÷ 3%. В летние месяцы в подавляющем числе случаев средние многолетние значения относительной влажности воздуха во втором периоде на 2-3% больше. Отрицательные разности преобладают в зимнюю часть года и преимущественно на предгорных станциях, высота которых не превышает 300 м. Такова же тенденция изменений относительной влажности и на равнинных станциях: зимой отрицательный тренд, летом - положительный.

Изменение климатических условий влияет на многие стороны жизни человечества, начиная от самочувствия людей, экономики и кончая техническими системами, которые в связи с изменением климата требуют изменений в соответствующих нормативных документах, например, пересчёте длительности отопительного периода и т.п.

Таблица 2 – Разности средней месячной скорости ветра (м/с) за два периода (II-I)

№ п/п	Станция	Высота над уровнем моря, м	Зима			Лето		
			I	II	XII	VI	VII	VIII
1	Берегово	112	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,1	-0,4
2	Ужгород	115	-0,2	0,0	0,1	-0,1	0,1	-0,1
3	Черновцы	239	0,2	-0,2	0,2	-0,1	0,3	0,1
4	Ивано-Франковск	244	-0,2	-0,6	-0,4	-0,1	0,0	-0,2
5	Коломыя	298	-0,1	-0,5	0,1	0,0	0,3	0,1
6	Рахов	430	-0,4	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,3
7	Яремча	531	-0,4	-0,3	-0,1	-0,1	-0,2	-0,4
8	Славско	593	-0,9	-0,7	-0,8	-0,5	-0,3	-0,5
9	Турка	594	0,0	-0,4	0,1	-0,1	0,2	-0,2
10	Нижний Студё-	629	-0,6	-0,5	-0,5	-0,3	0,0	-0,3
11	Селятин	744	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,2	-0,4
12	Пожежевская	1429	-0,3	0,1	-0,2	-0,2	-0,5	-1,7

Таблица 3 – Разности средней месячной относительной влажности (%) за два периода (II-I)

№ п/п	Станция	Высота над уровнем моря, м	Зима			Лето		
			I	II	XII	VI	VII	VIII
1	Берегово	112	2	-1	2	2	1	2
2	Ужгород	115	1	-2	0	0	1	1
3	Черновцы	239	-1	-1	-3	2	2	2
4	Ивано-Франковск	244	-1	-2	-2	3	2	0
5	Коломыя	298	0	0	-3	2	1	2
6	Рахов	430	3	10	1	2	0	-1
7	Яремча	531	0	1	0	2	1	2
8	Славско	593	2	2	1	2	1	1
9	Турка	594	1	1	1	1	-1	0
10	Нижний Студёный	629	1	-4	2	2	2	2
11	Селятин	744	1	0	0	2	3	2
12	Пожежевская	1429	-1	1	1	2	2	2

Нами детально исследованы медико-биологические проблемы в Украинских Карпатах.

Курортно-рекреационная деятельность во многих государствах считается главным потенциалом и существенным фактором экономического развития. Одним из основных рекреационных ресурсов является климат, его особенности способствуют организации различных видов рекреационной деятельности.

Как уже упоминалось, происходящие изменения климата не являются однородными в пространстве и времени. Эти изменения должны учитываться при стратегическом планировании устойчивого развития и функционирования разных технических и экологических систем. Учесть такие последствия возможно на основе климатического прогноза. Существующие в настоящее время климатические прогнозы по определённым сценариям дают обычно в виде базовых климатических показателей отдельных метеорологических величин. Однако, потребителям нужен специализированный прогноз, т. е. в их распоряжении

должны быть специальные характеристики климата, которые не прогнозируются ни одним сценарием изменений климата. Выходом из этой ситуации является установление связей между базовыми и специальными характеристиками, на основе которых даётся специализированный прогноз.

Авторами проведено исследование изменений некоторых биоклиматических показателей, а также соответствующих им теплоощущений организма человека в летний и зимний сезоны в двадцатом столетии в горных и предгорных районах Карпат.

Для выявления особенностей биоклимата данной области часто применяют комплексные показатели, которые отражают тепловое состояние человека, поскольку климат и погода влияют, прежде всего, на термический режим организма, т.к. его функциональная деятельность во многом зависит от условий теплообмена с окружающей средой. Эти показатели позволяют оценить биоклиматические ресурсы конкретных территорий, определить их рекреационный потенциал, решить ряд задач, связанных с оптимизацией климатических показателей. К таким показателям относятся эквивалентно-эффективные температуры, показатели суровости погоды и другие [4, 5, 6].

С помощью эквивалентно-эффективных температур  $EET$  можно оценить теплоощущения человека, защищенного одеждой стандартного типа для определённого сезона, и таким образом, учесть влияние теплозащитных свойств одежды (нормальная шкала). Определение теплоощущения через  $EET$  касается только теневых пространств, где на человека не влияет прямая солнечная радиация. Рассчитывается  $EET$  по формуле Миссенарда [7]

$$EET = 37 - [37 - t] / [0,68 - 0,0014ft + 1 / (1,76 + 1,4v_2^{0,75})] - 0,29t(1 - f/100), \quad (1)$$

где  $t$  - температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ );  $v_2$  - скорость ветра (м/с) на высоте 1,5 м;  $f$  - относительная влажность (%).

Ценность эквивалентно-эффективной температуры по нормальной шкале (или нормальной эквивалентно-эффективной температуры) как биоклиматического показателя заключается в том, что её можно использовать не только при оценке тепловой нагрузки, но и в условиях холода.

Для оценки суровости погоды - фактора, который ограничивает пребывание человека на открытом воздухе и обуславливает потребность в соответствующей одежде, разработано достаточно большое количество показателей влияния метеорологических величин на организм.

Одним из наиболее популярных методов оценки суровости погоды является метод Бодмана. Степень суровости погоды в баллах он предлагает определять по следующей формуле

$$S = (1 - 0,04t)(1 + 0,272v), \quad (2)$$

где  $S$  - индекс суровости (баллы);  $t$  - температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $v$  - скорость ветра, м/с. Для оценки степени дискомфорта разных типов городской застройки и их мелиоративных возможностей в зависимости от термического и ветрового режима холодного полугодия В.Н. Адаменко и К.Ш. Хайруллин [8] предложили метод приведенных температур, под которыми они понимают температуру воздуха при штиле. Величина приведенной температуры ( $T_{np}$ ) определяется по формуле

$$T_{np} = t - 8,2\sqrt{v}. \quad (3)$$

Эта методика позволяет оценить не только мелиоративный эффект городской застройки в зависимости от реальных и вероятных сочетаний температуры воздуха и скорости ветра, но и даёт возможность выполнения разного вида работ или просто пе-

рестройки на открытом воздухе в зимний период.

Когда человек находится на открытом воздухе, особенно в условиях низких температур, он использует специальные утеплённые виды одежды и обуви. Однако, как бы тепло не был одет человек, как бы не была велика его теплопродукция, могут иметь место такие сочетания метеорологических величин, особенно температуры и скорости ветра, при которых возможно обморожение открытых частей лица и рук. Кроме того, возникают существенные потери тепла путём инфильтрации из-за негерметичности одежды, что происходит при больших скоростях ветра. Поэтому возможно обморожение и при комфортном тепловом балансе.

В условиях низких температур лицо и конечности тела человека чаще всего лимитируют его пребывание на открытом воздухе. В зависимости от температуры воздуха и скорости ветра температура кожи лица  $\theta_{\text{л}}$  рассчитывается по формуле

$$\theta_{\text{л}} = 0,4t - 3,3\sqrt{v} + 17. \quad (4)$$

К показателям суровости (жесткости) погоды кроме выше названных, принадлежит ещё и условная температура (индекс Арнольди)  $T$ . Этот показатель рассчитывается по формуле

$$T = t - 2v. \quad (5)$$

И.И.Арнольди установил чёткую связь между увеличением жесткости погоды и понижением температуры кожи щеки у людей, которые работают на открытом воздухе зимой. Понижение температуры кожи щеки пропорционально понижению условной температуры.

По формулам (1-5) нами выполнены расчёты биоклиматических показателей для зимних и летних месяцев на основе средних многолетних данных за столетний период (период I) и тридцатилетний период (период II) для предгорных и горных районов Карпат. Полученные показатели позволяют провести сравнительный анализ влияния метеорологических величин на самочувствие человека в конкретных районах и дают общую оценку пригодности того или иного района для размещения, например, курортов или некоторых производств, связанных с выполнением работ на открытом воздухе.

**Результаты исследования и их анализ.** До 1960 г. в январе и феврале преобладали теплоощущения человека «очень холодно» ( $EET = -23,9 - 12,0^{\circ}\text{C}$ ). Однако в районе Закарпатской низинной области (Берегово, Ужгород), а также на горных станциях Рахов и Яремча наиболее вероятны теплоощущения «холодно» ( $EET = -11,9 - 0^{\circ}\text{C}$ ), на высоте 1429 м (Пожежевская) – условия начинающегося обморожения ( $EET = -29,9 - 24,0^{\circ}\text{C}$ ). В декабре преобладали ощущения холода и лишь на 30% всех станций (Черновцы, Турка, Нижний Студёный и Пожежевская) – «очень холодно». В июле и августе на большинстве станций господствуют умеренно-тёплые комфортные условия ( $EET = 12,1 - 18,0^{\circ}\text{C}$ ), на 25-40% - прохладные ( $EET = 6,1 - 12,0^{\circ}\text{C}$ ). В июне чаще наблюдается ощущение прохлады и лишь в Закарпатской низинной области и Рахове – умеренно-тепло. На ст. Пожежевская в течение всего летнего сезона господствуют прохладные условия ( $EET = 0,1 - 6,0^{\circ}\text{C}$ ).

За последние рассматриваемые тридцать лет в зимнее время года значения  $EET$  в основном уменьшались. Холодные условия уже отмечались на 50% исследуемых станций в январе и на 30% - в феврале и декабре. Летом  $EET$  на станциях изменились, однако теплоощущения организма человека практически остались прежними, в пределах выделенных градаций  $EET$ .

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что самые благоприятные условия для зимней рекреации наблюдаются в Рахове. Летние виды рекреационной деятельности в районе Карпат следует проводить наиболее активно в июле



и августе.

В табл. 4 представлены результаты количественной оценки изменений средних многолетних значений *EET* за столетний и тридцатилетний периоды. Из таблицы следует, что в зимние месяцы *EET* увеличилась на 0,1 - 3,6°C. В июле все различия средних многолетних значений меньше нуля (от 0,0 до -1,1°C), в июне и августе количество таких значений на станциях уменьшилось до 30%. Таким образом, зимнее увеличение *EET* на большей части исследуемой территории превышает летнее уменьшение этого показателя.

Таблица 4 – Разница (II-I) средних многолетних значений *EET* (°C)

№ п/п	Название станции	Высота над уровнем моря, м	Зима			Лето		
			I	II	XII	VI	VII	VIII
1	Берегово	112	2,0	3,4	0,9	0,6	-0,6	-0,1
2	Ужгород	115	0,4	1,5	-0,8	0,7	-0,4	0,4
3	Черновцы	239	0,2	1,2	0,6	0,1	-0,9	-0,7
4	Ивано-Франковск	244	0,1	1,6	-0,5	-0,3	-0,8	-0,3
5	Коломыя	298	0,8	1,9	1,6	-0,4	-1,1	0,3
6	Рахов	430	2,1	2,3	0,3	-0,2	-1,0	0,1
7	Яремча	531	1,7	1,5	0,1	0,2	-0,4	0,4
8	Славско	593	3,6	3,3	2,7	0,7	0,0	0,9
9	Турка	594	0,9	2,3	-0,1	-0,2	-0,9	-0,1
10	Нижний Студеный	629	2,1	2,7	1,1	0,2	-0,7	-0,3
11	Селятин	744	2,4	1,9	1,3	0,8	0,0	0,5
12	Пожежевская	1429	2,0	1,2	0,2	-0,3	-1,0	0,6

Показатель оценки суровости погоды Бодмана от первого периода ко второму в основном несколько уменьшился (от -0,1 до -1,1 балла, табл. 5), хотя и остался в пределах прежних градаций. В течение всей зимы преобладали значения  $S = 1,3-2,0$ , что характеризует условия этого сезона как малосуровые. И только на ст. Пожежевская в январе характеристика зимы изменилась: от суровой ( $S > 3,0$ ) до умеренно-суровой ( $S = 3,0$ ). В феврале и декабре зимы тут классифицируются как умеренно-суровые.

В зависимости от величины условной температуры можно оценить степень функционального напряжения систем, участвующих в терморегуляции. Анализ по индексу Арнольди показал, что в предгорных и горных районах Карпат  $T$  находится в интервале от 0,0 до -15,0°C, что соответствует слабому напряжению аппарата терморегуляции человека.

На высоте 1429 м условная температура в январе и феврале составляла соответственно -18,4 и -15,8°C (I период), -16,8 и -15,0°C (II период), в декабре  $> -15,0$ °C. При  $T$  от -16,0 до -29,0°C напряжение аппарата терморегуляции человека является средним. Величина условной температуры в последние десятилетия возросла на величину от 0, 1 до 2,3°C (табл. 5).

Приведенная температура в течение зимних месяцев превышает -17°C, т.е. никаких ограничений пребывания человека на открытом воздухе нет. От первого периода ко второму  $T_{np}$  увеличилась от 0,1 до 3,1 °C (табл. 6).

Таблица 5 – Разница (II-I) средних многолетних значений  $S$  (баллы) и  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

№ п/п	Название станции	Высота над уровнем моря, м	$S$			$T$		
			I	II	XII	I	II	XII
1	Берегово	112	-0,2	-0,2	-0,1	1,1	2,3	0,3
2	Ужгород	115	0,0	0,0	0,0	0,3	1,8	-0,6
3	Черновцы	239	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,9	0,3
4	Ивано-Франковск	244	0,0	-0,1	0,0	-0,1	1,0	0,2
5	Коломыя	298	-0,1	-0,2	-1,1	0,4	1,2	0,7
6	Рахов	430	-0,1	-0,1	0,0	1,0	1,8	0,3
7	Яремча	531	-0,1	-0,1	0,0	1,0	1,0	0,0
8	Славско	593	-0,3	-0,2	-0,2	1,8	1,9	1,2
9	Турка	594	0,0	-0,1	0,0	0,9	1,9	0,0
10	Нижний Студеный	629	-0,2	-0,2	-0,1	1,3	1,5	0,7
11	Селятин	744	-0,1	-0,1	-0,1	0,9	0,9	0,4
12	Пожежевская	1429	-0,2	0,0	-0,1	1,6	0,8	0,3

Таблица 6 – Разница (II-I) средних многолетних значений  $T_{np}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) и  $\theta_{л}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

№ п/п	Название станции	Высота над уровнем моря, м	$T_{np}$			$\theta_{л}$		
			I	II	XII	I	II	XII
1	Берегово	112	2,0	3,1	1,0Д	0,7	1,1	0,4
2	Ужгород	115	0,6	1,2	0,7	0,2	0,5	-0,2
3	Черновцы	239	-0,4	1,1	0,0	0,0	0,4	0,1
4	Ивано-Франковск	244	0,1	1,8	2,0	0,0	0,5	0,1
5	Коломыя	298	0,7	2,0	1,3	0,3	0,7	0,4
6	Рахов	430	1,6	2,0	0,3	0,7	0,9	0,1
7	Яремча	531	1,6	1,5	0,2	0,6	0,5	0,1
8	Славско	593	3,1	2,9	2,4	0,8	1,1	0,9
9	Турка	594	0,9	2,4	-0,2	0,4	0,9	0,0
10	Нижний Студеный	629	2,2	2,2	1,4	0,7	0,7	0,4
11	Селятин	744	1,6	1,5	0,9	0,7	0,6	0,4
12	Пожежевская	1429	2,0	0,7	0,7	0,3	0,3	0,1

Исключением являются лишь зимние условия на ст. Пожежевская. До 1960 г. в январе  $T_{np} < -28,0^{\circ}\text{C}$  (условия слабого дискомфорта, при нахождении на открытом воздухе в движении или на работе необходим 10-15 минутный обогрев в тёплом помещении через каждые 40-50 минут), в феврале и декабре  $T_{np} < -17,0^{\circ}\text{C}$  (частичное ограничение пребывания на улице только ослабленных людей или людей с нарушенной сердечно-сосудистой системой). Однако и на этой станции во втором периоде  $T_{np}$  возросла и в течение всей зимы превышала  $-17,0^{\circ}\text{C}$ .

В январе и феврале в условиях первого периода температура кожи лица в основном превышала  $10^{\circ}\text{C}$ . Однако на ст. Пожежевская, Черновцы и Турка  $\theta_{л} < 10^{\circ}\text{C}$ , а это говорит о том, что здесь могло произойти нарушение кровообращения в тканях внешних участков тела человека. В декабре такие условия сохранялись лишь на высоте 1429 м. Во втором периоде температура кожи лица со временем характеризуется возрастанием ( $\theta_{л}$  увеличилась на  $0,0-1,1^{\circ}\text{C}$ ), т.е.отмечается уменьшение дискомфорта на всей территории

Украинских Карпат (табл. 6). Условия, когда  $\theta_{\text{д}}$  < 10°C сохраняются на выше названных станциях в январе, а в остальные зимние месяцы лишь на ст. Пожежевская.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований данной проблемы.** Причиной выявленной динамики биоклиматических показателей является, главным образом, увеличение температуры воздуха и уменьшение скорости ветра за истекшие 100 лет.

Факт изменения климата в последние десятилетия неоспорим, однако определяющее влияние антропогенных факторов на климат и его колебания у многих исследователей вызывает сомнение.

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) провела большую работу по анализу и обобщению данных по проблеме антропогенных изменений климата и пришла к выводу, что на основании имеющихся данных и современного уровня знаний о естественных и антропогенных воздействиях и процессах неизвестно насколько установленные изменения климата обусловлены именно антропогенными причинами. Исходя из этого, эффективность Киотского Протокола для будущих изменений климата МГЭИК сочла крайне небольшой, что привело многих ученых и администраторов к отказу от Киотского Протокола. По этой же причине не подписан и Копенгагенский Протокол.

Происходящие изменения климата не являются однородными во времени и пространстве, что требует изучения колебаний климата в различных регионах с учётом особенностей каждого региона и зависимости этих колебаний от атмосферной циркуляции и условий локального рельефа.

#### Список литературы

1. Методические рекомендации по изучению влияния изменений климата на строительство, энергетику, транспорт и здоровье человека. – Санкт-Петербург, 2000. – 16 с.
2. Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1960 – 1969 гг. Вып. 10. Части 2 – 4.
3. Кліматологічні стандартні норми. – Київ, 2002. – 446 с.
4. Врублевська О.О., Катеруша Г.П. Прикладна кліматологія: конспект лекцій. – Дніпропетровськ: Економіка, 2005. – 131 с.
5. Исаев А.А. Экологическая климатология. – М.: Научный мир, 2001. – 456 с.
6. Русанов В.И. Комплексные метеорологические показатели и методы оценки климата для медицинских целей. Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского университета, 1981. – 84 с.
7. Хентшел Г. Крупномасштабная и локальная классификация климата с точки зрения биометеорологии человека // Труды Международного симпозиума ВМО (ВОЗ) ЮНЕП.– 1988. – Том 1. – С. 139 – 159.
8. Адаменко В.Н., Хайруллин К.Ш. Оценка условий пребывания человека на открытом воздухе зимой с учётом микроклимата застройки // Труды ГГО.– 1969. – Вып. 248. – С. 74 – 81.

#### **Змінювання кліматичних факторів і біокліматичних показників в Українських Карпатах. Борисова СВ., Катеруша Г.П.**

*В роботі розглядаються змінювання кліматичних і біокліматичних показників в Українських Карпатах за сто років. Цей часовий інтервал поділено на два періоди – 1891-1960рр. та 1961-1990рр. Порівняння середніх багаторічних значень метеорологічних величин в кожному з них дозволяє зробити висновки про знак і величину трендів як кліматичних, так і біокліматичних показників за весь час дослідження. Аналіз їхніх змінювань проведено у відповідності з методичними рекомендаціями, розробленими Головною Геофізичною Обсерваторією Федеральної служби Росції.*

**Ключові слова:** глобальне потепління, кліматичні фактори, біокліматичні показники, рекреаційний потенціал.

#### **Changes of Climatic Factors and Bioclimatic Indices in the Ukrainian Carpathians.**

**Borisova S.V., Katerusha G.P.**

*Changes of climatic and bioclimatic indices in the Ukrainian Carpathians during seventy and thirty years are considered in the work. This time interval is divided into two periods - 1891 - 1960 and 1961 - 1990. The average perennial meteorological data comparison in the both of them allows to make conclusions about the sign and magnitude of trends of climatic indices and bioclimatic as well for the whole time of survey. Their changes were analyzed in accordance with methodological recommendations, developed by The General Geophysical Observatory of the Russian Federal service.*

**Keywords:** global warming, climate factors, bioclimatic indices, recreation potential.

## **НЕБЕЗПЕЧНІ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ МОРЯ У ПОРТУ МАРІУПОЛЬ: СПРИЯТЛИВІ СИНОПТИЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ВПЛИВ ПІВНІЧНО- АТЛАНТИЧНОГО КОЛИВАННЯ**

*Визначаються синоптичні процеси, які сприяють підвищенню рівня моря у порту Маріуполь як небезпечного явища. Показано, що ці явища найчастіше спостерігаються на південній периферії блокуючого антициклону та у південно-західній частині циклону. Також простежується зв'язок між змінами фази Північно-атлантичного коливання та підвищенням рівня моря у порту Маріуполь на синоптичному масштабі часу.*

*Ключові слова: підвищення рівня моря, синоптичні процеси, Північно-атлантичне коливання*

**Вступ.** Разом з сильним вітром та високими хвилями згінно-нагінні процеси на мілкому морі є дуже небезпечним явищем. Дійсно, згінно-нагінні явища, спричинені штормовими вітрами, призводять до порушення нормальної діяльності морського флоту та різноманітних підприємств, розташованих у прибережній зоні. Під час істотних підвищень рівня моря є можливим затоплення території портів, руйнування гідротехнічних споруд, складських приміщень, житлових будівель тощо. Навпаки, якщо має місце істотне зниження рівня моря, зменшується й без того обмежена глибина підхідних каналів, що порушує роботу портів. Наведене може розглядатися як цілком достатня підстава для розробки та удосконалення методів прогнозу коливань рівня моря у портах.

На сьогодні існує декілька підходів до прогнозу рівня моря. По-перше, використовується гідродинамічний підхід (наприклад, у роботі [1]), коли чисельними методами розв'язується система рівнянь мілкої води. По-друге, можна адаптувати до певного порту фізико-статистичну модель (див. роботу [2]), в якій велика увага приділяється складовим швидкості вітру та місцевим особливостям розташування порту. По-третє, можна застосувати деякі нелінійні методи прогнозу, наприклад, з теорії хаосу або штучних нейронних мереж, як це пропонується в роботах [3, 4].

Проте якщо розглядати тільки ті рівні, які перевищують критерій небезпечного явища (НЯ), що спостерігається тільки декілька разів на рік, спочатку потрібно визначити характерні синоптичні процеси, які зумовили посилення вітру в акваторії порту і, як наслідок, істотне підвищення або зниження рівня моря. Останнє ж, по суті, є типізацією синоптичних процесів, яка робиться за допомогою синоптичного матеріалу для випадків, коли мала місце якась подія, як наприклад, у нашому випадку небезпечне підвищення рівня моря в порту Маріуполь.

Інколи також є доцільним визначення впливу окремого великомасштабного процесу на виникнення того чи іншого явища. Якщо розглядається Європа, то головним претендентом на такий процес є Північно-атлантичне коливання (ПАК), вплив якого можна простежити майже на всі атмосферні та більшість океанічних процесів у Атлантико-Європейському секторі [5]. Зокрема, фаза Північно-атлантичного коливання визначає основні траєкторії переміщення циклонів над Європою і відповідно можливі штормові умови в Азовському морі.

Таким чином, важливість вивчення синоптичних факторів підвищення рівня моря визначає мету цього дослідження, яка полягає у дослідженні найсприятливіших для цього явища у Маріупольському порту великомасштабних атмосферних процесів.

**Вихідні дані та методологія дослідження.** Порт Маріуполь розташований на 47°03' півн.ш. та 37°30' сх.д. у північно-західній частині Таганрозької затоки

Азовського моря у 14 милях від входу до затоки. Середня глибина на фарватерах становить 12 м, що дозволяє обслуговувати судна з осадкою до 8 м. Навігація у порту є цілорічною. Багаторічний середній рівень моря дорівнює 471 см, а перевищення рівня 531 см вважається небезпечним явищем.

У цій статті наводяться результати дослідження часового ряду середньогодинних вимірювань рівня моря з 1985 по 2005 рік. Протягом усього цього періоду спостерігались 84 небезпечні явища, що у середньому становить 4 небезпечних підвищення рівня моря у порту Маріуполь на рік. Протягом більшості років кількість НЯ не перевищувала 6 на рік, і тільки у 2000 та 2004 роках вона становила 11 НЯ, що й зумовлює додатний тренд у річній кількості явищ протягом розглянутого періоду, хоча у 2003 році НЯ за підвищенням рівня моря зовсім не спостерігалось (рис. 1). Додатний тренд можна пояснити збільшенням екстремальних явищ погоди у всьому світі, спричинених існуючими змінами клімату.

Майже три чверті усіх НЯ реєструвалися з лютого по червень, а у серпні вони були зовсім відсутні (рис. 2). Такий розподіл свідчить про те, що у другій половині зими та весною над Чорним та Азовським морями має місце підвищена активність циклонів, з якими і пов'язана переважна більшість підвищень рівня моря до рівня НЯ.

У середньому за розглянутий період для НЯ рівень моря становив 545 см, у квітні 1997 року був досягнутий абсолютний максимум у 614 см, що майже на півтора метра перевищувало багаторічний середній рівень моря у порту Маріуполь і є стихійним гідрометеорологічним явищем, для якого встановлено межу в 601 см. Також у середньому НЯ реєструвалося протягом 7,5 годин, але у червні 2001 року воно тривало 52 години, тобто більше 2 діб. Проте більшість (60 відсотків) тривалостей НЯ не перевищувала 10 годин, а аналогічна характеристика для рівня моря становила 545 см (рис. 3). У цілому ж, порівнюючи рис. 3а та 3б, за меншої тривалості небезпечних підвищень спостерігався й менший рівень моря.

Типізацію синоптичних процесів зазвичай здійснюють за допомогою аналізу карт погоди для випадків, коли мало місце певне явище. Отже якщо розглядаються

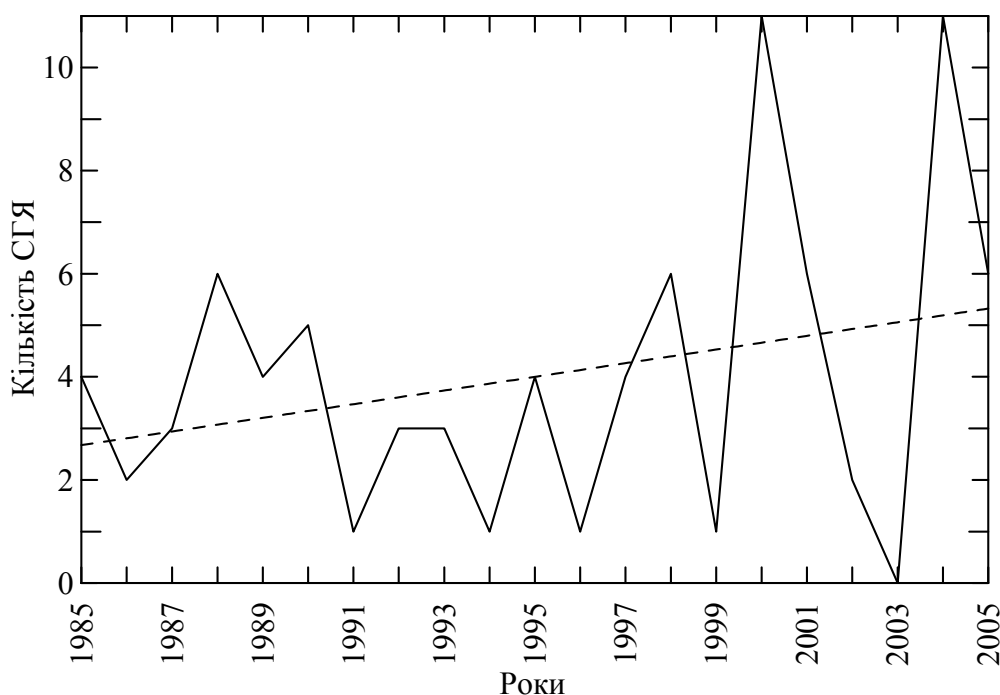


Рис. 1 – Кількість по роках підвищень рівня моря у порту Маріуполь, які перевищили критерій НЯ (531 см), за 1985-2005 роки.

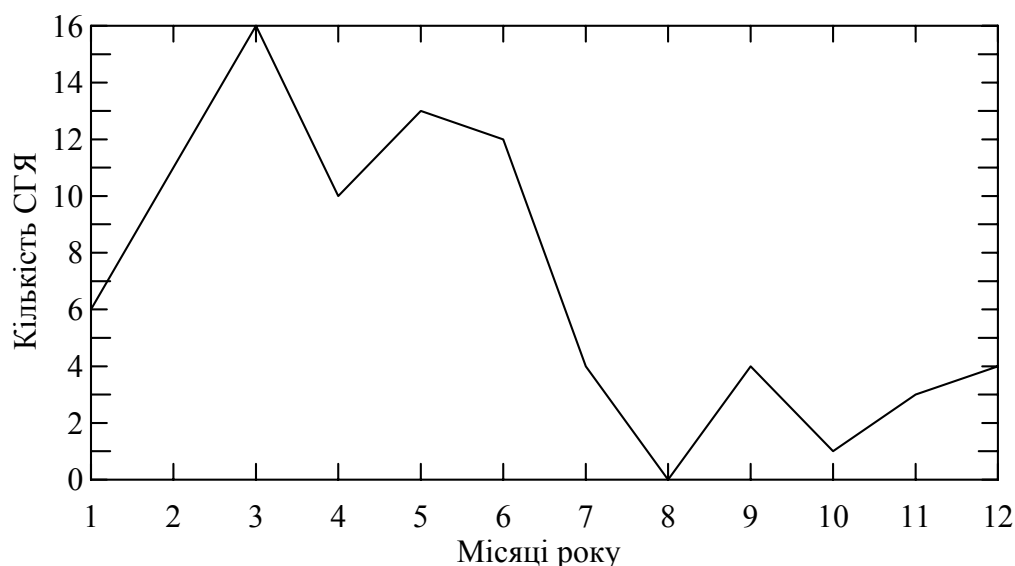


Рис. 2 – Кількість по місяцях року підвищень рівня моря у порту Маріуполь, які перевищили критерій НЯ (531 см), за 1985-2005 роки.

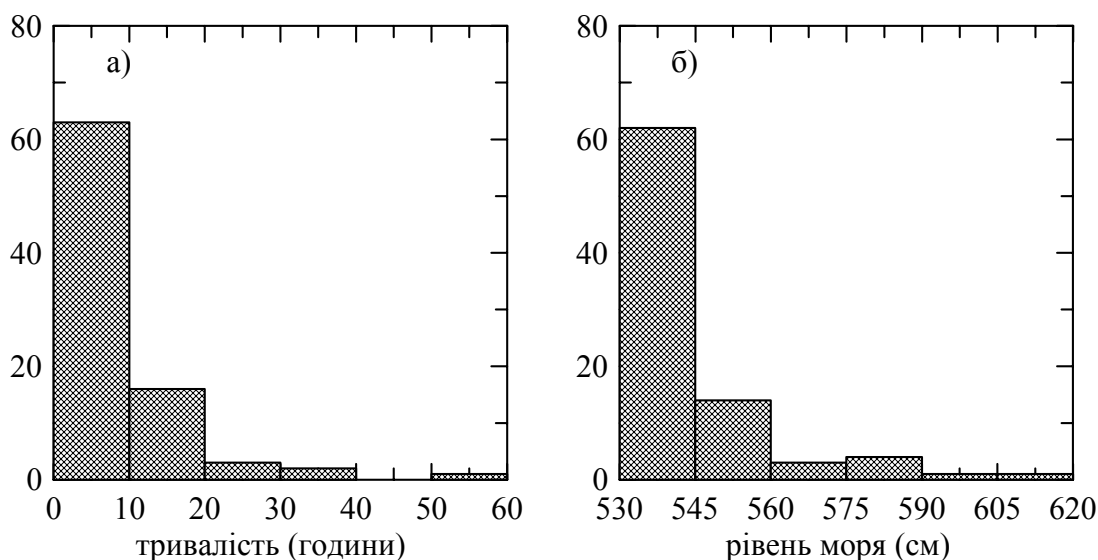


Рис. 3 – Повторюваність тривалості (а) та рівня моря (б) у порту Маріуполь, які перевищили критерій НЯ (531 см), за 1985-2005 роки.

рівні моря, які перевищили НЯ, то для всіх строків, коли це мало місце, треба проаналізувати синоптичну ситуацію, яка склалася над Азовським морем. Інший підхід, який надає більш узагальнену картину, ґрунтується на застосуванні компонентного аналізу. Суть його полягає у наступному.

Нехай є масив даних про атмосферний тиск на рівні моря для певних календарних дат. У нашому випадку розглянемо вузли сітки, обмеженої  $0^\circ$  та  $70^\circ$  сх.д. і  $30^\circ$  та  $80^\circ$  півн.ш., з кроком  $2,5^\circ$  в обох напрямках. Тоді дані можна записати у вигляді  $\mathbf{x}(t) = [x_1, \dots, x_l]$ , де кожна змінна  $x_i$  ( $i = 1, \dots, l$ ) містить  $N$  спостережень, позначених індексом  $t$ . За допомогою компонентного аналізу можна відшукати такі вектори  $\mathbf{u}(t)$  та  $\mathbf{a}$ , що

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{x}(t) \quad (1)$$

за умови мінімізації

$$\langle \| \mathbf{x}(t) - \mathbf{a}u(t) \|^2 \rangle, \quad (2)$$

де дужками  $\langle \rangle$  позначене часове осереднення. Тут  $u(t)$  має назву першого головного компонента, а  $\mathbf{a}$  є першим власним вектором матриці коваріації даних. Для того, щоб відшукати другий власний вектор та другий компонент, треба застосувати вирази (1)-(2) для залишку  $\| \mathbf{x}(t) - \mathbf{a}u(t) \|^2$  і так далі для інших векторів. Також можна одержати й дисперсії відповідних ортогональних компонентів, які, з достатнім наближенням, можна трактувати як відсоток для певної «синоптичної ситуації», яка описується полем відповідного власного вектора. Цей підхід буде ілюстровано у наступному розділі. Як вихідну інформацію для компонентного аналізу використаємо дані реаналізу NCEP/NCAR про атмосферний тиск на рівні моря у вузлах зазначеної вище сітки для календарних дат, коли у порту Маріуполь мало місце перевищення рівня моря 531 см.

Нарешті, щоб визначити вплив Північно-атлантичного коливання на виникнення НЯ за підвищеним рівнем моря у порту Маріуполь, застосуємо безперервне вейвлет-перетворення між добовими індексами ПАК та середньодобовим рівнем моря у порту Маріуполь. Такий підхід вже неодноразово застосовувався для аналізу аналогічних процесів (див., наприклад, [6, 7]).

**Результати та їх аналіз.** На рис. 4 наведені поля перших двох власних векторів поля атмосферного тиску; перший з цих векторів описує 44% дисперсії цього поля, а другий – 19%. На першому з них (рис. 4 зліва) чітко простежується монополь з додатними значеннями в центрі, розташований над Баренцовим морем. Така структура поля тиску може відповідати так званому блокуючому антициклону, південна периферія якого сягає Чорного та Азовського морями. У випадку, коли з півдня до цього регіону наближається циклон, відбувається його затримання на південній периферії антициклону, внаслідок чого над Чорним та Азовським морем збільшуються баричні градієнти та посилюється вітер і утворюються штормові умови. Саме ця синоптична ситуація й може призвести до підвищення рівня моря у порту Маріуполь. Цікаво, що самі циклони на цьому рисунку не простежуються, тому що їх внесок у мінливість поля тиску має менший часовий масштаб.

Поле другого власного вектора (рис. 4 справа) характеризується диполем з додатним центром, розташованим над Гренландським морем, та від'ємним – над

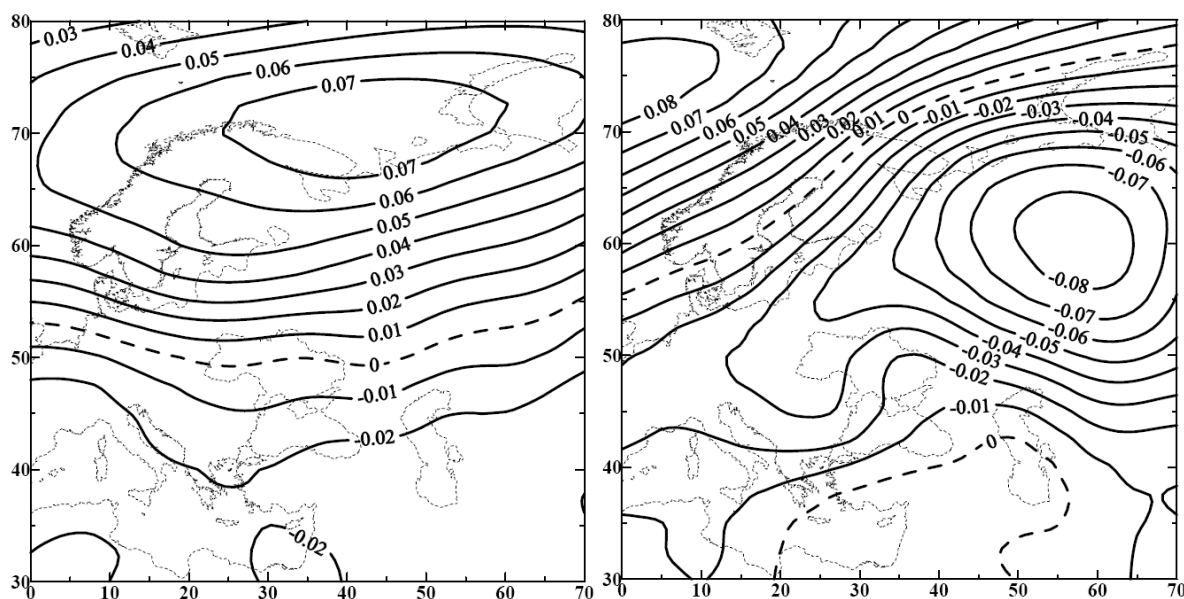


Рис. 4 – Поля першого (зліва) та другого (справа) власних векторів розкладення поля тиску на рівні моря для випадків рівнів моря у порту Маріуполь, які перевищили критерій НЯ (531 см), за 1985-2005 роки.



Середнім Уралом. Від останнього центра дії на Україну розповсюджується улоговина, на південній периферії якої над Азовським морем спостерігається вітер південних напрямків, що також може призвести до виникнення нагінних явищ у порту Маріуполь.

Отже, найсприятливішими синоптичними умовами небезпечного підвищення рівня моря у порту Маріуполь є блокування циклону над Чорним і Азовським морями та сильні південні вітри на південно-західній периферії великого циклону з центром над Уралом. Відзначимо також, що аналіз синоптичних ситуацій за картами погоди показав непогану узгодженість з одержаними вище результатами, а саме, приблизно 50% усіх нагонів у Маріуполі спостерігалися з блокуючим антициклоном, а ще близько 15% - на південних периферіях глибоких циклонів.

Нарешті, розглянемо вплив Північно-атлантичного колювання на виникнення небезпечних підвищень рівня моря. Для цього було виконано перехресне вейвлет-перетворення (XWT) для середньодобових індексів ПАК та рівнів моря у порту Маріуполь за січень-липень 2004 року, коли поспіль відзначалися небезпечні явища. Ці НЯ були не дуже інтенсивними, тому що максимум у середині лютого становив тільки 545 см, а наприкінці травня – 546 см, але цікавим є те, що їх кількість становила 11.

Як можна бачити на рис. 5, на часових масштабах з періодом 4-8 та 16-20 днів існує значуща спільна вейвлет-потужність між змінами індексу ПАК та рівнем моря, причому якщо розглядати весь період, то для усіх випадків підвищення рівня моря можна виявити значущу вейвлет-потужність. Але у випадках, коли мали місце

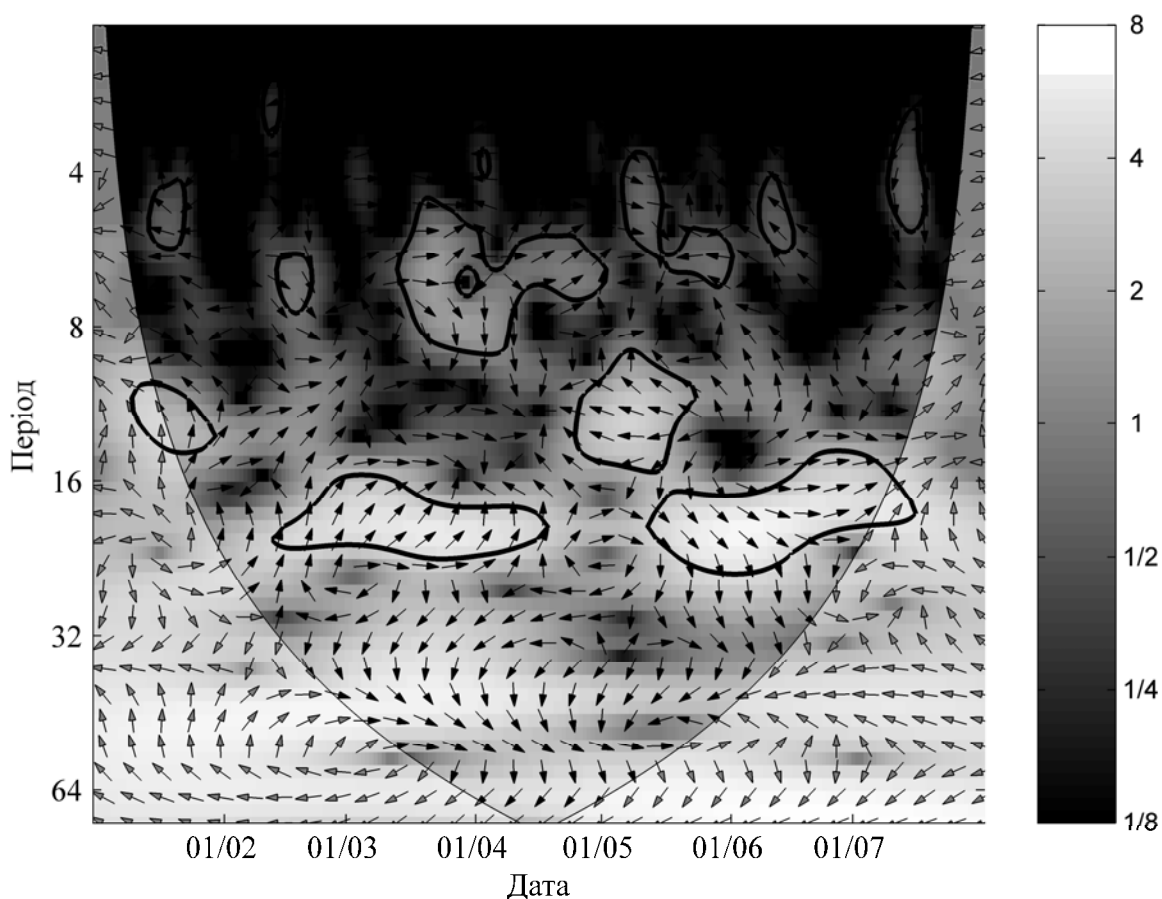


Рис. 5 – Перехресне вейвлет-перетворення між середньодобовими індексами ПАК і рівнем моря у порту Маріуполь за січень-липень 2004 року. Відносна фаза показана стрілками (вправо – два ряди у фазі, вліво – у протифазі, догори – перший випереджає другий). Рівень значущості 5% показано жирними лініями. Заглиб депресії показано з обох боків рисунку.

максимальні рівні (у середині лютого та наприкінці травня), ця характеристика вейвлета мала місце на більших масштабах часу. Іншою особливістю є те, що коливання індексів ПАК та рівня моря майже завжди відбуваються у фазі, і тільки у випадку нетривалого підвищення в середині травня має місце протифаза.

**Висновки.** У цій статті розглядалися підвищення рівня моря у порту Маріуполь, які перевищували критерій небезпечного явища, а також синоптичні процеси, які їх визначають. Найчастіше небезпечні нагони мають місце за блокування циклону над Чорним і Азовським морями та сильних південних вітрів на південно-західній периферії великого глибокого циклону. Виявлено також і зв'язок між змінами рівня моря та індексу Північно-атлантичного коливання. Останнє, до речі, внаслідок достатньо великої прогностичної здатності фаз ПАК на середні строки, може стати підґрунтям для побудови фізико-статистичного методу прогнозу виникнення НЯ з підвищення рівня моря.

### Список літератури

1. Surkov F.A., Krukiar L.A., Muratova G.V. Numerical modelling of the Sea of Azov's dynamics resulting from narrowing of the mouth of Taganrog Bay // *Physical Oceanography*. – 1990. – Vol. 1, No. 6. – P. 551–559.
2. Tilburg C.E., Garvine R.W. A simple model for coastal sea level prediction // *Weather and Forecasting*. – 2004. – Vol. 19, No. 3. – P. 511–519.
3. Khokhlov V., Glushkov A., Loboda N., Serbov N., Zhurbenko K. Signatures of low-dimensional chaos in hourly water level measurements at coastal site of Mariupol, Ukraine // *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. – 2008. – Vol. 22, No. 6. – P. 777–787.
4. Zaldívar J.M., Gutiérrez E., Galán I.M., Strozzi F., Tomasin A. Forecasting high waters at Venice Lagoon using chaotic time series analysis and nonlinear neural networks // *Journal of Hydroinformatics*. – 2000. – Vol. 2, No. 1. – P. 61–84.
5. Hurrell J.W. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation // *Science*. – 1995. – Vol. 269. – P. 676–679.
6. Хохлов В.Н., Романова А.В., Меньшова Ю.В. Вейвлет-анализ синоптических процессов над Северной Атлантикой и Украиной // *Вісник Одеського державного екологічного університету*. – 2007. – Вип. 4. – С. 135–145.
7. Романова Г.В. Про зв'язок процесу блокування над Україною з Північноатлантичним коливанням // *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. – Вип. 50, Ч. I. – С. 227–232.

**Опасные повышения уровня моря в порту Мариуполь: благоприятные синоптические процессы и влияние Северо-атлантического колебания.** Хохлов В.Н., Романова А.В., Журбенко Е.Е.

*Определяются синоптические процессы, способствующие повышению уровня моря в порту Мариуполь как опасного явления. Показано, что эти явления чаще всего наблюдаются на южной периферии блокирующего антициклона и в юго-западной части циклона. Также прослеживается связь между изменениями фаз Северо-атлантического колебания и повышением уровня моря в порту Мариуполь на синоптическом масштабе времени.*

**Ключевые слова:** повышение уровня моря, синоптические процессы, Северо-атлантическое колебание.

**Dangerous sea-level rise at Mariupol port: favourable synoptical processes and impact of North Atlantic Oscillation.** Khokhlov V.N., Romanova A.V., Zhurbenko K.E.

*The synoptical processes favourable for the sea level as dangerous event at Mariupol port are determined. It is shown that these events are mainly observed at the southern periphery of blocking anticyclone and at the southwest part of cyclone. The link between changes of North Atlantic Oscillation phases and sea-level rise at Mariupol port occurs at synoptical time scales.*

**Key words:** sea-level rise, synoptical processes, North Atlantic Oscillation.

УДК 551.46.06.7:551.465.5

Т.Е. Данова, к. геогр. н., Е.В. Галат, асп.

Одесский государственный экологический университет

## КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЗАИМОСВЯЗИ МОРСКОГО ЛЬДА АРКТИКИ И ИНДЕКСА ГОЛЬФСТРИМ

*Проводится анализ сезонной изменчивости полей коэффициентов корреляции между общей сплоченностью морского льда Арктического бассейна и индексом Гольфстрим. Выявлена обратная корреляционная зависимость. Только в августе, октябре и ноябре отмечаются значимые коэффициенты корреляции по всему полю Арктического бассейна с ярко выраженными максимумами. Зоны максимальных коэффициентов корреляции расположены в районах с большими глубинами – Гренландская котловина, котловина Амундсена, Канадская котловина, а также в районах антициклональных и циклонических круговоротов.*

**Ключевые слова:** климатология морского льда Арктики, индекс Гольфстрим, пространственное распределение коэффициентов корреляции.

**Введение.** Основные потребители гляциологической информации – климатологи – интересуются обычно изменениями не отдельных ледников, а всего оледенения морских бассейнов или некоторых территорий. К настоящему времени разработаны многочисленные модели динамики отдельных ледников при изменениях климата. Между тем известно, что и отдельные ледники, и оледенение водных бассейнов постоянно изменяются, приспособляясь к меняющемуся климату. Так, морской лед, занимающий обширные просторы Арктики, меняет своё положение в зависимости от времени года и оказывает существенное влияние на прилегающие слои атмосферы и океана. Лед является мощным изолятором, ограничивающим теплообмен океана и атмосферы. Альbedo в коротковолновой области солнечного спектра существенно уменьшается при наличии снежного покрова на морском льду [1].

Для изучения климатических процессов, связанных с морским льдом, необходимы геофизические данные в четырех областях: характеристики распространения льдов, включая общую и частные сплоченности, параметры движение льдов, информация по снежному покрову и распределение толщин льдов (<http://www.aari.ru/>).

Представленная работа посвящена вопросам климатологии морских льдов и, конкретно: сезонным изменениям распространения морского льда Арктики и взаимосвязи с аномалиями в положении северной границы теплого течения Гольфстрим.

Как известно, глобальное потепление влияет на повышение температуры поверхности океана, что непосредственно способствует резкому снижению ледяного покрова, а также изменения океанической циркуляции неразрывно связаны с изменениями в поле температуры и солёности в океане. Именно поэтому, в качестве характеристики изменения температуры поверхности океана, выбран индекс Гольфстрим, который показывает аномалии в положении северной границы теплого течения Гольфстрим у побережья Северной Америки (<http://web.pml.ac.uk/gulfstream/data.htm>). Теплое течение Гольфстрим является важнейшей составляющей циркуляции в Северной Атлантике и оказывает огромное влияние на климат Западной и Северной Европы, а также, на распространение льдов в Северном Ледовитом океане.

Ранее, в работах [2, 3] были представлены результаты компонентного анализа полей ледовитости Арктического бассейна, который позволил выделить собственные значения. Первые из них, как известно, относятся к наиболее крупномасштабным процессам, для

исследуемого поля ледовитости Арктического бассейна, величины первых двух собственных значений исчерпывают более 80% суммарной дисперсии поля. Свойства этих процессов выявляют соответствующие ортогональные компоненты поля, которые и называются главными компонентами. Как показал анализ, поле первого собственного вектора отчетливо отображает циркуляцию океана и перенос тепла в Арктический бассейн из Северной Атлантики. Проведенный в этой же работе корреляционный анализ среднегодовых значений сплоченности морского льда и индекса Гольфстрим в каждом узле 5 градусной сетки показал наличие обратной корреляционной зависимости.

В работе [4], посвященной взаимному спектральному анализу общей сплоченности морского льда Арктического бассейна с индексом Гольфстрим за период с 1972 по 2005 год, выявлено совпадение долгопериодных колебаний исследуемых процессов, которые соответствуют годовым, четырехлетним и семилетним. Кроме того, получено опережение полугодовых и годовых колебаний индекса Гольфстрим по отношению к общей сплоченности морского льда Арктического бассейна на период практически равный длительности самих колебаний.

Таким образом, влияние течений системы Гольфстрим на распространение льдов Арктического бассейна не вызывает сомнений, остается открытым вопрос о сезонной изменчивости этой взаимосвязи.

**Материалы и методы исследования.** В данной работе, посвященной климатологии морских льдов, приводятся обобщающие выводы из многолетних рядов наблюдений за ежемесячными изменениями зависимости сплоченности морского льда Арктического бассейна от аномалий в положении северной границы теплого течения Гольфстрим.

Для выявления сезонной зависимости использовался корреляционный анализ данных общей сплоченности морского льда Арктического бассейна за 15 число каждого месяца за период с 1972 по 2005 год с индексом Гольфстрим. Источником данных об общей сплоченности морского льда послужила информация, полученная с искусственного спутника Земли Nimbus-7. Исползованные данные, описывающие ледовую обстановку в Арктическом бассейне представлены в виде сетки с наполнением (максимум – 100% и минимум 0%, в зависимости от характеристик морского льда) и подготовлены в Иллинойском университете. Данные были преобразованы в отношение, выраженное в десятых долях и описывающее общую площадь морской поверхности, покрытую льдом как часть всей рассматриваемой площади, которое, согласно Международной номенклатуре морских льдов (ВМО) называется сплоченностью морского льда (Concentration).

В качестве индикатора изменчивости температуры поверхности океана используется индекс Гольфстрим. Индекс Гольфстрим, представленный на сайте Плимутской морской лаборатории Великобритании, показывает аномалии в положении северной границы течения Гольфстрим у побережья Северной Америки. Аномалия широтного положения северной границы течения определяется на основе данных ТПО (температуры поверхности океана) в шести точках (79°, 75°, 72°, 70°, 67°, 65°з.д.) с помощью специальной методики анализа. На сайте лаборатории (<http://web.pml.ac.uk/gulfstream/data.htm>) представлены таблица и график среднемесячных и среднегодовых аномалий положения северной границы течения в регионе исследования за период наблюдений с 1966 по 2005гг. Для расчетов использовался ряд 1972-2005гг.

Данные для корреляционного анализа формировались следующим образом: сначала были подготовлены данные общей сплоченности морского льда Арктического бассейна для широт 90°, 85°, 80°, 75°, 70°, 65° и 60° с шагом в месяц за период – 1972-2005гг. для

каждой долготной точки. Потом были выбраны среднемесячные данные индекса Гольфстрим за те же годы. Расчеты коэффициентов корреляции общей сплоченности морского льда и индекса Гольфстрим были проведены в каждом узле 5 градусной сетки. Далее осуществлена проверка гипотезы о статистической значимости оценки полученных коэффициентов корреляции с помощью критерия Стьюдента согласно методике описанной в [5].

**Результаты исследования и их анализ.** В результате полученных расчетов нами выявлено, что все коэффициенты корреляции по модулю больше чем 0,39 являются статистически значимыми. Рассчитанные коэффициенты корреляции для поля 5 градусной сетки с координатами от  $0^0$  до  $360^0$  в долготном направлении и от  $90^0$  до  $60^0$  – в широтном были нанесены на карту Арктического бассейна с помощью нескольких графических программ. Получены карты, которые характеризуют зависимость общей сплоченности морского льда Арктического бассейна от аномалий в положении северной границы теплого течения Гольфстрим.

Для облегчения восприятия информации далее используются долготы от  $0^0$  до  $360^0$ , из которых диапазон от  $0^0$  до  $185^0$  приходится на сектор Европейской и Российской Арктики, а диапазон от  $190^0$  до  $355^0$  приходится на сектор Американской Арктики. Анализ полученных полей коэффициентов корреляции показал наличие значимых коэффициентов, выявлена обратная корреляционная зависимость. Учитывая большой объем графического материала, было принято решение представить результаты корреляционного анализа в табличном виде (табл. 1). В таблице 1 представлено пространственное распределение коэффициентов корреляции между общей сплоченности морского льда Арктического бассейна и индексом Гольфстрим и указаны значения наиболее характерных коэффициентов корреляции для разных секторов Арктики.

Таблица 1 – Пространственное распределение коэффициентов корреляции между общей сплоченностью морского льда Арктического бассейна и индексом Гольфстрим

Месяц	Европейский и Российский сектор Арктики		Американский сектор Арктики	
	долгота зоны	коэффициенты корреляции	долгота зоны	коэффициенты корреляции
Январь	0-185 <sup>0</sup>	от -0,50 до -0,75	190-355 <sup>0</sup>	от -0,17 до -0,28
Февраль	0-185 <sup>0</sup>	от -0,22 до -0,38	190-355 <sup>0</sup>	от -0,25 до -0,34
Март	0-185 <sup>0</sup>	от -0,28 до -0,45	190-355 <sup>0</sup>	от -0,29 до -0,38
Апрель	0-185 <sup>0</sup>	от -0,33 до -0,84	190-355 <sup>0</sup>	от -0,34 до -0,84
Май	0-185 <sup>0</sup>	от -0,26 до -0,38	190-355 <sup>0</sup>	от -0,28 до -0,38
Июнь	0-185 <sup>0</sup>	от -0,22 до -0,34	190-355 <sup>0</sup>	от -0,25 до -0,35
Июль	0-185 <sup>0</sup>	от -0,22 до -0,34	190-355 <sup>0</sup>	от -0,21 до -0,71
Август	0-185 <sup>0</sup>	от -0,46 до -0,82	190-355 <sup>0</sup>	от -0,39 до -0,83
Сентябрь	0-185 <sup>0</sup>	от -0,52 до -0,74	190-355 <sup>0</sup>	от -0,20 до -0,74
Октябрь	0-185 <sup>0</sup>	от -0,65 до -0,79	190-355 <sup>0</sup>	от -0,57 до -0,79
Ноябрь	0-185 <sup>0</sup>	от -0,52 до -0,73	190-355 <sup>0</sup>	от -0,47 до -0,73
Декабрь	0-185 <sup>0</sup>	от -0,19 до -0,24	190-355 <sup>0</sup>	от -0,41 до -0,68

Учитывая, что все коэффициенты корреляции по модулю больше чем 0,39 являются статистически значимыми, можно сделать некоторые выводы. Как видим, в феврале и марте наблюдается поле незначимых коэффициентов корреляции, только в марте в зоне действия Нордкапского течения, вблизи береговой линии отмечается несколько точек от  $5^{\circ}$  до  $60^{\circ}$  со значимыми коэффициентами корреляции от -0,39 до -0,45. В апреле на общем фоне незначимых коэффициентов корреляции четко выражена зона с максимальными коэффициентами корреляции -0,84, которая расположена в глубоководном районе центральной части Северного Ледовитого океана – котловине Амундсена. Малоградиентным полем незначимых коэффициентов корреляции характеризуется май и июнь, только в июле в Американском секторе Арктики в Канадской котловине, фиксируются коэффициенты корреляции от -0,71 до -0,73.

В августе, когда в Арктике начинается перестройка полей приземной температуры воздуха и атмосферного давления, значимые коэффициенты корреляции наблюдаются во всем Северном Ледовитом океане от -0,39 до -0,82 в районе полюса. Для сентября характерно поле значимых коэффициентов корреляции до -0,74 в секторе Европейской и Российской Арктики. В октябре значимые коэффициенты фиксируются во всем Арктическом бассейне с максимумами -0,79, та же картина сохраняется в ноябре. В декабре значимые коэффициенты корреляции от -0,41 до -0,68 отмечаются только в Американской части Арктики.

Таким образом, общая сплоченность морских льдов Арктического бассейна хорошо откликается на изменения индекса Гольфстрим, рассчитанного на основании температуры поверхности океана. Однако существует несколько месяцев в году, когда эта связь отсутствует – это февраль, май и июнь, а в марте и апреле отклики фиксируются только в локальных зонах: в районе прихода теплых вод Северной Атлантики – Гренландской котловине и районе Северного полюса и моря Лаптевых – котловине Амундсена.

Фактически, только в августе, октябре и ноябре значимые коэффициенты корреляции отмечаются по всему полю Арктического бассейна с ярко выраженными максимумами.

Зоны расположения максимальных коэффициентов корреляции между общей сплоченностью морского льда Арктического бассейна и индексом Гольфстрим в Арктическом бассейне, а так же значения этих коэффициентов представлены в таблице 2. В таблице жирным шрифтом выделены месяцы, когда значимые коэффициенты корреляции наблюдаются во всем Арктическом бассейне.

Анализ табличных значений показал, что зоны максимальных коэффициентов корреляции расположены в районах прихода более теплых вод Северной Атлантики, в районе Северного полюса, а также в районе архипелага Северная Земля – море Лаптевых ( $100-140^{\circ}$  в.д.) и моря Бофорта ( $130-160^{\circ}$  з.д.). Все эти области характеризуются большими глубинами – район прихода вод Северной Атлантики – Гренландская котловина, район Северного полюса и моря Лаптевых – котловина Амундсена, моря Бофорта – Канадская котловина.

В Северном Ледовитом океане четко проявляются два основных направления дрейфа льдов: трансарктический в Евразийском секторе Арктики и антициклональный в Американском. Трансарктический поток распространяется от Восточно-Сибирского моря через Северный полюс к северо-востоку от Гренландии. В этот же поток втягиваются льды из Карского моря и моря Лаптевых. В районах между Северной Америкой (Аляской и Канадой) и Северным полюсом льды движутся по часовой стрелке в соответствии с

антициклонической циркуляцией. Здесь возникает замкнутый круговорот льдов, называемый спиралью Бофорта. Следует заметить, что максимальные коэффициенты корреляции характерны именно для районов антициклональных и циклонических круговоротов. К таким течениям относятся Антициклонический круговорот вод Арктического бассейна и система циклонических течений Северно-Европейского бассейна, а также, циклонический круговорот в районе морей Баренцевом и Лаптевых. Льды из этих районов частично попадают в трансарктический поток, с которым выносятся в Северную Атлантику, а часть из них совершает повторный круговорот.

Таблица 2 – Положение зон максимальных коэффициентов корреляции, а также их значение

Месяц	Европейский и Российский сектор Арктики		Американский сектор Арктики	
	долгота зоны максимальных коэффициентов корреляции	значение максимальных коэффициентов корреляции	долгота зоны максимальных коэффициентов корреляции	значение максимальных коэффициентов корреляции
Январь	50-65 <sup>0</sup> 165-185 <sup>0</sup>	-0,75	-	-
Февраль	-	-	-	-
Март	5-60 <sup>0</sup>	-0,45	-	-
Апрель	100 <sup>0</sup>	-0,84	290 <sup>0</sup>	-0,84
Май	-	-	-	-
Июнь	-	-	-	-
Июль	-	-	210-230 <sup>0</sup>	-0,74
<b>Август</b>	<b>0-195<sup>0</sup></b>	<b>-0,82</b>	<b>210-240<sup>0</sup></b> <b>345-355<sup>0</sup></b>	<b>-0,82</b>
Сентябрь	0-160-185 <sup>0</sup>	-0,74	195 <sup>0</sup>	-0,74
<b>Октябрь</b>	<b>160-185<sup>0</sup></b>	<b>-0,79</b>	<b>190-240</b> <b>260, 270, 295</b>	<b>-0,79</b>
<b>Ноябрь</b>	<b>60-65<sup>0</sup></b> <b>160-185<sup>0</sup></b>	<b>-0,73</b>	<b>190-240<sup>0</sup></b> <b>295-305<sup>0</sup></b>	<b>-0,73</b>
Декабрь	-	-	190-240 <sup>0</sup> 295-305 <sup>0</sup> 340-345 <sup>0</sup>	-0,68

Причины, по которым значимые коэффициенты корреляции отмечаются по всему полю Арктического бассейна с ярко выраженными максимумами только в августе, октябре и ноябре, могут быть пояснены следующим образом.

Известно, что для Баренцева моря наиболее распространенной является атлантическая водная масса, занимающая юго-западную часть моря и часть его центральной области. Это самая устойчивая водная масса, сохраняющая свои характеристики в течение всего года и отличающаяся повышенными значениями температуры и солености. В поверхностном слое их характерные значения составляют 34,5-35,0‰ и 3,0-5,0°C зимой, 8,0-10,0°C летом; с глубиной температура понижается, но в



течение всего года остается положительной [6]. Именно эта водная масса является проводником изменений аномалий в положении северной границы теплого течения Гольфстрим. Известно, что приток атлантических вод усиливается зимой и именно в это время происходит интенсивное ледообразование. Видимо, поэтому максимальная (по площади распространения) зависимость общей сплоченности морского льда Арктического бассейна от индекса Гольфстрим характерна для тех месяцев, когда происходит сезонная перестройка как барического, так и термического полей, что приводит к интенсификации процесса ледообразования.

Что касается причин, по которым максимальные коэффициенты корреляции фиксируются в районах циклонических круговоротах, то здесь можно сделать некоторые предположения.

Система течений большинства арктических морей изучена недостаточно хорошо. Как в Баренцевом море, так и в морях Лаптева и Бофорта существует сложная система поверхностных и глубинных течений, самым общим свойством которых является движение вод против часовой стрелки, то есть, система циркуляции в этих морях циклоническая. Мы не будем касаться причин образования круговорота воды против часовой стрелки в исследуемых морях, однако для названных арктических морей характерно следующее: скорости течений, образующих круговорот, малы и не превышают нескольких десятков см/с, внутри круговорота течения неустойчивые по направлению и очень слабые. [7]. Таким образом, водная масса являющаяся проводником изменений аномалий в положении северной границы теплого течения Гольфстрим попадая в район циклонических и антициклонических круговоротов, остается в этих районах достаточно долгое время в силу неустойчивых по направлению и очень слабых течений внутри круговоротов, оказывает наибольшее влияние на характеристики общей сплоченности морского льда.

**Выводы.** Анализ пространственного распределения и значений коэффициентов корреляции между общей сплоченностью морского льда Арктического бассейна и индексом Гольфстрим позволяет сделать некоторые выводы:

- Общая сплоченность морских льдов Арктического бассейна хорошо откликается на изменения в положении северной границы теплого течения Гольфстрим, рассчитанного на основании температуры поверхности океана, выявлена обратная корреляционная зависимость.
- Значимые коэффициенты корреляции отмечаются по всему полю Арктического бассейна с ярко выраженными максимумами только в августе, октябре и ноябре, когда происходит сезонная перестройка как барического, так и термического полей, что приводит к интенсификации процесса ледообразования.
- Зоны максимальных коэффициентов корреляции расположены в районах с большими глубинами, а также в районах антициклонических и циклонических круговоротов, где водная масса, являющаяся проводником изменений аномалий в положении северной границы теплого течения Гольфстрим, остается достаточно долгое время, оказывает наибольшее влияние на характеристики общей сплоченности морского льда.

## Список литературы

1. Глазырин Г.Е., Кодама Ю. Оценка изменения оледенения в переходном режиме при изменениях климата – Материалы гляциологических исследований, №95, Москва. – 2003. – С. 212–215.
2. Т.Е. Danova, E.V. Galat Climatology of sea ice of the Northern hemisphere // Тези Міжнародної наукової конференції "Міжнародний полярний рік в Україні: підсумки та перспективи." – Харків. – 2009. – С.60.
3. Данова Т.Е., Галат Е.В. Зависимость сплоченности морского льда Арктического бассейна от индекса Гольфстрим // Український гідрометеорологічний журнал. – 2010. – Вип. 6. – С.242-249.
4. Данова Т.Е., Галат Е.В. Применение метода взаимного спектрального анализа к концентрации морского льда Арктики и индексу Гольфстрим. // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. – 2009. – Вип. 1(9). – С.183-188.
5. Школьный С.П., Лоева И.Д., Гончарова Л.Д. «Обработка та аналіз гідрометеорологічної інформації». – Одесса. – 1999р.–600с.
6. Никифоров Е. Г., Шнайхер А. О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 270с.
7. Новицкий В.П. Постоянные течения северной части Баренцева моря // Труды ГОИН. -1961. - Вып. 64. - С.3-32.

### **Кліматологічні характеристики сезонних змін взаємозв'язку морського льоду Арктики та індексу Гольфстрім. Т.Є. Данова, Є.В. Галат**

*Проводиться аналіз сезонних змін полів коефіцієнтів кореляції між загальною згуртованістю морського льоду Арктичного басейну та індексом Гольфстрім. Виявлена обернена кореляційна залежність. Тільки в серпні, жовтні та листопаді відмічаються значущі коефіцієнти кореляції по полю Арктичного басейну з визначеними максимумами. Зони максимальних коефіцієнтів кореляції розташовані в районах з великими глибинами – Гренландська котловина, котловина Амундсена, Канадська котловина, а також в районах антициклонічних і циклонічних коловоротів.*

**Ключові слова:** кліматологія морського льоду Арктиці, індекс Гольфстрім, просторовий розподіл коефіцієнтів кореляції.

### **Seasonal changes climatological features of interrelation of Arctic sea ice and the Gulf-stream index.**

**T.E. Danova, E.V. Galat**

*The analysis of seasonal variability of fields of factors of correlation between the general unity of sea ice of the Arctic pool and an index Gulf Stream is carried out. Return correlation dependence is revealed. Only in August, October and November significant factors of correlation on all fields of the Arctic pool with strongly pronounced maxima are observed. Zones of the maximum factors of correlation are located in areas with the big depths - the Greenland hollow, Amundsen's hollow, the Canadian hollow, and also in areas anticyclonic and cyclonic circulations.*

**Keywords:** climatology sea ice of Arctic regions, an index Gulf Stream, spatial distribution of factors of correlation.

## КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

*Показаны особенности временной изменчивости крупномасштабных компонент циркуляционных процессов в атмосфере во второй половине XX столетия. Определены статистически значимые скрытые периодичности и трендовые составляющие во временных рядах главных компонент. Установлены статистически значимые взаимосвязи между крупномасштабными циркуляционными атмосферными процессами в западном секторе южного полушария и параметром солнечной активности – числами Вольфа.*

**Ключевые слова:** геопотенциал, главные компоненты, периодичности, числа Вольфа.

**Вступление.** Климатические изменения, которые происходили в течение прошлого столетия, явились своего рода стимулом, который привел к значительному росту усилий специалистов в изучении процессов взаимодействия различных звеньев климатической системы. Несмотря на значительные успехи, достигнутые мировым гидрометеорологическим научным сообществом, остается еще много невыясненных вопросов относительно особенностей структуры крупномасштабных атмосферных процессов и факторов, которые их определяют. Одна из самых актуальных и в то же время вызывающая ожесточенные споры проблема современной геофизики – воздействие солнечной активности на состояние нижней атмосферы и погоду Земли.

Некоторые исследователи указывают на положительную корреляцию между возрастанием солнечной активности и развитием сильных антициклонов в высоких широтах ( $\pm 70^\circ$ ), а также усилением циклонических вихрей в широтной зоне  $40 - 60^\circ$  [1,2]. В ряде случаев отмечается более высокая корреляционная связь в зимний период в высоких широтах, когда прямое воздействие солнечного излучения менее существенно. Ясно также то, что такое влияние на погоду не одинаково и даже не однозначно в разных частях планеты. Поэтому целью данной работы является определение значимых статистических взаимосвязей между солнечной активностью и крупномасштабными циркуляционными процессами в тропосфере западного сектора южного полушария.

**Материалы и методы исследований.** Объектом исследования явились среднемесячные поля геопотенциальных высот изобарических поверхностей 850 и 500 гПа. В качестве исходной информации были использованы данные реанализа ERA – 40, заданные в узлах регулярной сетки точек  $2,5^\circ$  на  $2,5^\circ$ , в секторе ограниченном по широте от Южного полюса до  $20^\circ$  ю.ш. и меридианами  $120^\circ$  з.д. и  $30^\circ$  в.д., за период с 1958 г. по 2002 г. для каждого месяца года. В качестве параметра солнечной активности были использованы временные ряды среднемесячных значений чисел Вольфа за тот же период, которые являются широко используемыми численными показателями количества пятен на Солнце.

Для выполнения данной задачи, сначала необходимо провести параметризацию исходного состава факторов, перейти к новым величинам, которые являлись бы линейными комбинациями исходных параметров. Новые факторы должны быть взаимно некоррелированными (ортогональными) и чтобы при возможно меньшем их количестве учитывалась значимая часть изменчивости исходных параметров. Перечисленным требованиям соответствует компонентный анализ, который часто в литературе

называют методом «эмпиричных ортогональных функций» или «естественных ортогональных функций».

Компонентный анализ применяется и при решении других метеорологических задач. Одной из них является сжатие метеорологической информации - значительное сокращение количества информации при сохранении основного её содержания.

На основе матриц ковариаций ( $K_x$ ) был проведен компонентный анализ [3], который позволяет выявить важные особенности структуры и динамики крупномасштабных атмосферных процессов. Основное уравнение полной проблемы собственных значений имеет вид

$$K_x W_i = \lambda_i W_i, \quad (1)$$

где  $\lambda_i$  - собственное значение;  $W_i$  - соответствующий ему собственный вектор.

Как известно, собственные значения  $\lambda_i$  являются дисперсиями  $\sigma_{Z_i}^2$  ортогональных компонент ( $Z_i$ ) исследуемых полей ( $\Delta X_i$ ), полученных путём их ортогонального преобразования в базисе собственных векторов ( $W$ )

$$Z_i = W' \Delta X_i. \quad (2)$$

**Результаты исследований и их анализ.** Путем ортогонального преобразования полей геопотенциальных высот в базисе собственных векторов были получены ортогональные компоненты. Сумма всех собственных значений равняется суммарной дисперсии исследуемых полей и так как собственные значения упорядочены, то есть располагаются в порядке уменьшения и характеризуются быстрой сходимостью, то, как правило, первые из них исчерпывают значительный процент от суммарной дисперсии полей. Именно этот процент и относится к наиболее крупномасштабным циркуляционным процессам. Свойства этих процессов освещают соответствующие ортогональные компоненты полей геопотенциальных высот, которые называют главными компонентами.

Анализ собственных значений показал, что более 60% суммарной дисперсии полей геопотенциальных высот АТ-850 и АТ-500 для всех сезонов исчерпывают первые два собственных значения (табл. 1).

Таблица 1 – Собственные значения геопотенциальных высот АТ-850 и АТ-500

Месяц	$\lambda_1$	$\lambda_1, \%$	$\lambda_2$	$\lambda_2, \%$	$\sum_{i=1}^2 \lambda_i, \%$
	<b>АТ-850</b>				
Январь	5356989	54	1063347	11	65
Апрель	4344714	42	2068780	18	60
Июль	7492971	61	2736787	22	83
Октябрь	5009345	41	3176269	26	67
<b>АТ-500</b>					
Январь	14252592	51	3642773	13	64
Апрель	8694548	41	4118799	19	60
Июль	13410381	43	5973183	18	61
Октябрь	8275580	36	6834708	26	62

Именно первые две ортогональные компоненты являются главными, которые характеризуют наиболее крупномасштабные циркуляционные атмосферные процессы: временной ряд первой главной компоненты несёт в себе информацию о динамике наиболее крупномасштабного процесса – западно-восточного переноса, а временной ряд второй главной компоненты – об интенсивности колебаний процессов циклогенеза над южными частями Тихого и Атлантического океанов (ЮТОАЗК) [4]. Поэтому дальнейшему рассмотрению подлежат первые две главные компоненты ( $Z_1(t)$  и  $Z_2(t)$ ).

Графики временных рядов главных компонент геопотенциальных высот изобарических поверхностей АТ-850 и АТ-500 свидетельствуют о том, что они содержат не только колебания [5], которые обусловлены циркуляционными процессами в данном регионе, но и шумовую компоненту. Избавиться от нее можно путем процедуры фильтрации с помощью скользящего осреднения. Выбор интервала осреднения является важной задачей. Существуют разные подходы к решению этой задачи. С нашей точки зрения, целесообразно как период сглаживания выбирать интервал, который отвечает периодичности, имеющей большую энергию колебания с одной стороны, и достаточно большой интервал сглаживания – с другого. Такие периодичности можно установить путем спектрального анализа и интегрального преобразования Фурье [3].

Результаты расчетов дали возможность получить энергетические спектры и амплитудно-частотные характеристики  $A(\omega_i)$  для временных рядов главных компонент [5]. Анализ периодичностей выявленных во временных рядах главных компонент полей геопотенциальных высот изобарических поверхностей АТ-850 и АТ-500 дает основание проводить операцию сглаживания с периодом 4 года (48 точек). Операция сглаживания представляет собой скользящее осреднение, где весовым множителем является косинус – фильтр [3].

На рис. 1 представлен сглаженный временной ряд первой главной компоненты, изобарической поверхности АТ-850.

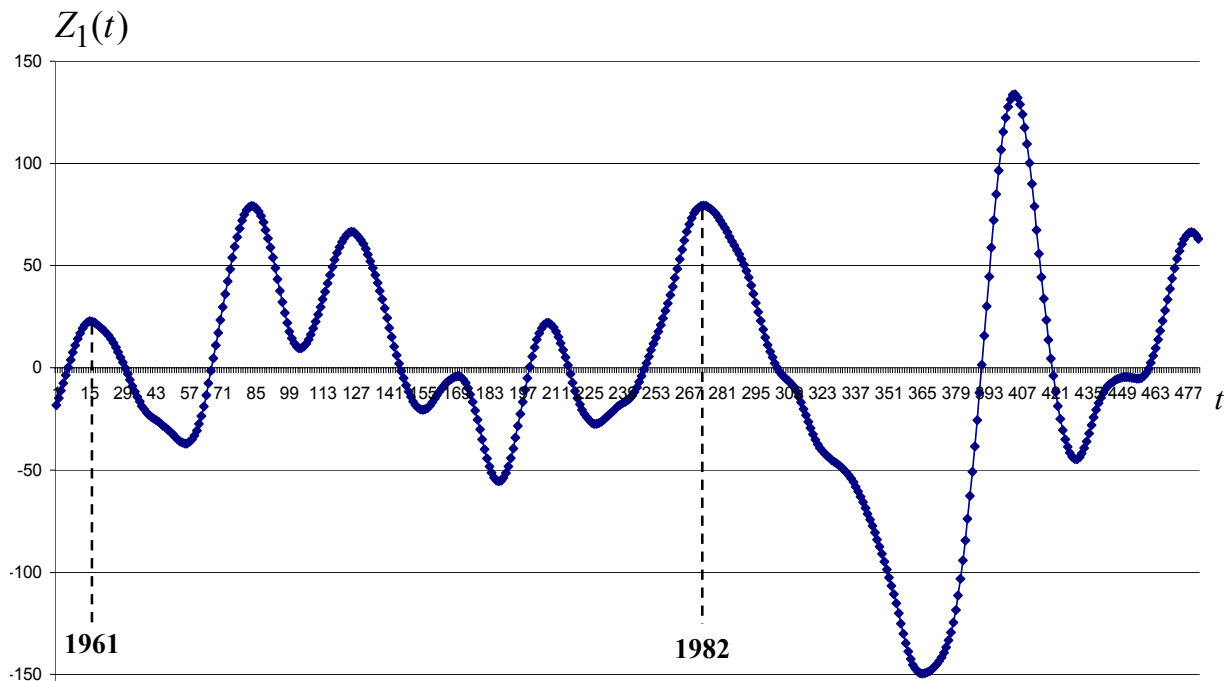


Рис. 1 - Сглаженный временной ряд первой главной компоненты АТ-850.

Анализ сглаженного временного ряда показывает, что в случайном процессе наблюдается квазидесятилетняя, а также пяти и четырехлетняя периодичности. Интересно то, что после 1982 г. хорошо проявляется только квазидесятилетняя волна с большой амплитудой. Есть основания считать, что это является следствием глобального потепления, в результате которого происходят значительные перестройки наиболее крупномасштабного циркуляционного звена – западного восточного переноса, путем более интенсивных меридиональных процессов.

В сглаженном временном ряду второй главной компоненты (рис. 2) наблюдаются 8-10 - летние периодичности, на которые накладываются 5-6 - летние периодические колебания. Начиная с 1980 года, имеет место хорошо выраженный тренд в сторону уменьшения общей интенсивности колебаний. Как указывалось выше, именно вторая главная компонента, характеризует колебательную связь в крупномасштабных циркуляционных процессах, которые развиваются над южными частями Тихого и Атлантического океанов. Отмеченная отрицательная трендовая компонента, прослеживаемая с 1980 года, свидетельствует об интенсификации процесса циклогенеза [4].

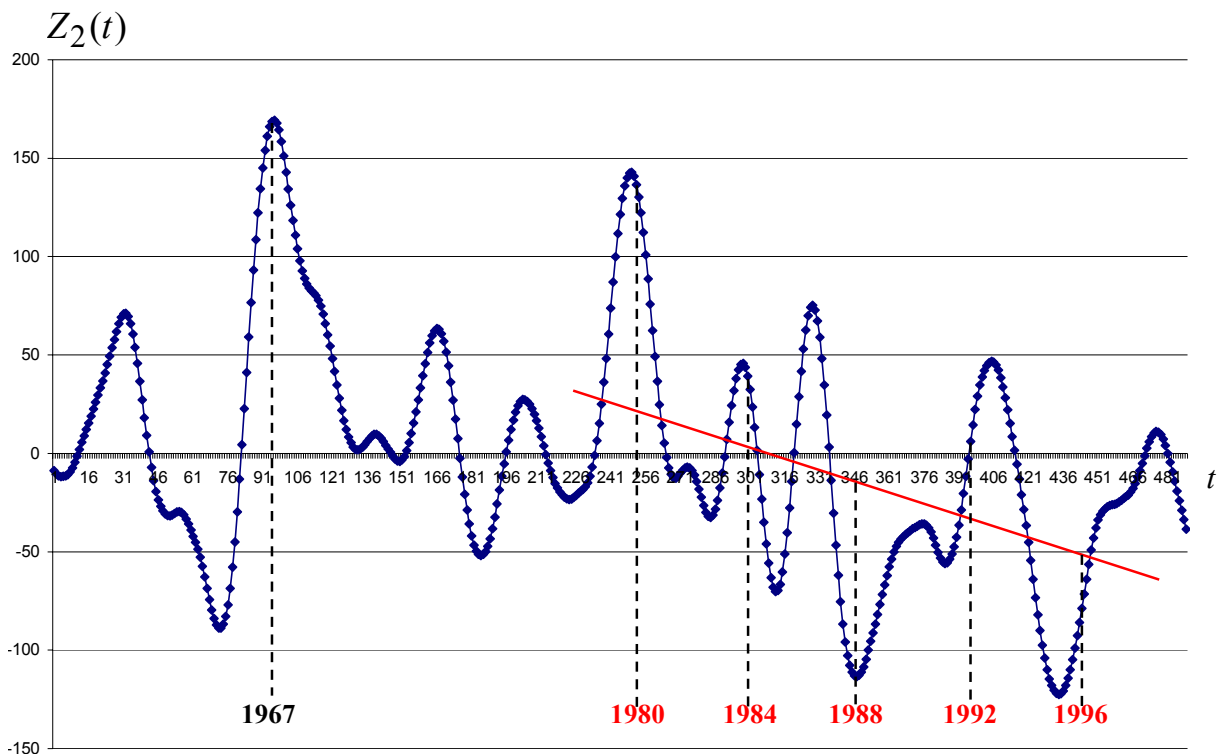


Рис. 2 - Сглаженный временной ряд второй главной компоненты AT-850.

На рис. 3 приводятся результаты сглаживания первой главной компоненты изобарической поверхности AT-500, которая является характеристикой наиболее крупномасштабного процесса, а именно западно-восточного переноса. Отчетливо проявляются 8-10 - летние периодичности, на которые накладываются 4-5 - летние.

В сглаженном временном ряду второй главной компоненты ( $Z_2(n)$ ) изобарической поверхности AT-500, представленном на рис. 4, преобладают колебания с периодом 4 и 5 лет. В отличие от временного ряда второй главной компоненты изобарической поверхности AT-850, из этого графика следует, что хорошо определяются два линейных тренда: первый с 1962 по 1974 года, после чего

наблюдается резкое увеличение значений второй главной компоненты, а затем опять постепенное уменьшение с 1976 по 1996 годы. Нужно обратить внимание на то, что процедура получения исходных данных реанализа за период с 1958 по 2002 года качественно изменилась, поэтому к всплеску второй главной компоненты, который соответствует 1979 году, нужно относиться с осторожностью, хотя он по времени совпадает со всплеском первой главной компоненты.

$Z_1(t)$

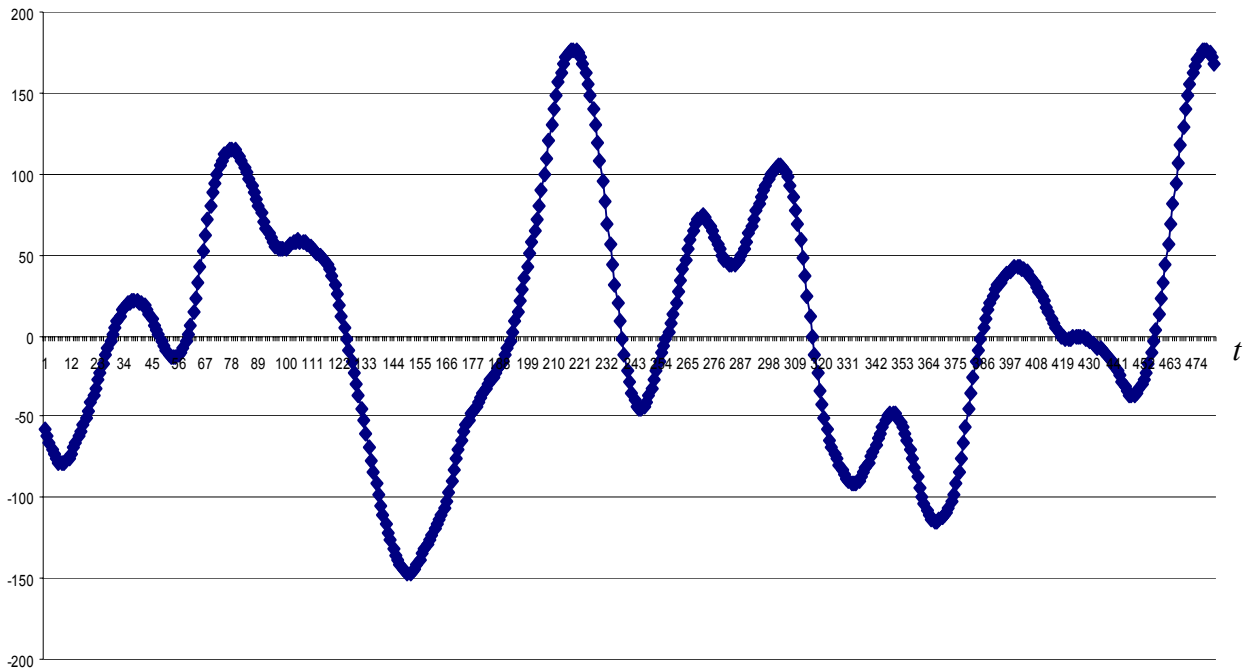


Рис. 3 - Сглаженный временной ряд первой главной компоненты АТ-500.

$Z_2(t)$

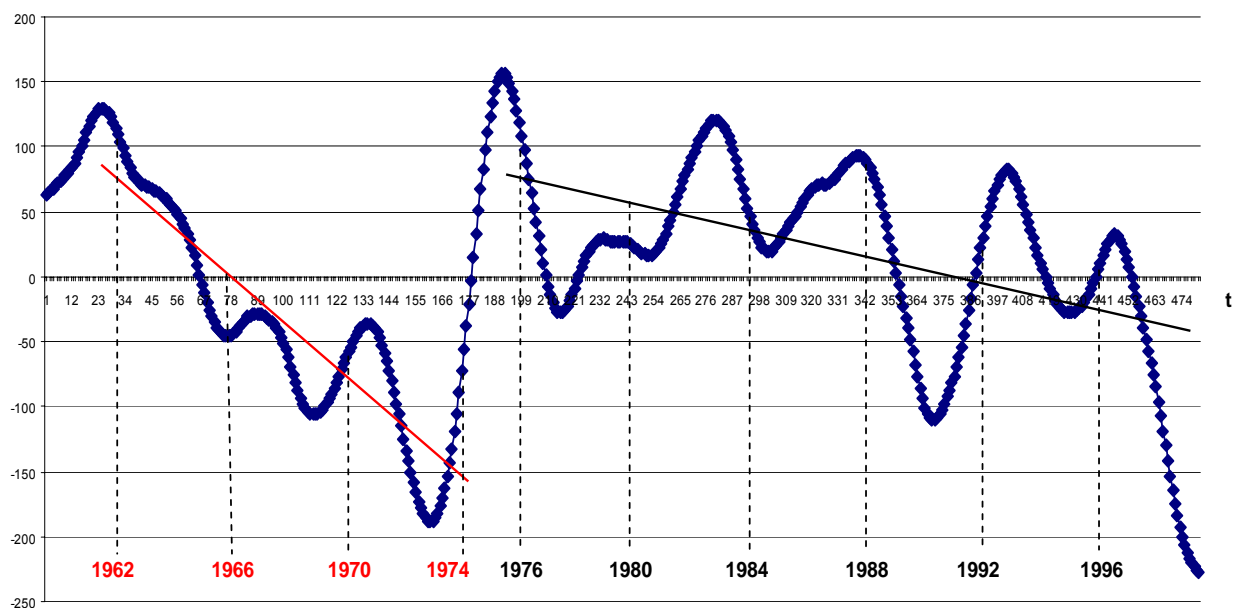


Рис. 4 - Сглаженный временной ряд второй главной компоненты АТ-500.

При рассмотрении периодических колебаний во временных рядах главных компонент, которые являются показателями наиболее крупномасштабных циркуляционных атмосферных процессов в рассматриваемом секторе южного полушария, возникает вопрос: являются ли эти десятилетние гармонические колебания проявлением собственных свойств или они могут быть следствием какого-то внешнего фактора, а именно циклом появления солнечных пятен. Поэтому дальнейшее исследование посвящено определению возможных взаимосвязей между крупномасштабными циркуляционными атмосферными процессами и солнечной активностью.

В качестве параметров крупномасштабных циркуляционных атмосферных процессов в западном секторе южного полушария были использованы временные ряды ежемесячных значений главных компонент изобарических поверхностей АТ-850 и АТ-500 гПа за период 1958 - 2002 гг., которые определены с помощью компонентного анализа. В качестве параметра солнечной активности целесообразно использовать числа Вольфа ( $W$ ) — числовой показатель количества пятен на Солнце, который является одним из самых распространённых параметров солнечной активности (рис. 5).

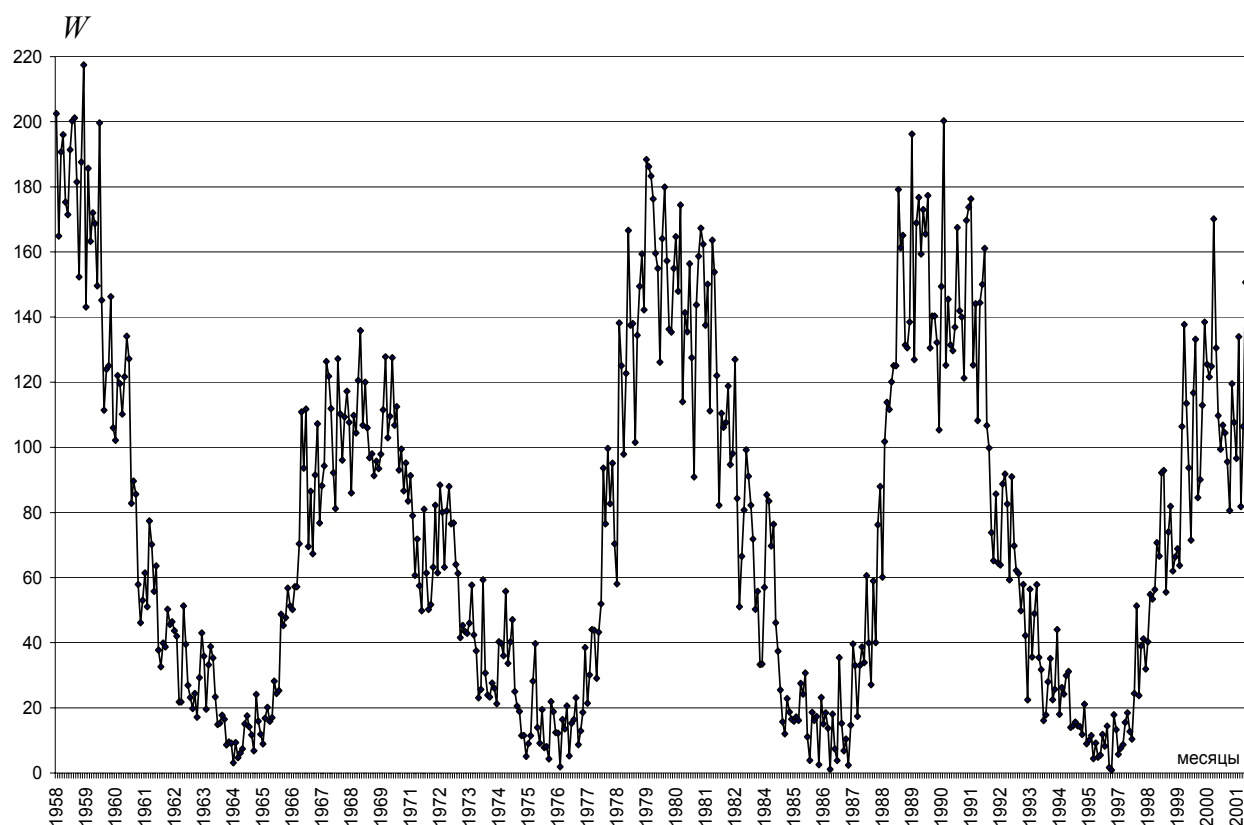


Рис. 5 – Среднемесячные значения чисел Вольфа за период 1958-2002 гг.

Для исследования взаимосвязи между крупномасштабными циркуляционными атмосферными процессами и солнечной активностью применялся метод взаимного спектрального анализа [3]. Были рассчитаны значения когерентности ( $\gamma_k$ ), характеризующие тесноту корреляционной взаимосвязи между главными компонентами изобарических поверхностей АТ-850, АТ-500 и показателем активности Солнца – числами Вольфа. Ряд значимых периодичностей с соответствующими им фазами представлены в табл. 2, 3.



Таблица 2 - Характеристики взаимных спектров для АТ-850

Вид взаимосвязи	$\gamma_k$	Период (T), месяцы	Период (T), год	$\varphi^\circ$	$\varphi$ , мес
Первая главная компонента - числа Вольфа	0,91	73	6	48	9,7
	0,9	25	2	165	11,5
	0,94	10,8	0,9	263	- 7,8
	0,97	5,3	0,5	228	- 3,3
	0,94	3,1	0,25	86	0,7
Вторая главная компонента - числа Вольфа	0,88	170,6	14	187	- 88
	0,77	105,4	8,5	194	- 56
	1,0	32	2,6	261	- 23
	0,93	18,2	1,5	339	- 17
	0,97	9,3	0,8	106	2,7
	0,9	5,9	0,5	250	- 4
	0,96	3,2	0,25	163	1,4

Анализ табл. 2 показал, что наблюдаются статистически значимые корреляционные взаимосвязи между первой главной компонентой и солнечной активностью в 6-ти летних, двухгодичных, годовых, полугодовых и сезонных периодичностях.

Тесная взаимосвязь солнечной активности проявляется и со второй главной компонентой изобарической поверхности АТ-850 в 14-ти и 8-ми летней гармониках, а также значимыми являются периодичности на частотах, которые соответствуют двухгодичным, годовым, полугодовым и сезонным колебаниям, большинство из которых происходит с соответствующим опережением активных процессов на Солнце, о чем свидетельствуют отрицательные фазы.

Таблица 3 - Характеристики взаимных спектров для АТ-500

Вид взаимосвязи	$\gamma_k$	Период (T), месяцы	Период (T), год	$\varphi^\circ$	$\varphi$ , мес
Первая главная компонента - числа Вольфа	0,88	5,3	0,4	350,3	- 5,1
	0,89	2,8	0,2	276,1	- 2,1
	0,95	2,5	0,2	193,2	- 1,3
Вторая главная компонента - числа Вольфа	0,92	8,9	0,7	306,2	- 6,12
	0,91	7,8	0,65	341,7	- 6,83
	0,95	5,1	0,4	251,9	- 2,51
	0,95	3,4	0,2	308,4	- 2,91
	0,94	2,9	0,2	324,6	- 2,61

По результатам табл. 3 видно, что наблюдаются статистически значимые корреляционные взаимосвязи первой и второй главных компонент с солнечной активностью в гармонических колебаниях с полугодовым и сезонным периодами. Таким образом, есть основания полагать, что все выявленные колебания изобарической поверхности АТ-500, являются следствием влияния солнечной активности.

**Выводы.** Выявленные годовая и сезонная периодичности в крупномасштабных циркуляционных атмосферных процессах являются естественными, отражающими влияние движения Земли по орбите и связанные с особенностями поступления

солнечной радиации, что приводит к колебаниям крупномасштабных циркуляционных атмосферных процессов. Однако выявленные долгопериодные взаимные колебания: 14-ти летнее, квазидесятилетнее и шестилетнее, как оказалось, имеют статистически значимую взаимосвязь с циклом солнечных пятен. Указанные периодичности были обнаружены в средних годовых значениях чисел Вольфа методом спектрального анализа [6] и при помощи метода максимальной энтропии [7].

Таким образом, полученные результаты подтверждают наши предположения о возможном влиянии солнечной активности на состояние нижней атмосферы в западном секторе южного полушария и как следствие на погоду и климат данного региона.

Прогресс в области проблемы солнечно-погодных связей даёт возможность, по крайней мере, лучше понять, особенности развития атмосферных процессов. Определение влияние солнечной активности на погоду может повысить возможность значительных улучшений в краткосрочных прогнозах погоды и образовать полезную основу для климатического прогноза.

### Список литературы

1. Герман Дж.Р., Голдберг Р.А. Солнце погода и климат. – Л.: Гидрометеиздат, 1981.- 318 с.
2. Мак-Кормак Б., Селиги Т. Солнечно-земные связи, погода и климат. – М.: «Мир», 1982.- 380 с.
3. Школьний Є.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: Підручник.- К.: Міносвіти України, 1999. – 600 с.
4. Галич Е.А., Школьний Е.П. Особенности крупномасштабных циркуляционных процессов в атмосфере западном секторе высоких широт Южного полушария // Вісник Одеського державного екологічного університету. - 2007. – Вип. 4. – С. 127-134.
5. Галич Е.А., Школьний Е.П., Севастьянов А.И. Главные компоненты полей геопотенциала в западном секторе Южного полушария // Доповіді Національної академії наук України, 2008, № 2.- С. 117-123.
6. Mitchell J.M., Jr. The solar inconstant, in Proceedings Seminar on Possible Responses of Weather Phenomena to Variable Extra-Terrestrial Influences // NCAR, №8, 1965.-P. 155 – 174.
7. Radoski H.R., Fougere P.F., Zawalik E.J. A comparison of power spectral estimates and applications of the maximum entropy model // J. Geophys. Res. 80, 1975.- 611-619 p.

#### **Великомасштабні циркуляційні атмосферні процеси в західному секторі південної півкулі та їх зв'язок із сонячною активністю. Галич Є.А., Астрахович А.О.**

*Показані особливості часової мінливості великомасштабних компонент циркуляційних процесів в атмосфері в другій половині XX сторіччя. Визначені статистично значущі приховані періодичності і трендові компоненти в часових рядах головних компонент. Встановлені статистично значущі взаємозв'язки між великомасштабними циркуляційними атмосферними процесами в західному секторі південної півкулі і параметром сонячної активності – числами Вольфа.*

**Ключові слова:** геопотенціал, головні компоненти, періодичності, числа Вольфа.

#### **Large-scale circulation atmospheric processes in the western sector of the South hemisphere and their connection with sun activity. Galich E.A., Astrakhovich A.O.**

*It is demonstrated peculiarities of the large-scale components of circulation processes changeability of atmosphere in the second half of the XX century. The statistically marked degree periodicities in the trend components of the time series of main components of the pressure fields were obtained. Meaningful intercommunications between large-scale parameters of atmospheric processes in the western sector of the South hemisphere and Wolf's numbers were defined.*

**Keywords:** geopotential, main components, periodicity, Wolf's numbers.

**С.А. Зубкович, асп.**

*Одеський державний екологічний університет*

## **ТИПИЗАЦИЯ СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАД ВОСТОЧНОЙ УКРАИНОЙ**

*Охарактеризованы преобладающие типы синоптических процессов над востоком Украины. Проанализированы их сезонные особенности. Составлен каталог типов синоптических процессов.*

**Ключевые слова:** синоптический процесс, скорость ветра, макромасштабная циркуляция.

**Введение.** Перенос воздушных масс на Украине происходят при различных циркуляционных процессах. Эти процессы отличаются многообразием форм и сложностью сезонных изменений циркуляции.

Погодные условия Украины зависят как от крупномасштабной циркуляции атмосферы над Северным полушарием, так и от региональных особенностей относительно небольшой территории. Восток Украины находится на оси внетропического максимума [5, 7]. Эта ось проходит через Украину с юго-запада на северо-восток, приблизительно от Кишинева (отрог азорского антициклона) через Днепропетровск на Луганск (отрог сибирского максимума) и являлась ветрораздельной линией.

**Основная цель работы** - типизация синоптических процессов, формирующих современный режим ветра над восточными областями Украины.

**Современное состояние проблемы.** Одним из признаков современных климатических изменений является заметное ослабление скорости ветра над Украиной [1, 2, 4] и прилегающих территорий [6, 8], а поскольку режим ветра формируется под влиянием макромасштабной циркуляции, то изменения прослеживаются и в преобладающих синоптических процессах [7].

**Материалы и метод исследования.** Исходной информацией для исследования послужил полный комплект синоптических карт (00 и 12 UTC) из электронного архива кафедры теоретической метеорологии и метеорологических прогнозов ОГЭКУ за период 1997-2007 гг.

Метод исследования – анализ синоптической информации использованием принципа аналогичности.

**Результаты исследования их анализ.** Как известно, равнинный характер востока Украины способствует распространению воздушных масс с Атлантического океана, Средиземного и Черного морей и в тоже время не препятствует вторжению континентальных воздушных масс [1, 2, 5, 7]. В случае перемещения циклона с запада или юго-запада к периферии континентального антициклона активизируются атмосферные фронты с сопутствующими опасными явлениями погоды.

Основными центрами действия атмосферы над востоком Украины являются:

- сибирский зимний антициклон с отрогами на запад и юго-запад;
- исландская барическая депрессия, усиливающаяся зимой и ослабевающая летом;
- арктический антициклон;
- южные циклоны;
- азорский антициклон, ядра и гребни которого активны летом.

Взаимодействие этих центров действия атмосферы обуславливают адвекцию воздушных масс.

В зависимости от структуры термобарического поля нижней тропосферы над Украиной, траекторий перемещения основных барических образований у земли и особенностей переноса воздушных масс выделено 6 типов и 17 подтипов атмосферных процессов, определяющих ветровой режим на заданной территории [3].

На основании предложенной в [3] типизации составлен каталог синоптических процессов за последнее десятилетие над востоком Украины по результатам анализа ежедневных приземных карт и карт барической топографии за последнее десятилетие (1997-2007 гг.) в основные месяцы сезона. В табл. 1 представлен его фрагмент для периода 2003-2007 гг.

При анализе повторяемости типов макроциркуляционных процессов над регионом исследования выявлено, что над востоком страны в холодное полугодие преобладает циклоническая циркуляция с большими барическими градиентами (рис. 1). Повторяемость типа 6 в январе достигает 51 %, т.е. практически в 2 раза чаще, чем в июле – 22 %. Это по-видимому обусловлено тем, что процесс адвекции воздушных масс над Украиной особенно активен в холодную часть года. Зима наступает при поступлении арктического воздуха в тылу циклонов, смещающихся к востоку, или при распространении с востока отрогов континентального антициклона. При этом в 21% случаев наблюдается подтип 6.2, что соответствует тылу циклона, смещающегося на восток со скоростью 40-60 км/час, сопровождающегося западным или северо-западным ветром. Гораздо реже, в 11% случаев, отмечается подтип 6.1 (табл. 2), т.е. штормовая зона между циклоном на западе и антициклоном (гребнем) на востоке, обуславливающая южный и юго-восточный перенос. Подтипы 6.3 и 6.4 встречаются в 8% случаев и связаны с выходом южных циклонов, формируя южный ветер.

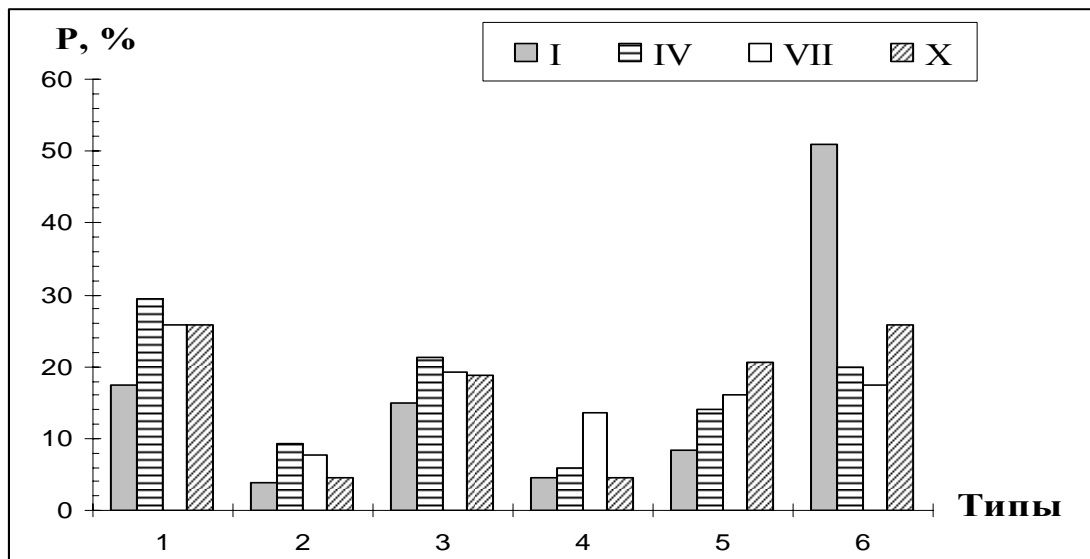


Рис. 1 – Повторяемость типов синоптических процессов над востоком Украины в январе, апреле, июле и октябре 2003-2007 гг.

Малоградиентное поле повышенного давления (тип 3) в январе наблюдается в 15 % случаев. При такой синоптической ситуации в течение суток преобладает штиль, а усиление ветра отсутствует даже в дневные часы. В другие месяцы доля данного типа в формировании ветрового режима несколько усиливает и составляет от 19 до 21 %.

Таблица 1 – Фрагмент каталога типов (подтипов) синоптических процессов над востоком Украины (2003-2007 гг.)

Число	Месяцы				Число	Месяцы			
	I	IV	VII	X		I	IV	VII	X
2003					2004				
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
1	3,5	2,1	3,3	1,2	1	6,1	6,1	2,1	6,2
2	3,3	2,1	1,1	1,2	2	1,3	1,4	1,4	6,2
3	6,1	2,1	2,1	1,2	3	4,2	1,4	1,1	6,1
4	6,2	3,1	1,1	1,2	4	6,2	1,4	1,1	3,3
5	6,2	3,3	1,1	2,2	5	6,2	2,1	1,1	3,3
6	6,2	2,1	3,1	2,2	6	6,2	2,1	1,1	3,3
7	4,1	2,1	3,1	2,2	7	6,2	1,3	3,1	3,3
8	4,1	2,1	3,1	2,2	8	6,4	1,3	6,2	4,2
9	1,4	2,1	3,1	2,2	9	6,1	1,2	1,2	6,3
10	3,3	5,2	3,1	1,1	10	1,3	1,1	1,2	6,2
11	3,3	5,2	2,1	6,4	11	2,1	1,1	6,1	6,2
12	3,3	5,2	6,1	6,4	12	2,2	1,1	4,1	5,1
13	3,3	5,1	6,1	1,2	13	6,3	1,4	1,2	5,2
14	3,3	1,2	6,1	1,2	14	6,3	1,4	1,2	5,2
15	2,1	1,3	6,1	1,2	15	6,3	2,2	6,1	5,2
16	2,2	3,2	3,1	1,3	16	6,4	6,1	6,1	5,2
17	1,1	3,2	2,1	1,4	17	6,4	3,1	1,1	6,1
18	1,1	1,3	3,1	1,4	18	6,4	1,4	4,1	6,1
19	1,1	1,3	3,1	1,4	19	6,3	1,4	1,4	6,1
20	3,2	1,3	5,1	3,3	20	6,1	1,4	1,4	6,1
21	3,2	4,1	5,1	3,3	21	6,4	1,4	2,1	6,1
22	4,1	4,1	5,1	2,1	22	6,2	1,4	6,2	6,1
23	3,3	4,1	5,1	5,1	23	6,2	1,4	5,2	1,1
24	3,3	3,3	5,2	5,1	24	6,4	6,2	5,2	1,1
25	3,3	2,1	3,1	1,2	25	5,2	5,2	6,2	1,1
26	3,3	2,1	5,2	3,3	26	5,2	5,2	5,2	3,2
27	3,3	3,1	1,3	4,2	27	5,2	5,2	1,3	1,2
28	3,3	1,1	1,3	4,2	28	5,2	5,2	4,1	1,1
29	1,2	1,1	1,3	4,2	29	6,1	6,2	4,1	6,2
30	1,2	1,1	1,3	1,3	30	6,1	1,4	4,1	4,1
31	4,2		5,2	1,3	31	6,3		4,1	6,1
2005					2006				
1	1,1	3,1	2,1	5,2	1	6,1	6,1	5,1	6,1
2	6,3	3,3	2,2	1,3	2	6,1	3,1	5,1	3,1
3	6,3	3,1	4,1	3,2	3	6,1	3,3	5,1	3,2
4	6,3	3,1	4,1	3,1	4	6,1	3,3	5,2	1,1
5	6,3	3,3	4,1	3,1	5	6,1	3,3	5,2	1,1
6	6,3	3,1	4,1	5,1	6	6,1	5,2	2,2	5,2

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	8	9
7	1,1	1,1	4,1	5,1	7	6,1	6,4	5,2	3,3
8	1,1	1,1	4,1	5,1	8	3,1	6,4	5,2	3,1
9	1,1	1,1	4,1	5,1	9	3,1	6,2	3,3	3,3
10	1,1	3,2	4,1	5,1	10	3,3	5,2	4,1	3,3
11	5,1	3,2	1,1	5,1	11	3,3	5,2	4,2	3,3
12	6,2	2,2	3,1	5,1	12	3,3	6,4	3,1	1,3
13	1,1	3,1	3,1	5,2	13	3,3	6,2	3,1	1,3
14	1,1	1,2	3,1	5,2	14	1,4	6,2	3,1	5,1
15	6,3	6,1	3,3	4,2	15	1,2	6,3	1,3	5,1
16	5,2	6,1	3,1	6,3	16	5,1	5,1	5,1	5,1
17	6,2	6,2	4,2	6,3	17	6,1	6,3	5,1	3,3
18	3,2	6,2	4,2	2,1	18	6,1	1,2	3,1	3,3
19	3,2	6,2	4,2	6,2	19	6,1	1,2	6,2	3,3
20	6,1	6,2	2,1	5,1	20	6,1	2,1	6,2	5,2
21	6,1	6,2	2,2	5,1	21	6,2	3,3	6,2	1,2
22	6,1	6,2	2,2	3,3	22	5,2	3,3	1,3	1,2
23	6,1	6,2	2,2	1,1	23	5,1	5,1	5,1	1,1
24	6,1	3,3	1,1	1,1	24	5,1	5,1	5,1	1
25	6,1	4,1	1,1	6,3	25	5,1	5,1	5,1	6,3
26	6,4	4,1	1,1	6,3	26	5,2	6,1	3,1	6,3
27	6,4	3,3	1,1	6,3	27	5,2	1,3	1,1	1,1
28	6,4	5,2	3,1	6,2	28	6,2	1,3	1,2	5,1
29	6,4	5,2	1,2	5,2	29	6,2	1,3	1,1	6,2
30	4,2	5,2	1,2	5,2	30	6,2	1,3	6,1	6,2
31	4,2		4,1	3,1	31	6,2		6,1	6,2
2007									
1	6,2	1,3	5,1	1,3	16	6,2	3,1	3,3	3,3
2	6,2	1,4	6,2	5,1	17	1,1	3,3	3,1	3,3
3	1,4	4,1	6,2	1,4	18	1,1	3,3	5,1	3,1
4	6,2	4,1	6,3	1,3	19	1,1	3,3	3,1	6,2
5	1,1	4,2	6,2	3,1	20	6,2	6,2	3,1	5,2
6	1,1	4,2	6,3	1,1	21	6,2	6,2	3,1	6,2
7	1,1	1,4	6,3	6,2	22	2,1	6,2	1,3	6,2
8	6,2	1,4	1,1	6,2	23	6,2	6,2	5,1	6,1
9	6,2	1,4	1,1	6,2	24	6,4	3,1	6,1	6,1
10	1,1	1,4	1,1	5,1	25	6,4	5,1	6,2	1,3
11	1,1	6,3	4,2	5,1	26	6,2	3,3	6,2	5,2
12	6,2	6,3	1,1	6,2	27	1,4	3,3	1,2	1,2
13	6,2	6,2	1,1	6,2	28	6,3	3,3	6,2	1,2
14	6,2	1,4	3,1	6,2	29	6,2	5,1	6,2	1,3
15	6,2	1,3	3,1	3,1	30	6,2	5,1	1,2	4,2
					31	2,2		6,2	3,3

Таблица 2 – Повторяемость (ч.с. / %) типов (подтипов) синоптических процессов над востоком Украины в период 2003-2007 гг.

Типы синоптических процессов	Подтипы синоптических процессов	Месяцы							
		I		IV		VII		X	
		ч.с.	%	ч.с.	%	ч.с.	%	ч.с.	%
1 Периферийные процессы	1	<b>27</b>	<b>17</b>	<b>44</b>	<b>29</b>	<b>40</b>	<b>26</b>	<b>40</b>	<b>26</b>
	1.1	18	12	9	6	20	13	13	8
	1.2	3	2	5	3	9	6	13	8
	1.3	2	1	12	8	8	5	10	6
	1.4	4	3	18	12	3	2	4	3
2 Циклоническая циркуляция	2	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>5</b>
	2.1	3	2	12	8	7	5	2	1
	2.2	3	2	2	1	5	3	5	3
3 Антициклоническая циркуляция	3	<b>23</b>	<b>15</b>	<b>32</b>	<b>21</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>29</b>	<b>19</b>
	3.1	2	1	11	7	26	17	8	5
	3.2	4	3	4	3	0	0	3	2
	3.3	17	11	17	11	4	3	18	12
4 Слабовыраженные барические поля	4	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>21</b>	<b>14</b>	<b>7</b>	<b>5</b>
	4.1	3	2	7	5	16	10	1	1
	4.2	4	3	2	1	5	3	6	4
5 Периферийные процессы с прохождением фронтов	5	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>21</b>	<b>14</b>	<b>25</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>21</b>
	5.1	5	3	8	5	15	10	19	12
	5.2	8	5	13	9	10	6	13	8
6 Циклоническая циркуляция с большими барическими градиентами	6	<b>79</b>	<b>51</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>27</b>	<b>17</b>	<b>40</b>	<b>26</b>
	6.1	23	15	6	4	10	6	11	7
	6.2	32	21	17	11	14	9	19	12
	6.3	12	8	4	3	3	2	8	5
	6.4	12	8	3	2	0	0	2	1
Всего		<b>155</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>100</b>	<b>155</b>	<b>100</b>	<b>155</b>	<b>100</b>

Слабовыраженные барические поля (тип 4), когда восточные области страны находятся под влиянием западного и северо-западного переноса, отмечаются чаще всего в июле (14 %), реже – в январе и октябре (5 %).

Циклоническая циркуляция (тип 2) с незначительными градиентами давления занимает незначительное место во все сезоны – от 4-5 % в январе и октябре до 8-9 % в июле и апреле.

Периферийные процессы с прохождением фронтов наиболее активны в октябре, а наименее – в январе – 26 и 8 %, соответственно. В теплое полугодие (апрель, июль) этот тип выражен умеренно – 14-16 %.

**Выводы.** Составлен каталог синоптических процессов для восточной Украины в последнее десятилетие, который будет направлен на усиление инновационных процессов в работе синоптиков и на углубление изучения влияния макроциркуляционных факторов, формирующих ветровой режим данной территории.

Выявлено преобладание типов со значительными барическими градиентами над востоком Украины в холодное полугодие, что обуславливает более интенсивный приземный ветер зимой и осенью. Представленное распределение типов макропроцессов представляется характерной особенностью востока Украины, в отличие от её южных регионов [1-3], где в течение года преобладают периферийные процессы (тип 1 и 4).

В качестве основного направления для дальнейших исследований планируется накопление информации об основных типах синоптических процессов и регулярное пополнение каталога, анализ преобладающих типов (подтипов) и их влияния на формирование режима ветра, выявление связи между синоптической ситуацией над востоком Украины и интенсивностью североатлантического колебания.

### Список использованных источников

1. *Івус Г.П., Агайяр Э.В., Ешану А.Е.* Особенности температурно-ветрового режима в районе Одессы на рубеже XXI века // Причорноморський екологічний бюлетень. – 2007. - № 2 (24). – С. 181-190.
2. *Івус Г.П., Агайяр Э.В., Мищенко Н.М.* Статистические характеристики скорости ветра в районе Одессы // Культура народов Причерноморья. – 2006. - № 67. – С. 21-24.
3. *Івус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б., Агайяр Е.В.* До проблеми типізації синоптичних процесів над півднем України у сучасних умовах // Причорноморський екологічний бюлетень – Причорноморський екологічний бюлетень – 2009. – №. 2 (24) – С. 142-145.
4. *Івус Г.П., Семергей-Чумаченко А.Б., Зубкович С.О.* Статистичні характеристики швидкості вітру над сходом України у січні в епоху кліматичних змін // Фізична географія та геоморфологія. – 2009. – Вип. 57. – С. 23-28.
5. *Клімат України.* - К.: Видавництво Раєвського, 2003. – 343 с.
6. *Луц Н.В.* Многолетняя изменчивость скорости ветра в Восточном Приазовье // Метеорология и гидрология. – 2001. – №2. – С. 98-102.
7. *Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К.* Синоптические процессы, определяющие современный климат Украины // Фізична географія та геоморфологія.– 2009. – Вип. 57. – С. 18-22.
8. *Репетин Л.Н.* Климатические изменения ветрового режима северного побережья Черного моря. – Тези доповідей другої міжнародної науково-технічної конференції „Навколишнє природне середовище – 2007: актуальні проблеми екології та гідрометеорології; інтеграції освіти і науки”. – Одеса: ТЕС, 2007. – С. 173-174.

#### **Типізація синоптичних процесів над східною Україною. Зубкович С.О.**

*Охарактеризовані переважні типи синоптичних процесів над сходом України. Проаналізовані їх сезонні особливості. Складений каталог типів синоптичних процесів.*

**Ключові слова:** синоптичний процес, швидкість вітру, макромасштабна циркуляція.

#### **The typing of synoptic processes over Eastern Ukraine. Zubkovich S.**

*The prevailing types of synoptic processes over Eastern Ukraine are characterized. The season specialties of them are investigated. The catalog of types of synoptic processes are completed.*

**Keywords:** wind speed, synoptic process, macro-scale circulation.



УДК 631:551.50 +633.1

**Л.Ю.Божко, к.г.н, І.В. Бурдейна**

*Одеський державний екологічний університет*

### **ВПЛИВ ПОГОДНИХ УМОВ НА ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ЗЕРНА ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ В ПОЛІССІ**

*Наводяться результати досліджень впливу погодних умов Полісся на вміст білка в зерні озимої пшениці. Встановлені статистичні залежності вмісту білка з основними агрометеорологічними показниками*

**Ключові слова:** *погодні умови, озима пшениця якість зерна, вміст білка.*

**Вступ.** В умовах ринкової економіки важливим є повне використання різноманітності споживчих властивостей сільськогосподарської продукції польових культур. При адаптації сільськогосподарського виробництва України до ринку слід мати на увазі, що за сучасних економічних засад обсяг урожаю не завжди є позитивним фактором. Надмірне виробництво може спричинити зниження цін і зменшення рентабельності сільськогосподарської продукції, особливо у експортному варіанті. Якість же врожаю завжди є важливим показником конкурентоспроможності і визначається, зокрема, хімічним складом продукції.

Озима пшениця належить до числа провідних зернових культур в нашій країні. Якість продовольчого зерна пшениці є суттєвим показником і не компенсується кількістю врожаю. Середній хімічний склад зерна пшениці має 12 % води, 14 % білків, 2,0 % жирів, 65 % вуглеводів без клейковини, 2,5 % клітковини та 1,8 % золи. Як кількість, так і якість зерна озимої пшениці залежить від властивостей вирощуваних сортів та умов, в яких вони вирощуються.

Технологічна, борошномельна та товарна цінність зерна озимої пшениці визначається головним чином такими показниками якості зерна, як вміст в ньому білка та клейковини.

Як вміст білка в зерні, так і вміст клейковини спадкоємні і значною мірою залежать від сорту культури. Але ці показники не втримуються на рівні сорту-моделі, вони мають значну мінливість, в тому числі і в географічному розрізі в залежності від клімату, властивостей ґрунтів та агротехніки [1].

**Сучасний стан проблеми.** Якість зерна досліджувалась В.М. Страшним, Г.В. Дегтярьовою, А.М. Дерев'яно та І.Т. Левенко. Дослідженнями цих авторів встановлено, що продуктивність озимої пшениці залежить від чинників, пов'язаних з біологічними властивостями її, родючістю ґрунту, погодою та агротехнікою. В цілому вплив кліматичних умов на якість зерна значно перевищує вплив агротехнічних заходів [ 2,3,4,5,6 ].

Дослідженнями В.М. Страшного [5] встановлено, що накопичення білка в зерні злакових рослин відбувається за рахунок двох джерел: використання азотистих речовин, які накопичуються у вегетативних органах до початку наливу зерна, та поглинання азоту з ґрунту в період наливу зерна. Тому агрометеорологічні умови вже на ранніх стадіях розвитку рослин впливають на якість зерна. Встановлено, що найвища якість зерна спостерігається за середніх дефіцитів насичення повітря 11–13 мб за період від стійкого переходу температури повітря через 10°C до колосіння, густоти рослин менше 900 штук на м<sup>2</sup>, середньої температури повітря в межах 21-24 °С, запасів

продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту на дату переходу температури повітря через 10°C - 120 -140 мм.

При загущених посівах зменшується кількість пагонів та листя, що формується на них. Зменшення площі листя обумовлює зменшення кількості азоту, що надходить в зерно. Із зменшенням густоти посівів на кожні 100 штук колосоносних стебел кількість білка зростає на 0,4 – 0,5 %, клейковини – на 1 – 2 %.

Дослідженнями А.М. Дерев'янка [4] встановлено, що кількість білка та клейковини знаходиться в прямій залежності від значень гідротермічного коефіцієнта (ГТК) за період червень- липень для південних областей і червень – липень - серпень для північних областей, кількості колосоносних стебел і запасів продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту.

В дослідженнях залежності якості врожаю від агрометеорологічних показників також використовуються розрахункові моделі [6]. Проблема математичного моделювання формування якості врожаю в системі « навколишнє середовище – рослина» вперше запропоновано М.А. Строгановою.

Концепція моделювання, полягає в тому, що якість врожаю формується впродовж всього життя рослини і визначається її генотипом та умовами навколишнього середовища. Головна увага при цьому приділяється моделюванню життєдіяльності рослин в різних умовах навколишнього середовища. Моделювання виконується з врахуванням фізіології пшениці, ґрунтових та агрометеорологічних умов. Це дозволяє досліджувати процес в комплексі.

Результати дослідження моделі в чисельних експериментах показали, що модель адекватно описує систему – оригінал і може використовуватись для теоретичних досліджень впливу агрометеорологічних умов та рівня живлення ґрунту азотом на процес формування якості врожаю [6].

В розрахунковій моделі І.Т. Левенка дослідження впливу погоди на якість врожаю засновується на принципах екології та агроєкології. В ній використовуються екологічні функції відгуку на основні та вторинні, а також лімітуючі чинники середовища, що дозволяє визначати оптимальні і порогові значення їх для рослин [2].

На разі без достатньої уваги залишається два не вирішених питання, які виникають із проблем сумісності умов формування врожаю і його якості.

1. Якість рослини ( хімічний склад), сприятлива для людей, не обов'язково сприятлива для самої рослини. Рослині енергетично вигідніше накопичувати в зерні вуглеводи, обмежуючись лише мінімумом вмісту білків (8-12 %). Тому існує від'ємна кореляція між якістю врожаю та його кількістю.

2. Хімічний склад урожаю залежить від мінерального живлення рослин та метеорологічних умов. Існує суттєвий вплив основних чинників погоди ( сонячна радіація, тепло та волога), а також додаткових (ультрафіолетова радіація, дефіцит насичення, кількість днів з опадами влітку) на показники якості зерна озимої пшениці як у часовому, так і в географічному розрізах.

При цьому коливання показників виходу білка під впливом агрометеорологічних умов за своїм рівнем є більшим, ніж під впливом інших умов вирощування – у порівнянні з дією агротехніки у 5 разів, добрив – у три рази [1].

**Мета роботи та методи досліджень.** Мета роботи полягає в дослідженні процесу формування врожаю озимої пшениці і його якості в часі і просторі в залежності від впливу агрометеорологічних умов Полісся. Для дослідження використані матеріали багаторічних агрометеорологічних спостережень по станціях Полісся та даних лабораторних досліджень якості зерна озимої пшениці за період з 1990 по 2006 р.р.

**Результати досліджень.** Для виявлення тенденції вмісту білка в залежності від кліматичних особливостей території і агротехніки, а також для виявлення коливання цих значень в залежності від агрометеорологічних умов проведено аналіз постійної та змінної складової часового ряду вмісту білка. З цією метою були побудовані та проаналізовані графіки динаміки вмісту білка, розраховані рівняння ліній трендів для кожної із областей Полісся (табл. 1) та відхилення вмісту білка від ліній трендів. Відхилення вмісту білка від лінії трендів – це змінна складова часового ряду, обумовлена впливом метеорологічних умов.

Погода кожного конкретного року значною мірою визначає якість зерна. Загалом більш тепла, суха погода весняно-літнього періоду сприяє більшому накопиченню білка, ніж прохолодна та дощова.

Таблиця 1 - Рівняння ліній трендів вмісту білку в зерні озимої пшениці в Поліссі

Області	Рівняння ліній трендів
Волинська	$Y = -0,034x + 11,15$
Рівненська	$Y = 9,84 + 0,024x$
Житомирська	$Y = 9,85 + 0,037x$
Київська	$Y = 10,17 - 0,005x$
Чернігівська	$Y = 0,289x + 7,62$
Тернопільська	$Y = -0,027x + 12,57$

Це пов'язано з кращими умовами накопичення азоту в ґрунті та з більшим його засвоєнням в посушливих умовах. В посушливі роки, коли врожайність по області була нижче значень за трендом на 6 – 8 ц/га, вміст білка в зерні озимої пшениці був вищим на 1 – 1,5%. Навпаки, у зволожені роки, коли врожай був вище лінії тренда на 3-5 ц/га, вміст білка в зерні був нижчим, ніж за лінією тренда, на 0,5 – 1%.

Для виявлення основних закономірностей зв'язку вмісту білка в зерні з агрометеорологічними умовами досліджувався вплив на вміст білка суми опадів, температури повітря за серпень – грудень минулого та січень - липень поточного року, дефіциту насичення повітря за травень, червень поточного року, гідротермічного коефіцієнта Г.Т. Селянінова (ГТК) за період вегетації озимої пшениці та коефіцієнтів зволоження Н.В. Гулінової за травень та червень, які розраховуються за формулою

$$K_2 = W + R_5 / 0,1 \sum T_5 \quad , \quad (1)$$

де  $W$  – запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0-100 см на початок травня, якщо коефіцієнт розраховується за травень і на початок червня, якщо коефіцієнт розраховується за червень, мм;  $R_5$  – сума опадів за травень або червень;  $0,1 \sum T$  – сума температур вище 5 °C за травень або червень, °C.

За період осінньої вегетації найбільш інформативними стали опади і середня температура повітря за серпень – жовтень.

З сумою опадів вміст білка має зворотний зв'язок і характеризується коефіцієнтом кореляції - 0,53. З температурою повітря – прямий. Особливо це проявляється в жовтні в період кушіння – припинення вегетації.

Умови зимового періоду також впливають на формування властивостей зерна озимої пшениці і в подальшому на вміст білка. Температура повітря впродовж зими до -7°C і вище не впливає на якість зерна. Більш низька температура (до -17°C) в середньому за місяць сприяє покращанню якості зерна. Зв'язок характеризується коефіцієнтом кореляції - 0,51 і має зворотний характер. В зими, коли снігу буває мало,

низькі температури лютого сприяють вимерзанню. Густота рослин зменшується, площа живлення зростає і зростає вміст білка в зерні..

Весняно-літній період найбільш важливий у формуванні кількості білка. Між температурою повітря та вмістом білка за літній період існує прямий зв'язок. Коефіцієнти кореляції зв'язку вмісту білка з різними показниками наводяться в табл.2. З підвищенням температури повітря прискорюється ріст та розвиток рослин, підсилюється енергія дихання та витрата вуглеводів. В результаті цього відношення азоту до вуглеводів у вегетативних та генеративних органах збільшується. При знижених температурах спостерігається зворотна картина.

З сумою опадів вміст білка має зворотний зв'язок. Починаючи з 30 – 40 мм за місяць, подальше їх збільшення погіршує умови накопичення білка в зерні, що пов'язано з погіршенням умов нітрифікації в ґрунті та зменшенням концентрації азоту в ґрунтовому розчині через підвищену вологість ґрунту, особливо верхніх шарів.

З дефіцитом вологості повітря вміст білка в зерні має прямий зв'язок, який характеризується коефіцієнтом кореляції 0,57.

Дослідження впливу зволоження на вміст білка в зерні озимої пшениці показало, що між значеннями ГТК та вмістом білка існує зворотний зв'язок.

Таблиця 2 - Зв'язок вмісту білка (%) в зерні озимої пшениці з метеорологічними показниками

Місяці	Метеорологічні показники				
	температура повітря, °С	коефіцієнт зволоження Гулінової, $K_r$	дефіцит зволоження, мм	сума опадів, мм	ГТК
лютий	- 0,51	-	-	-	-
березень	- 0,24	-	-	- 0,46	-
квітень	- 0,24	-	-	- 0,28	-
травень	0,52	-0,57	0,57	- 0,53	- 0,55
червень	0,56	- 0,53	0,39	0,26	- 0,52
липень	0,18	0,15	0,23	0,10	- 0,24
серпень	0,21	0,13	0,18	0,10	-0,24

Найбільшу роль у формуванні кількості білка в зерні озимої пшениці відіграють гідрометеорологічні показники в період наливання зерна, коли відбувається перетікання азоту з листків та стебел в зерно та перетворення його на білкові структури.

Результати графічного та кореляційного аналізу розрахунків дозволили встановити значення основних метеорологічних величин для формування вмісту білка в зерні озимої пшениці в Поліссі. З великої кількості парних коефіцієнтів були вибрані найбільш значущі, що дозволило отримати багатофакторні рівняння з високими коефіцієнтами регресії, які можна використовувати для складання прогнозу вмісту білка в зерні озимої пшениці з різною завчасністю: тримісячною, двомісячною та місячною. Для розрахунку з тримісячною завчасністю використовувались : середня за

місяць температура лютого ( $T_2$ ) та березня ( $T_3$ ), опади за вересень ( $X_9$ ) минулого року і опади за квітень ( $X_4$ ) поточного року. Рівняння має вигляд

$$Y = 11.32 - 0,09 T_2 - 0,123 T_3 + 0,09X_9 - 0,011X_4 \quad (2)$$

Для розрахунків вмісту білка з двомісячною завчасністю одержано багатофакторне рівняння, в якому використовуються середня температура повітря за лютий ( $T_2$ ), опади за серпень минулого року ( $X_8$ ), опади за січень поточного року ( $X_1$ ), та коефіцієнт зволоження Н.В. Гулінової за травень ( $K_5$ ), дефіцит насичення за червень ( $D_6$ ). В рівняння також вводиться порядковий номер року ( $n$ ), починаючи з 1991р. Рівняння має вигляд

$$Y = 12,96 + 0,047T_2 + 0,008 X_9 + 0,008X_1 - 0,466K_5 \quad (3)$$

$$R = 0.60 ; S_y = 0,51\%$$

Для розрахунку вмісту білку в зерні озимої пшениці із завчасністю один місяць одержано рівняння

$$Y = 14.1 - 0,041T_2 - 0.020 X_8 + 0.013X_1 - 0.007 D_6 - 0.038 K_5 - 0.072 n, \quad (4)$$

$$R = 0,61 ; S_y = 1,1 .$$

Перевірка прогнозу вмісту білка, складеного за рівнянням з місячною завчасністю на незалежному матеріалі 2007 року показала, що за розрахунками за рівнянням слід було очікувати вміст білка 11,3% . Фактичний вміст білку в зерні був 11,1%. Абсолютна похибка прогнозу становила 0,2%, відносна -8% при допустимій похибці 20%.

Розрахунок рівнянь регресії для складання прогнозу вмісту білка проводився за двома варіантами: 1) з врахуванням абсолютного вмісту білка в зерні; 2) відхилень вмісту білка від тренда. В табл. 3 приводяться рівняння , розраховані з врахуванням відхилень вмісту білка від лінії тренда, та коефіцієнти множинної регресії. Рівняння також розраховані з тримісячною, двомісячною та місячною завчасністю. Для одержання цих рівнянь використовувались ті ж складові, що і для рівнянь в абсолютних одиницях.

Як видно із табл. 3 зв'язки, одержані при розв'язанні рівнянь з врахуванням відхилень вмісту білка, тісніші ніж з врахуванням абсолютного вмісту.

Таблиця 3 - Рівняння для розрахунку вмісту білка з врахуванням лінії тренда

Рівняння	R	Sy
$Y = -1,542 - 0,156T_2 + 0,124T_3 - 0,001X_9 + 0,014X_4$	0,67	0,77
$Y = -0,428 - 0,002T_2 + 0,005X_1 - 0,58K_5$	0,68	0,76
$Y = -0,579 + 0,005T_9 + 0,002T_2 + 0,009X_1 + 0,148D_6 - 0,207K_5$	0,69	0,57

Проведений кореляційний та графічний аналізи дозволили встановити кількісні значення факторів, які забезпечують високий вміст білка в зерні (більше 12 %). В табл. 4 представлені значення параметрів, які забезпечують середній вміст білка в зерні озимої пшениці, а також коливання цих параметрів.

Із табл.4 видно, що при достатньо високій амплітуді коливань агрометеорологічних показників по місяцях, діапазон значень, при яких формується високий вміст білка , досить вузький. При цьому для сум опадів та коефіцієнта

Н.В. Гулінової значення посуваються в бік зменшення.

Оптимальні середні температури літнього періоду зсунуті в бік більш високих значень в порівнянні з середніми. Найкращими для формування високого вмісту білка будуть температури вище 6 °С навесні, більше 12 °С - в період від виходу у трубку до колосіння, вище 18 °С в період від колосіння до воскової стиглості. Те ж спострігається і з дефіцитом вологості повітря.

Таблиця 4 - Оцінка агрометеорологічних умов формування зерна пшениці з вмістом білка вище 12%

Агрометеорологічний показник	Місяць	Значення параметру	Межі коливання параметру	
Середня температура	Вересень	Більше 9 °С	9-14 °С	
	Жовтень	Більше 3 °С	3 – 7 °С	
	Січень	Менше -6 °С	-2...-19 °С	
	Лютий	Менше – 7 °С	-2 ... -19 °С	
	Березень	Від-3 до -5 °С	«	
	Квітень	Більше 6 °С	5 – 11 °С	
	Травень	Більше 12 °С	11 – 18 °С	
	Червень	Більше 14 °С	13 – 20 °С	
	Липень	Більше 18 °С	18 – 23 °С	
	Серпень	Більше 18 °С	18 – 20 °С	
	Сума опадів, мм	Січень	20 – 40	10 -60
		Лютий	20 – 50	10 – 90
Березень		10 – 30	10 – 40	
Квітень		30 – 60	20 – 70	
Травень		20 – 40	15 – 100	
Червень		20 – 60	15 – 100	
Липень		20 – 60	15 – 100	
Серпень		20 – 60	15 – 100	
ГТК	Травень	0,1 – 1,0	0,1 – 2,0	
	Червень	0,5 – 2,0	0,3 – 3,0	
	Липень	0,1 – 2,0	0,1 – 3,0	
Дефіцит вологи	Травень	Більше 4 мм		
	Червень	Більше 5 мм		
Коефіцієнт Н.В.Гулінової	Травень	Менше 1,5		
	Червень	менше 1,4		

Значення агрометеорологічних факторів, оптимальних для формування якості врожаю, не є обов'язковими для одержання високого врожаю зерна. Єдиним шляхом для одночасного підвищення врожайності та якості зерна є забезпечення збалансованого та достатнього азотного живлення, особливо в період наливу зерна. При цьому в роки достатньої вологозабезпеченості вносяться більші дози добрив, в посушливі роки - зменшені дози добрив через те, що в посушливі роки за рахунок посилення нітрифікації в ґрунті накопичується значно більше азоту [3].

Кожного конкретного року в залежності від агрометеорологічних умов норми та строки внесення добрив повинні бути диференційовані.

У будь-якому випадку щорічно дози внесення добрив необхідно диференціювати в залежності від агрометеорологічних умов вирощування.

На величину врожаїв та якість зерна також впливає технологія його вирощування. Інтенсивні технології підвищують як врожайність зерна, так і його якість з врахуванням агрометеорологічних умов при інтенсифікації агротехнічних заходів.

**Висновки.** Встановлено, що вплив погодних умов на білковість зерна озимої пшениці більш значний, ніж вплив агротехнічних заходів. Мінливість показника якості збільшується із заходу Полісся до південного сходу. Одержані рівняння залежності білка від різних метеорологічних показників можуть використовуватись для складання прогнозів вмісту білка в зерні з різною завчасністю.

### Список літератури

1. Горелова Е.И., Сандлер Ж.Я. Качество зерна – второй урожай. – М.: Колос, 1984. – 221 с.
2. Левенко И.Т. Влияние факторов тепла и влаги на качество урожая озимой пшеницы // Труды УкрНИГМИ.- 1970. - Вып.94. –С.79 – 87.
3. Дегтярева Г.В. Погода, урожай и качество зерна яровой пшеницы. Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 216 с.
4. Дервянко А.Н. Методические указания по составлению прогноза показателей качества зерна озимой пшеницы в черноземной зоне СССР. – М.: Гидрометцентр СССР, 1986. – 36 с.
5. Страшный В.Н. Агрометеорологические условия и качество зерна озимой пшеницы в центрально-черноземной зоне. – Автореферат диссертации на соискание уч. степени к.г.н. – М.: Гидрометеиздат, 1977. – 25 с.
6. Строганова М.А. Математическое моделирование формирования качества урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 151 с.

#### **Влияние погодных условий на формирование качества зерна озимой пшеницы в Полесье.**

**Божко Л.Ю., Бурдейна И.В.**

*Приводятся результаты исследований влияния погодных условий Полесья на содержание белка в зерне озимой пшеницы. Установлены статистические зависимости содержания белка с основными агрометеорологическими показателями.*

**Ключевые слова:** погодные условия, озимая пшеница, качество зерна, содержание белка.

#### **Influence of weather conditions on the formation of the grain quality of winter wheat in Pelisse.**

**Bozhko L.Y., Burdeynaya I.V.**

*It is shown the results of studies of the influence of weather conditions on Pelisse protein content in grain of winter wheat. It is got the statistical dependence of protein content with the basic agrometeorological factors.*

**Keywords:** weather, winter wheat, grain quality, protein content.

## О ПОСТРОЕНИИ ЗАМКНУТОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ И РОСТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

*В работе рассматриваются вопросы развития и роста сельскохозяйственных культур. Предлагается методы расчета биологических событий: «посев», «всходы», «закладка репродуктивного органа», «цветение», «созревание». Предлагается динамический расчет роста организма растения и его органов в зависимости от напряженности факторов внешней среды. Пересмотрена и упрощена динамическая система роста органов растения, что в целом составляет динамическую модель развития и роста растения.*

**Ключевые слова:** *рост, развитие, онтогенез, время, колебания, логистическая кривая, лист, стебель, корень, колос.*

**Введение.** До настоящего времени процессы развития и роста растений изучают с различных точек зрения. В тоже время, начиная с 70–80–ых годов прошлого столетия, создаются полноценные динамические модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур, которые обеспечили расчет составляющих продукционного процесса в зависимости от состояния факторов внешней среды. В таких моделях (Тооминг Х.Г. [1], Полевой А.Н. [2], Сиротенко О.Д. [3], Полуэктов Р.А. [4] и др.) определена основная структура продукционного процесса растений, где рассматриваются процессы фотосинтеза, дыхания, роста, развития в зависимости от состояния агрометеорологических факторов. В данной работе пересматриваются вопросы развития и роста растений с точки зрения таких моделей. Таким образом, **цель** данной работы – изучение процессов развития и роста сельскохозяйственных культур. К **задачам** работы относится расчет процессов развития и роста в таких динамических моделях.

### Материалы и методы исследования.

**§1. Развитие растений.** Мы будем отождествлять развитие растений с временными процессами, проходящими в их организме. Для устойчивого описания биологических событий в организме растения (например, фазы развития, этапы органогенеза) вводят две временные шкалы: 1. Календарное (или физическое) время и 2. Биологическая ось времени. Эти две временные шкалы изменяются равномерно, только биологическая ось времени имеет свойство сжиматься или растягиваться по отношению к физической оси времени. Такое свойство биологической оси времени определяется напряженностью факторов внешней среды и генотипом растения.

Для расчета общей биологической оси времени растения, соответствующей целому организму, используются разностные уравнения [5, 6]:

$$T^{j+1} = T_{всх} + T^j + DT_{opt} \cdot U_{SR}^j, \quad 0 < T \leq 0.5 \quad (1)$$

$$T^{j+1} = T^j + \frac{DT_{opt}}{U_{SR}^j}, \quad 0.5 \leq T \leq 1 \quad (2)$$

где  $T$  – биологическая ось времени, изменяется от некоторого  $T_{сем}$  до 1, отн. ед. биологического времени, где весь онтогенез составляет одну единицу биологического времени;  $T_{сем}$  – биологическое время семян, отн. ед. биологического времени;  $T_{всх}$  – биологическое время на момент всходов, отн. ед. биологического времени;  $DT_{opt}$  – константа, максимальная скорость развития, отн. ед. биологического времени·сут<sup>-1</sup>;  $U_{SR}$  – уровень напряженности факторов внешней среды, изменяется от нуля (нулевая



биологическая активность) до единицы (оптимальная биологическая активность), отн. ед.;  $j$  – номер суток расчетного периода.

В то же время, прежде чем последовательно использовать уравнения (1) и (2), необходимо определить **момент всходов**, или точнее биологическое время всходов  $T_{всх}$ . Для этого используется итерационное уравнение [7, 8]:

$$T_{всх} = T_{сем} + DT_{opt} \cdot n^j \cdot U_{SR}^j \cdot [-\cos(2\pi \cdot T_{сем}) + 1] + \frac{1}{2} (DT_{opt})^2 \cdot (n^j)^2 \cdot (U_{SR}^j)^2 \cdot [2\pi \cdot \sin(2\pi \cdot T_{сем})] \quad (3)$$

где  $n$  – число прожитых расчетных суток, изменяется нарастающим итогом. К моменту набора константы биологического времени, соответствующую моменту всходов, итерационное число расчетных суток  $n$  покажет длительность периода посева-всходы.

Кроме агротехнического события «посев» и фенологического события «всходы» мы можем рассчитать биологическое событие «**момента заложения репродуктивного органа**» [9, 10]. Как мы предполагаем, момент заложения репродуктивного органа растения соответствует одному из решений системы двух дифференциальных уравнений, описывающих движение процессов биологического времени в организме растения [10]. Для расчета этого биологического события необходимо, чтобы выполнилось условие: интегральный показатель уровня напряженности факторов внешней среды, уменьшенный в  $2\sqrt{\pi}$  раз должен совпасть со значением биологической оси времени  $T$ , рассчитанную по уравнению (1), [10]:

$$\frac{\sum_{i=1}^n U_{SR}^i}{2\sqrt{\pi}} = T^{j=n} \quad (4)$$

Здесь, так же как и прежде, индекс  $n$  – число прожитых расчетных суток  $j$ , начиная с момента посева.

Следующее событие, которое является центральным событием в материнском организме это – «**цветение**». Для расчета этого события используется простое условие [2, 6]:

$$T^j = 0.5 \quad (5)$$

Событие «**полное созревание**» находится так же из простого условия [6, 10]:

$$T^j = 1 \quad (6)$$

Таким образом, в этом параграфе, определена биологическая ось времени (1), (2) и как кардинальные точки на ней определены моменты всходов (3), заложения репродуктивного органа (4), цветения (5), созревания (6). Даты этих событий определяются из подсчета числа итераций (числа циклов - суток) динамического расчета, начиная от даты посева. Две выделенные шкалы времени, календарное время и биологическое время, связываются между собой одним временным параметром -  $DT_{opt}$ , который присущ всему отрезку онтогенеза, начиная от посева и до созревания. Эта константа  $DT_{opt}$  будет различна для разных видов и сортов сельскохозяйственных культур, и прежде всего для раннеспелых, среднеспелых и позднеспелых сортов. В целом, считая изменение напряженности уровня факторов внешней среды непрерывной, гладкой зависимостью, мы можем отметить, что и вся непрерывная биологическая ось времени, с присущими ей кардинальными точками будет непрерывно, гладко деформироваться под воздействием факторов внешней среды.

Уровень деформации определится генотипом растения, который определяет свойства отклика культуры на состояние факторов внешней среды.

**§2. Рост растений.** Процесс изменения сухой биомассы организма растения, как целого и его структурных органов как частей от целого, доходя до клетки, мы отождествим с ростом растений, при этом структурные органы могут появляться на различных временных участках. В качестве самого простого исследования, мы будем рассматривать четыре ткани: паренхимную, сосудисто-волокнистую, всасывающую и запасную. В соответствии с этим, выделяются листья, стебли, корни и репродуктивные органы. Будем считать, что эти выделенные органы или ткани составляют всю совокупность целого организма растения.

Согласно ранним исследованиям роста растений [11] процесс изменения сухой биомассы организма и его органов не может быть произвольным. Рост растений и их органов подчиняется закону сигмоидного роста. Этот закон выражается логистической кривой роста организма и его структурных органов. Рассматривая один вид ткани как единый, взаимосвязанный, структурный орган, например паренхимную ткань – лист, этот орган так же будет подчиняться закону сигмоидного роста. Кроме этого, закону сигмоидного роста подчиняется так же и целый организм растения. Однако логистическая кривая роста целого организма будет отличаться от логистической кривой роста вегетативного, структурного органа в силу старения и отмирания данного органа после его вегетативного роста. Процесс старения и отмирания данного вегетативного органа называют еще репродуктивным периодом роста вегетативного органа. В этот период развития вегетативного органа его сухая биомасса постепенно снижается и отмирает, доходя до определенного предела.

Логистическая кривая роста всего организма растения получена в работе [12] и имеет вид

$$\mu^j = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \sin(2 \cdot \pi \cdot T^j) + T^j, \quad (7)$$

где  $\mu$  – нормированная сухая биомасса целого растения, изменяется от некоторого, малого  $\mu_0$  до 1, отн. ед.

Дифференцируя уравнение логистической кривой (7) по переменной времени мы получим изменение скорости роста целого организма растения в течение онтогенеза по отношению к биологической оси времени целого организма

$$\frac{d\mu^j}{dT} = -\cos(2 \cdot \pi \cdot T) + 1, \quad (8)$$

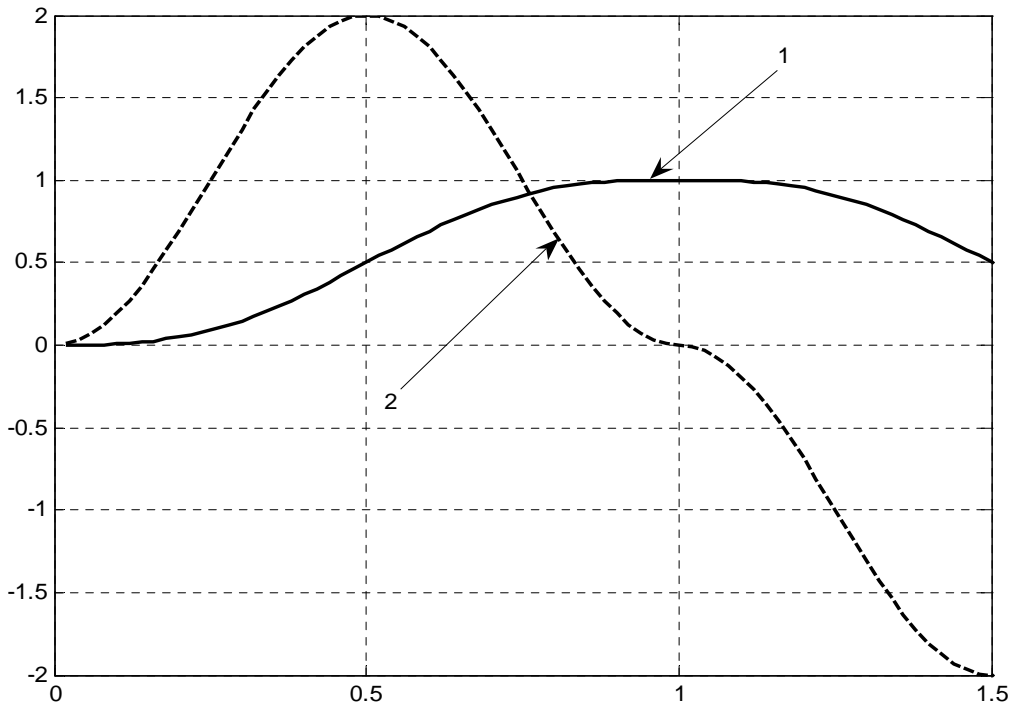
Уравнения (7) и (8) так же выражают логистическую кривую роста структурных органов в период вегетативного роста, когда идет накопление биомассы органа до своих максимальных размеров. В то же время, в процессе старения биомасса органа снижается, то есть скорость роста становится отрицательной. Тогда, умножая уравнение (8) на -1 мы получим отрицательную скорость роста органа и закономерность снижения биомассы этого органа в период старения, рис. 1.

Теперь запишем стандартную систему уравнений распределения ассимилятов по органам растения [13, 14]:

$$\begin{cases} m_L(T + \Delta T) = m_L(T) + \beta_L(T) \cdot \Delta M(T) - \omega_L(T) \cdot m_L(T) \\ m_S(T + \Delta T) = m_S(T) + \beta_S(T) \cdot \Delta M(T) - \omega_S(T) \cdot m_S(T) \\ m_R(T + \Delta T) = m_R(T) + \beta_R(T) \cdot \Delta M(T) - \omega_R(T) \cdot m_R(T) \\ m_P(T + \Delta T) = m_P(T) + \beta_P(T) \cdot \Delta M(T) + \omega_L(T) \cdot m_L(T) + \omega_S(T) \cdot m_S(T) + \omega_R(T) \cdot m_R(T), \end{cases} \quad (9)$$

где  $m_L$  – сухая масса листьев;  $m_S$  – сухая масса стеблей;  $m_R$  – сухая масса корней;  $m_P$  – сухая масса колосьев;  $\Delta M$  – прирост общей сухой массы растения за единицу временного шага;  $\beta_i$  – функции вегетативного роста органов растения ( $i = L, S, R, P$ );  $\omega_y$  – функции репродуктивного роста органов растения ( $y = L, S, R$ );  $T$  – общая временная ось;  $\Delta T$  – временной шаг; индекс  $L$  – листья, индекс  $S$  – стебли, индекс  $R$  – корни, индекс  $P$  – колосья.

$$\mu_i, \frac{d\mu_i}{dT_i}, \text{ отн. ед.}$$



Собственная временная ось  $i$ -го органа,  $T_i$ , отн. ед.

Рис. 1 – Логистическая кривая роста  $i$ -го вегетативного органа с учетом периода старения (1) и скорость роста этого же органа за тот же период по отношению к собственной временной оси (2).

Исходя из этой системы ростовых уравнений, существенную роль в ней играют функции распределения ассимилятов: функции периода вегетативного роста  $\beta_i$  и функции периода репродуктивного роста  $\omega_j$ . Функции периода вегетативного роста  $\beta_i$  показывают какая доля ассимилятов из всей совокупности вновь образовавшихся ассимилятов в целом организме растения направляются на рост того либо иного органа в данный момент времени онтогенеза  $T$ . Функции периода репродуктивного роста  $\omega_j$  показывают какая часть всей массы данного вегетативного органа перетекает в репродуктивный (запасующий) орган в течении данного временного шага роста  $\Delta T$ .

Нам остается вложить уравнение скорости роста органа, рис. 1, в эту систему уравнений распределения ассимилятов по органам растения, при этом считая, что логистическая кривая роста целого организма растения подчиняется закономерности, выраженной уравнением (8). Будем рассматривать систему роста органов (9) по частям,

то есть для каждого динамического слагаемого. Так, рассмотрим динамические слагаемые, характеризующие вегетативный рост

$$\beta_L(T) \cdot \Delta M(T); \beta_S(T) \cdot \Delta M(T); \beta_R(T) \cdot \Delta M(T); \beta_P(T) \cdot \Delta M(T). \quad (10)$$

С учетом работ [14, 15], каждое слагаемое (10) будет иметь вид:

$$\frac{[-\cos(2\pi \cdot \tau_i) + 1] \cdot A_i}{[-\cos(2\pi \cdot T) + 1]} \cdot DM_{\max} \cdot U_{SR}^j \cdot [-\cos(2\pi \cdot T) + 1], \quad (11)$$

или

$$\beta_i(T) \cdot \Delta M(T) = DM_{\max} \cdot A_i \cdot U_{SR}^j \cdot [-\cos(2\pi \cdot \tau_i) + 1], \quad \tau_0 \leq \tau_i \leq 1, \quad (12)$$

где  $DM_{\max}$  – максимальная скорость роста целого организма растения в оптимальных условиях внешней среды,  $\Gamma_{с.в.} \cdot \text{сут}^{-1} \cdot \text{растение}^{-1}$ ;  $A$  – амплитуда колебаний сухой биомассы  $i$ -го органа в онтогенезе, находится как соотношение биомасс всех органов в период их максимального роста, отн. ед.;  $\tau$  – собственная временная ось  $i$ -го органа, отн. ед.

Таким образом, уравнение (12) описывает вегетативный рост данного  $i$ -го органа по отношению к собственной временной шкале этого органа до начала старения:  $\tau_0 \leq \tau_i \leq 1$ . В то же время, процесс старения начинается с момента завершения вегетативного роста органа, то есть при условии  $\tau_i > 1$  и описывается динамическими слагаемыми

$$\omega_L(T) \cdot m_L(T); \omega_S(T) \cdot m_S(T); \omega_R(T) \cdot m_R(T). \quad (13)$$

В соответствии с определением каждого динамического слагаемого в период репродуктивного роста мы можем записать их явную форму. При этом, мы считаем, что процесс старения присущ целому организму растения:

$$\omega_y(\tau_y) \cdot m_L(\tau_y) = DM_{\max} \cdot \frac{DT_{opt}}{U_{SR}^j} k_y \cdot (-1) \cdot [-\cos(2\pi \cdot \tau_y) + 1] \cdot A_y, \quad 1 < \tau_y, \quad (14)$$

где  $k$  – коэффициент преобразования общей временной оси  $T$  в собственную ось времени роста данного  $y$ -го структурного вегетативного органа (см. [14]).

Теперь необходимо вернуться к системе уравнений роста всей совокупности органов растения (9) и с учетом знаков каждого динамического слагаемого и значений собственной временной оси органа подставить каждое динамическое слагаемое в эту систему уравнений.

**§3. Уровень напряженности факторов внешней среды.** К факторам внешней среды мы отнесем фактор тепла, фактор влаги, фактор света, фактор минерального питания растений. Именно эти факторы являются наиболее подвижными и определяют колебания развития и роста сельскохозяйственных культур. Мы коротко дадим основную сводку определения уровня напряженности каждого фактора и их совокупного влияния на процессы развития и роста растений. Все представленные взаимосвязи получены методами экспериментальных наблюдений для той либо иной культуры. Здесь следует отметить, что определение уровня напряженности факторов внешней среды, или отклика культуры на движение факторов внешней среды является уникальным для каждого вида, сорта культуры. Так, для каждой культуры существует своя зона толерантности диапазона изменения напряженности того либо иного фактора и своя точка оптимума.

Фактор тепла

$$\psi = 1 - a_t \cdot t_{opt}^2 (t_n - 1)^2. \quad (15)$$

Фактор влаги

$$\gamma = 1 - a_w \cdot W_{opt}^2 \cdot (W_n - 1)^2. \quad (16)$$

Фактор света

$$I = 1 - \exp(-C \cdot I_{opt} \cdot I_n) \quad (17)$$

Фактор минерального питания [16, 17]:

$$\alpha_h = \frac{Y_{NPK}}{Y_{NPK \max}}, \quad (18)$$

$$Y_{NPK} = \frac{4C_{h \max}}{S_h^0 \cdot k_h^p} \left[ -\frac{1}{3} (k_h^u)^2 \cdot X_h^3 + \left( \frac{1}{2} k_h^u \cdot k_h^p \cdot S_h^0 - k_h^u \cdot k_h^p \cdot S_h \right) \cdot X_h^2 + \right. \\ \left. + \left( k_h^p \cdot k_h^p \cdot S_h^0 \cdot S_h - (k_h^p \cdot S_h)^2 \right) \cdot X_h \right] + \frac{k_k^p \cdot S_k}{k_k}, \quad (19)$$

где  $I_n$ ,  $t_n$ ,  $W_n$  – нормированные значения потока ФАР, температуры воздуха, запасов продуктивной влаги в почве, отн. ед.;  $I_{opt}$ ,  $t_{opt}$ ,  $W_{opt}$  – соответственно оптимальные значения потока ФАР ( $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ), температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ), запасов продуктивной влаги в почве (мм) для величины скорости накопления биомассы либо для общего газообмена культуры;  $C$ ,  $a_t$ ,  $a_w$  – параметры уравнений: определяют биологические особенности отклика скорости роста биомассы на влияние факторов внешней среды;  $X_h$  – величина вносимой дозы удобрения данного вида ( $h=N, P, K$ ), кг действующего вещества на га;  $S_h$  – содержание данного элемента питательного вещества в почве перед внесением удобрений ( $h=N, P, K$ ), кг действ. в-ва  $\cdot \text{га}^{-1}$ ;  $S_h^0$  – оптимальная величина содержания данного элемента питательного вещества в почве для данной культуры ( $h=N, P, K$ ), кг действ. в-ва  $\cdot \text{га}^{-1}$ ;  $k_h^u$  – коэффициент использования данного питательного вещества из удобрений ( $h=N, P, K$ ), отн. ед.;  $k_h^p$  – коэффициент использования данного питательного вещества из почвы ( $h=N, P, K$ ), отн. ед.;  $k_h$  – коэффициент содержания данного питательного вещества в общей биомассе растений ( $h=N, P, K$ ), отн. ед.;  $C_{h \max}$  – максимальная отзывчивость данной культуры на внесение минеральных удобрений ( $h=N, P, K$ ),  $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$  действ. в-ва.

Окончательно, уровень напряженности факторов внешней среды определится мультипликативным образом на данный момент развития и роста:

$$U_{SR}^j = \psi \cdot \gamma \cdot I \cdot \alpha_h \quad (20)$$

**Результаты исследования и их анализ.** Мы говорим о замкнутой модели развития и роста растений. Такая постановка вопроса обеспечивается наличием двух констант:  $DT_{opt}$ ,  $DM_{max}$ , которые характеризуют скорость развития культуры и скорость роста культуры. Кроме этого уровень напряженности факторов внешней среды участвует в расчетах, как развития, так и роста растений. В тоже время предложенная динамическая модель не решает полноценно вопросы развития и роста растений, поскольку в этой модели рассматривается всего четыре ткани или органа.

**Выводы.** Предложена динамическая модель развития и роста сельскохозяйственных культур.

### Список литературы

1. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Ленинград. Гидрометеоиздат. - 1984. – 264 С.
2. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Ленинград. Гидрометеоиздат. - 1983. – 175 С.
3. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – Ленинград. Гидрометеоиздат. – 1981. - 167 С.

4. Полуэктов Р.А. Динамические модели агроэкосистемы. – Ленинград. Гидрометеиздат. - 1991. – 312 С.
5. Наумов М.М. Рост растений и биологическое время. // Вісник ОДЕКУ. - 2005. – Вип. 1. – С.72 - 78.
6. Наумов М.М. Рост растений и биологическое время. Результаты расчетов. // Вісник ОДЕКУ. – 2006. - Вип. 2. – С. 101 – 107.
7. Наумов М.М. Период посев – всходы растений и биологическое время. // Український гідрометеорологічний журнал. – 2006. - № 1. - С. 135 – 139.
8. Наумов М.М. Период посев – всходы растений и биологическое время. Результаты расчетов. // Український гідрометеорологічний журнал. – 2007. - № 2. - С. 149 – 155.
9. Наумов М.М. Биологическое время растения подсолнечника как грубая динамическая система. // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2000. - Вип. 40. - С. 64 – 73.
10. Наумов М.М. О существовании грубой динамической системы биологического времени у растений на примере культуры подсолнечника. // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2001. - Вип. 43. - С. 136 – 146.
11. Обручева Н.В., Ковалев А.Г. О физиологической интерпретации сигмоидных кривых роста органов растений. // Физиология растений. – 1979. - Т. 26. - Вып. 5. - С. 1029 – 1043.
12. Наумов М.М. Векторный характер биологического времени растений. Циркуляція біологического времени. // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2005. - Вип. 49. - С. 328 – 339.
13. Росс Ю.К. К математическому описанию роста растений. // ДАН СССР. – 1966 - Т. 171. № 2. – С. 481 – 483.
14. Наумов М.М. Теоретический метод определения ростовых функций органов растений. // Український гідрометеорологічний журнал. – 2010. - № 6. - С. 148 – 155.
15. Наумов М.М. Модель роста общей биомассы сельскохозяйственных культур, построенная на основе логистической кривой. // Вісник ОДЕКУ. – 2010. - Вип. 9. - С. 63 – 72.
16. Наумов М.М. Учет уровня минерального питания растений в динамических моделях продукционного процесса. // Вісник ОДЕКУ. – 2006. - Вип. 3. - С. 114 – 123.
17. Раденович Б. Влияние минерального питания на продолжительность этапов органогенеза подсолнечника в условиях орошения. – В кн.: VII Международная конференция по подсолнечнику. Тезисы докладов. 27 июня – 3 июля 1976. - С. 106 – 108.

#### **Про будовання замкненої динамічної моделі розвитку і росту сільськогосподарських культур**

**Наумов М.М.**

*В роботі розглядаються питання розвитку і росту сільськогосподарських культур. Пропонуються методи розрахунку біологічних подій: «посів», «сходи», «закладка репродуктивного органу», «цвітіння», «дозрівання». Пропонується динамічний розрахунок росту організму рослини і його органів залежно від напруженості чинників зовнішнього середовища. Переглянута і спрощена динамічна система росту органів рослини, що в цілому складає динамічну модель розвитку і росту рослини.*

**Ключові слова:** *рост, розвиток, онтогенез, час, коливання, логістична крива, лист, стебло, корінь, колос.*

#### **About constructing a preliminary reserved dynamic model of development and growth of agricultural cultures. Naumov M.M.**

*In work the questions of development and growth of agricultural cultures are examined. It is offered methods of computation of biological events: «sowing», «shoots», «book-mark of reproductive organ», «flowering», «ripening». Dynamic computation of growth of organism of plant and his organs depending on tension of factors of external environment is offered. It is revised and simplified the dynamic system of growth of organs of plant, that on the whole makes the dynamic model of development and growth of plant.*

**Keywords:** *growth, development, ontogenesis, time, vibrations, logistic curve, leave, stem, root, ear.*

## ДЕТАЛЬНА ОЦІНКА АГРОЕКОЛОГІЧНИХ РЕСУРСІВ В УМОВАХ НЕОДНОРІДНОЇ ПІДСТИЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ НА ПРИКЛАДІ САРАТСЬКОГО РАЙОНУ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ

*Представлено результати картографічного аналізу (М 1:500000) підстильної поверхні (форм і елементів рельєфу, ґрунтового покриву) території Саратського району Одеської області. Виконано розрахунки та проведена оцінка просторового розподілу агроекологічних ресурсів і комплексне агроекологічне середньомасштабне районування досліджуваної території. Обґрунтовано оптимізаційні схеми можливого та доцільного розміщення сільськогосподарських культур на основі детального врахування агроекологічних ресурсів території.*

**Ключові слова:** підстильна поверхня, агрокліматичні і агроекологічні ресурси, просторова мінливість агроекологічних ресурсів, комплексне середньомасштабне агроекологічне районування, оптимізація розміщення сільськогосподарських культур.

**Постановка проблеми.** Необхідною умовою розробки системи раціонального природокористування є детальна оцінка природних ресурсів. В сільськогосподарській галузі до складу природних ресурсів відносять агроекологічні ресурси, й насамперед, ґрунтово-кліматичні. В поточний період при вирішенні вказаних задач використовується інформація про ґрунтово-кліматичні умови, узагальнена по території різного рівня генералізації. Проте відомо, що їм притаманна значна просторова мінливість під впливом фізико-географічних умов та мезо- і мікромасштабних циркуляційних процесів. Абсолютні величини такої мінливості в межах окремих територіальних ділянок можуть в декілька разів перевищувати зональний розподіл ресурсів. Таким чином, при оцінці агроекологічних ресурсів ефективним підходом є детальний аналіз ресурсів з врахуванням усього спектра їх просторового розподілу: макро-, мезо- і мікро.

**Метою** досліджень є оцінка просторового перерозподілу агроекологічних умов на території Саратського району Одеської області.

**Результати досліджень.** Саратський район розташований на південному заході Одеської області і межує на сході з Білгород-Дністровським, на півдні - Татарбунарським, на заході - Арцизьким і Тарутинським районами, а на півночі – з Республікою Молдова. Територія району розташована в степовій зоні, що визначає його агровиробничий потенціал. Основними напрямками сільськогосподарського виробництва є рільництво, тваринництво та виноградарство, а на землях в долинах річок Джалар, Чилігидер та Когильник, Сарата та Бабей, Хаджидер та Каплань переважає овочеводство. Загальна площа Саратського району становить 147450га, із них: сільськогосподарських угідь – 132240 га, в тому числі: рілля - 105033 га; багаторічні насадження – 8630 га; вигінно - пасовищні землі – 17270 га; сіножать – 1307 га.

Відмітки абсолютних висот Саратського району змінюються від 60 до 200 м, а відносне перевищення висот змінюється від 20-30 до 100-120 м і згідно із класифікацією Інституту географії СРСР [2] на цій території присутні 3 типи рельєфу: рівнинний, пагорбкуватий і горбистий, площа яких співвідноситься як 1:1:1. Рельєф району характеризується наявністю рівнинних широких вододільних плато між балкою Курудера і річками Хаджидер та Сарата, яке в південній частині перізається неглибокими луговинами та балками, а між річками Чилігидер, Джалар та Сарата – наявна густа мережа балок та луговин, які розділяють місцевість на вузькі вододіли.

У ґрунтовому покриві Саратовського району переважають чорноземні ґрунти, які розвивалися під степовою і різнотравною рослинністю. Усього ж він представлений 13-ма агропромисловими групами, які мають окремі підгрупи: чорноземи звичайні міцелярно-карбонатні на лесових породах, чорноземи південні на лесах, чорноземи переважно щепенуваті на елювії карбонатних порід, чорноземи на щільних глинах, чорноземи солонцюваті переважно на лесових породах та чорноземи глинисто-піщані і супіщані ґрунти. Незначні площі зайняті лучно-чорноземними ґрунтами переважно на лесовидних породах і на делювіальних та алювіальних відкладах та лучно-болотними ґрунтами. Зустрічаються солонці, солончаки і дернові ґрунти. За гранулометричним складом на досліджуваній території поширені як піщані, глеєво-піщані, супіщані, так і суглинкові (від легко до важкосуглинкових). Така пістрявість ґрунтового покриву обумовлює його різну агропромислову цінність і, у зв'язку із різними фізико-хімічними властивостями, визначає особливості формування теплового та водного режиму.

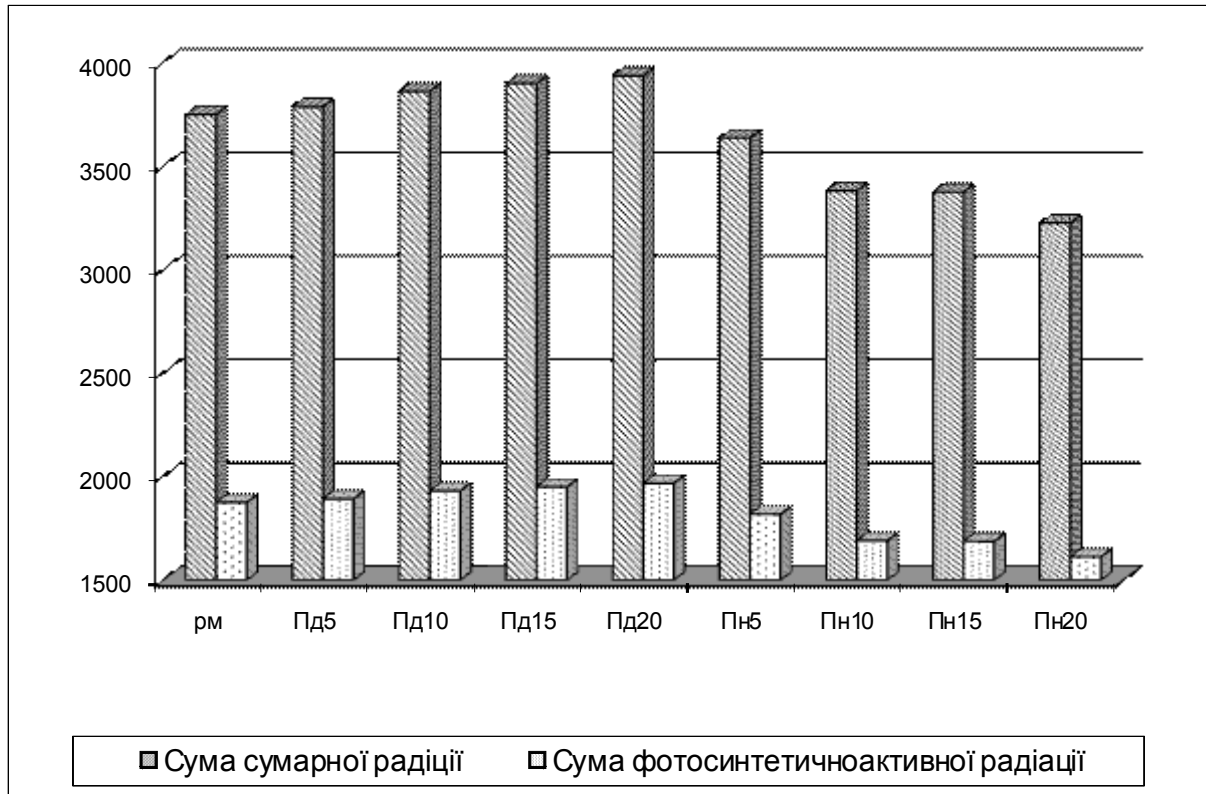
Згідно із агрокліматичним районуванням Одеської області [1] виділено 4 мезорайони, які відрізняються за умовами світло-, тепло- та вологозабезпеченості, умовами зимового і перехідних періодів. Саратовський район входить до третього та четвертого агрокліматичних районів, для яких тривалість періоду з температурами вище 5 і 10 °С становить відповідно 220-240 і 175-185 днів. Сума температур за ці періоди становить 3400-3800 і 3100-3300 °С, сума опадів - 290-310 і 230-250 мм, а ГТК – 0,7-0,9. Середній із абсолютних мінімумів температури повітря знижується до -17, -19 °С.

Представлена агрокліматична інформація характеризує території, які відповідають місцезонам метеостанцій. Під впливом розчленованого рельєфу (різних форм рельєфу, експозиції та крутизни схилів) спостерігається перерозподіл величин кліматичних показників. Так, наприклад, на південні схили на усіх широтах та впродовж року надходить найбільша, а на північні схили - найменша кількість сонячної радіації ( $\Sigma Q$ ). Навіть у червні стрімкі північні схили отримують приблизно 80% від величини сумарної радіації, яка надходить на горизонтальну поверхню. Весною і восени на цих схилах повсюдно спостерігається значний недобір сонячної радіації порівняно з відкритим рівнинним місцем. На південно – західних, південно – східних, північно – західних та північно – східних схилах кількість радіації близька до кількості радіації, яка надходить на горизонтальну поверхню. Механізм формування мікрокліматичної різниці показників радіаційних ресурсів обумовлений енергетичним фактором і пов'язаний з різницею в надходженні сонячного тепла на по різному орієнтовані поверхні. Для Саратовського району (приблизно 46°півн.ш.) за допомогою перехідних коефіцієнтів [2, 5-8] виконано розрахунки просторової мінливості середніх багаторічних величин сум сумарної ( $\Sigma Q$ ) і фотосинтетично активної радіації ( $\Sigma Q_f$ ) для схилів різної експозиції і крутизни, які обумовлюють просторовий перерозподіл їх величин, усього для восьми місцезонах (рис.1). В межах району  $\Sigma Q$  змінюється від 3070-3225 мДж·м<sup>2</sup> на північних схилах крутизною 20° до 3727-3937 мДж·м<sup>2</sup> – на південних схилах тієї ж крутизни за 3200-3400 мДж·м<sup>2</sup> на рівному місці. Діапазон мінливості  $\Sigma Q$  становить близько 650 мДж·м<sup>2</sup>, а  $\Sigma Q_f$  - 325 мДж·м<sup>2</sup>. Оцінка просторового перерозподілу теплових ресурсів території виконана за показником сум температур за беззаморозковий період. Саме цей показник, поряд із сумами денних й нічних температур, характеризується значною мінливістю під впливом елементів розчленованого рельєфу і пістрявості ґрунтового покриву, на відміну від звичайних сум активних температур, метод розрахунку яких базується на осередненні строкових величин впродовж доби. За рахунок різниці у датах припинення весняних і наступання



осінніх заморозків змінюється тривалість беззаморозкового періоду і, як наслідок, величина сум температур за беззаморозковий період. На відміну від радіаційних ресурсів, механізм просторового перерозподілу сум температур за беззаморозковий період пов'язаний з динамічними факторами і залежить від умов турбулентності і стокових процесів. Тому мінливість його величин обумовлена не експозицією і крутизною схилів, а формою рельєфу, відносним перевищенням висот місцевості і місцеположенням на схилі [ 4-6 ].

$$\Sigma Q, \Sigma Q_f, \text{ мДж} \cdot \text{м}^2.$$



$\Sigma Q, \Sigma Q_f$  - середні багаторічні величини сум сумарної радіації та денної суми фотосинтетично активної радіації. Місцеположення: рм – рівне місце, Пд і Пн – південні і північні експозиції схилів, 5, 10, 15 і 20 – крутизна схилів.

Рис. 1- Оцінка просторової мінливості радіаційних ресурсів в Саратовському районі.

Спостерігається така закономірність. Весною найраніше припиняються заморозки на вододільних плато, верховинах горбів та верхніх частинах схилів, а пізніше – в нижніх частинах схилів, на дні вузьких замкнених або звивистих долин та улоговинах. Для цих же місцеположень простежується зворотна послідовність у датах осінніх заморозків. Як наслідок, найбільша тривалість беззаморозкового періоду і сум за цей період буде спостерігатися на опуклих формах рельєфу та верхніх частинах схилу, а найменша - в нижніх частинах схилів, дні вузьких замкнених або звивистих долин та улоговинах.

На досліджуваній території сума температур повітря за беззаморозковий період по території змінюється від 2900 до 3200-3400 °С (табл.1). Найвищі величини сум температур спостерігаються на вершинах, верхніх і середніх частинах крутих схилів з відносним перевищенням висот ( $\Delta H, \text{ м}$ ) >50м. Найгірші умови теплозабезпеченості

спостерігаються на дні і в нижніх частинах схилів нешироких звивистих замкнених долин та в нижніх частинах схилів вузьких долин зі слабким нахилом.

Важливою складовою агроекологічних ресурсів, особливо для слабкопосушливої і посушливої зон зволоження, які поширені на досліджуваній території, є ресурси вологи. Як встановлено численними дослідженнями, саме ресурси вологи відрізняються значною просторовою мінливістю під впливом неоднорідностей підстильної поверхні. При чому, механізм їх просторового перерозподілу обумовлений як енергетичними, так і динамічними факторами. Тому кількісна оцінка ресурсів залежить від типу і форм рельєфу, елементів рельєфу (експозиція і крутизна схилів, місцеположення на схилі), а також типу і гранулометричного складу ґрунту, які відрізняються за вологоємністю та вологопровідністю.

Таблиця 1 - Просторова мінливість теплових ресурсів на території Саратського району

№ п/п	Місце розташування	$\Sigma T_{б/п}, ^\circ C$
1	Рівне місце, середні частини плоских схилів	3100-3200
2	Вершини, верхні і середні частини крутих схилів (відносна висота $\Delta H > 50m$ )	3300-3400
3	Вершини і верхні частини плоских схилів (відносна висота $\Delta H < 50m$ )	3200-3300
4	Рівнини, плоскі вершини, середні частини дна широких відкритих долин	3100-3200
5	Середні частини пологих схилів (крутизна $3-10^\circ$ )	3100-3200
6	Дно і нижні частини схилів вузьких долин із значним нахилом вздовж осі	3250-3300
8	Дно і нижні частини схилів вузьких долин з слабким нахилом	2900-3000
9	Дно і нижні частини схилів нешироких звивистих замкнених долин	2900-2950

Примітка.  $\Sigma T_{б/п}$  - суми температур вище  $10^\circ C$  за беззаморозковий період.

Згідно з дослідженнями О. П. Федосєєва, найбільша різниця запасів вологи у ґрунті в залежності від елементів рельєфу спостерігається весною. Але дослідження О. М. Романової [8] показали, що характер мінливості зволоження за елементами рельєфу в різних зонах зволоження набагато складніший.

До основних показників зволоження традиційно відноситься кількість опадів. Цей показник дуже добре відбиває макро- та мезомасштабну просторову мінливість умов зволоження, які обумовлені великомасштабними циркуляційними процесами і типом рельєфу, але майже не змінюються на незначних площах. У зв'язку з цим не може бути надійним для поставленої задачі й такий показник, як гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК). Найбільш детальні дослідження мікрокліматичної мінливості виконано для таких показників, як випаровування (E), випаровуваність

( $E_0$ ) та запасів продуктивної вологи у на півметровому шарі ґрунту ( $W$ ) [2,8]. Проте найкращим показником зволоження територій з врахуванням його просторової мінливості може бути величина  $\bar{W} | W_{HB}$ , яка характеризує відношення середніх за теплий період запасів вологи у ґрунті до запасів вологи при найменшій польовій вологоємності.

Для території Саратського району виконано розрахунки  $\bar{W} | W_{HB}$ , які надалі об'єднано за формою рельєфу, експозицією та крутизною схилів у сім груп (табл.2).

Таблиця 2 - Просторовий перерозподіл ресурсів вологи у Саратському районі

№ п/п	Місцеположення	$\bar{W}   W_{HB}$	$K_w$
1	Рівне місце	0,60 - 0,75	1,0
2	Вододіл, верхня частина схилів крутизною $> 9^0$	0,36 - 0,45	0,6
3	Середина північного та північно - східного крутого схилу	0,42 - 0,52	0,7
4	Середина південного та південно- західного крутого схилу	0,39- 0,49	0,65
5	Нижня частина північного та північно - східного крутого схилу	0,90 - 1,12	1,5
6	Нижня частина південного та південно-західного схилу	0,75 - 0, 93	1,25
7	Дно долин	1,05 – 1,31	1,75

Величина  $\bar{W} | W_{HB}$  змінюється від 0,36-0,45 на вододільних просторах та верхніх частинах крутих південних і південно-західних схилах до 1,05-1,31 на дні долин та нижніх частинах північних і північно-східних схилах. Для кожної із груп місцеположень визначено коефіцієнт  $K_w$  - мікрокліматичний параметр просторової мінливості запасів продуктивної вологи у ґрунті  $(\bar{W} | W_{HB})_{сх} : (\bar{W} | W_{HB})_{рм}$ , який змінюється від 0,6 до 1,75.

Величина середнього із абсолютних мінімумів температури повітря, як основного показника морозонебезпечності температури взимку, змінюється від -15 до -22,5 °С, а в окремі роки (1 раз в 10 років) – від -17,5 до -25°С. Дати весняних і осінніх заморозків можливі відповідно від 1-5 до 20-31 квітня і від 1-5 жовтня до 1-5 листопада, тривалість беззаморозкового періоду змінюється від 155-175 до 200-220 днів. Таким чином, в межах одного адміністративного району діапазон мінливості середнього із мінімальних температур повітря взимку становить більше 5 °С, дати заморозків можуть відрізнятися в межах одного місяця, а тривалість беззаморозкового періоду – до 40 днів.

На основі проведеного геоморфологічного аналізу та аналізу ґрунтового покриву виконано комплексне середньомасштабне районування агроекологічних ресурсів території Саратського району Одеської області (М 1500000). На рис.2 представлено карту району, на якій виділено 5 мікрорайонів за згрупованими місцеположеннями, що відрізняються за величиною комплексу агроекологічних ресурсів. За допомогою карти та легенди до неї, представленої в табл.3, можна з точністю не менше 50 м визначити величину кожного із показників.

Результати комплексного районування дозволяють виконати площову оцінку різних несприятливих агроекологічних умов. Так наприклад, на основі аналізу форм та елементів

рельєфу виявлено, що на території близько 18003 га поширені слабкозмиті ґрунти і 2492 га (1,69%) – намиті. У цілому еродовані ґрунти поширені на 23 % площі району.

Аналогічний аналіз виконано за умовами морозонебезпечності територій для сільськогосподарського виробництва. Так наприклад, площа мікрорайону, якому притаманний підвищений ризик мінімальних температур взимку (нижче  $-22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) становить 25066 га або 17,43 % від загальної площі), а на площі близько 10321 га можливе зниження температур нижче  $-25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Таким чином загальна площа земель зі значною морозонебезпечністю досягає в районі майже 25 % від його загальної площі - 35387 га.

Виконана детальна оцінка агроєкологічних ресурсів з врахуванням їх просторового перерозподілу в умовах розчленованого рельєфу дозволяє підійти до вирішення задач оптимізації розміщення сільськогосподарських культур.

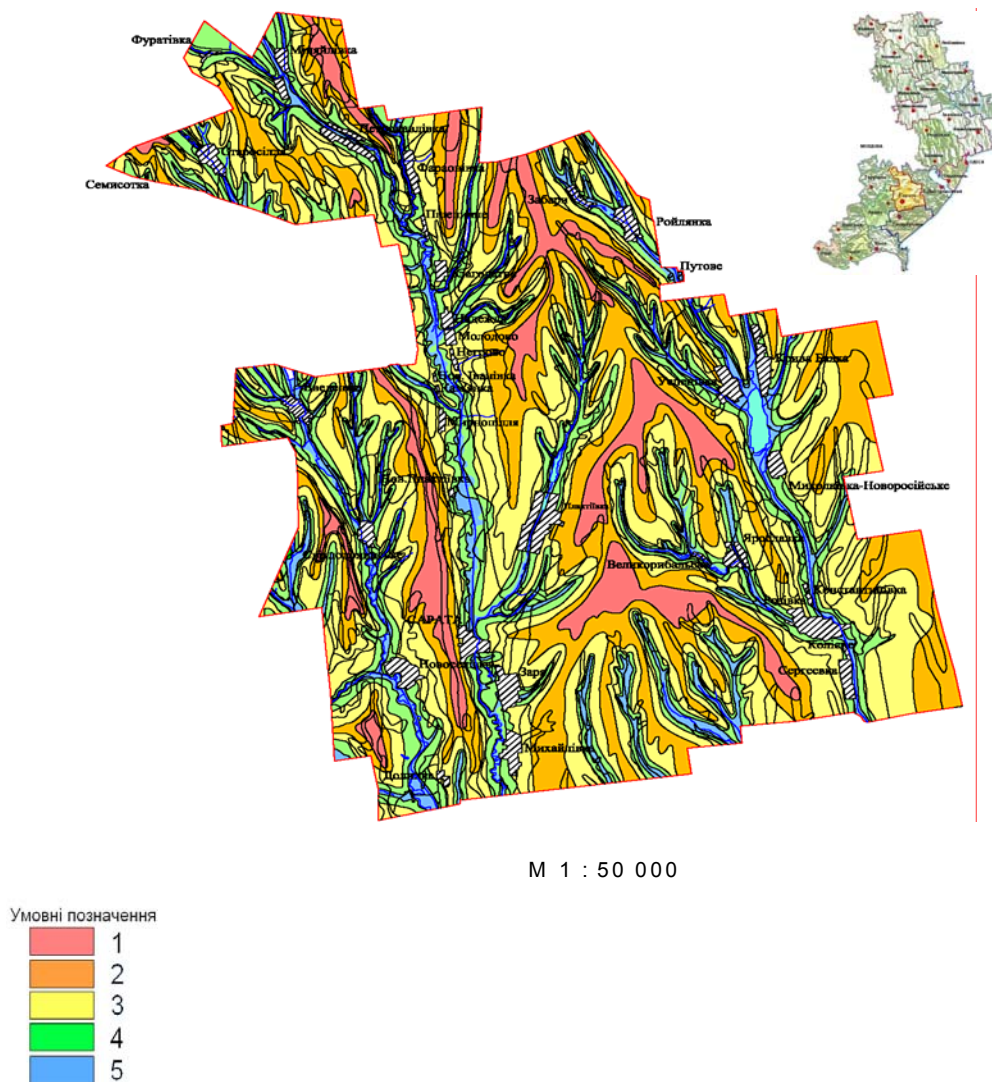


Рис. 2. - Комплексна мезомасштабна карта агрокліматичних ресурсів на території Саратського району Одеської області (Легенда до карти представлена в табл. 3).

Основними засадами для реалізації такого роду задач є вивчення зональної системи розміщення традиційних груп культур й надалі, на основі деталізації агроєкологічних ресурсів з врахуванням їх просторового перерозподілу в умовах

Таблиця 3 - Агроекологічне районування території Саратського району Одеської області

Мікро-райони	Місцеположення	Морозонебезпечність, (Тмин), °С		Теплові ресурси, $(\sum T_{\delta/n} \geq 10^{\circ} \text{С})$	Сума ФАР $(\sum Qf)$ , мДж·м <sup>2</sup>	$\overline{W / W_{нв}}$ , відн.вел.	Kw, відн. вел.
		50 %	10%				
1	Вершини горбів, вододільні простори	> -15,0	> - 17,5	>3350	1650-1750	0,45-0,55	0,75
2	Верхні частини схилів	-15,0... -17,5	-17,5... -20,0	3250-3350	1625-1725	0,50-0,60	0,85
3	Рівнини, середні частини пласких схилів	-17,5 ... -20,0	-20,0... -22,5	3150-3250	1600-1700	0,60-0,75	1,0
4	Нижні частини схилів	-20,0... -22,5	-22,5... -25,0	3000-3200	1550-1650	0,75-0,95	1,25
5	Дно долин	< -22,5	< -25,0	< 3000	1450-1550	0,90-1,00	1,5

розчленованого рельєфу та пістрявості ґрунтового покриву виконується оптимізація розміщення. Необхідною і достатньою умовою оптимізації розміщення сільськогосподарських культур є карти агроекологічних ресурсів території, особливо середньо- та великомасштабні комплексні або синтетичні карти. В межах адміністративного району оптимізація розміщення культур може бути виконана на основі карт у масштабі 1:25000 – 1:50000, яка й була складена.

Аналіз отриманих результатів агроекологічного районування території дозволяє виконувати дослідження з оптимізації розміщення культур стосовно до площ в межах 3-5 га. Так, на території адміністративного Саратського району Одеської області згідно із зональною системою рекомендованих культур можна рекомендувати як можливе, так і оптимальне розміщення даних культур по мікрорайонах, виділених за комплексом агроекологічних ресурсів. Наприклад, в 1-му мікрорайоні можна розміщати такий перелік культур: озима пшениця, ячмінь, овес, кукурудза, просо, цукровий буряк, картопля, овочеві культури та багаторічні трави. В 2-му мікрорайоні можливо вирощувати виноград, плодові та ягідні культури, а в 3-му мікрорайоні можливе розміщення таких культур, як і в 1-му. В 4-му мікрорайоні можливе вирощування плодових, ягідних культур та багаторічних трав, а в 5-му, найменш сприятливому за агроекологічними умовами, мікрорайоні - тільки морозостійку групу овочевих та багаторічні трави.

Таблиця 4 - Оптимізація розміщення сільськогосподарських культур

Мікро-райони	Місцеположення	Сільськогосподарські культури
1	Вершини горбів, вододільні простори	Кукурудза, просо, сорго, ячмінь, теплолюбна група овочевих культур
2	Верхні частини схилів	Виноград, теплолюбна група плодових та ягідних культур
3	Рівнини, середні частини пласких схилів	Озима пшениця, ячмінь, овес, цукровий буряк, картопля
4	Нижні частини схилів	Холодостійка група плодових та ягідних культур, багаторічні трави
5	Дно долин	Холодостійка група овочевих культур та багаторічні трави

**Висновки.** На основі виконаної детальної оцінки агроекологічних ресурсів та їх середньомасштабного районування надана площева оцінка земель із несприятливими агроекологічними умовами та розроблені рекомендації щодо оптимізації розміщення сільськогосподарських культур в межах окремого адміністративного (Саратського) району Одеської області.

## Список літератури

1. Атлас Одеської області. – Одеса: ХОРС, 2002. – с. 36.
2. Міщенко З.А. Мікрокліматологія: Навчальний посібник /З.А. Міщенко, Г.В.Ляшенко. – К: КНТ, 2007. – 336с.
3. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге./А.А Роде.- Т. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. -663с.
4. Микроклимат СССР // Под ред. И. А. Гольцберг – Л. Гидрометеиздат, 1967. – 286с.
5. Мищенко З. А. Биоклимат дня и ночи /З.А. Мищенко – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 280с.
6. Ляшенко Г. В. Методика оцінки агрокліматичних ресурсів та їх картографування з урахуванням мікроклімату./ Г. В. Ляшенко. – Одеса, ННЦ «ІВіВ ім. В. Є. Таїрова», 2009.-62с.
7. Голубова Т. А. Микроклиматические изменения суммарной и фотосинтетически активной радиации на склонах / Т. А. Голубова, З. А. Мищенко, Г. Б. Пигольцина// Труды ГГО. – Л.: Гидрометиздат, 1977. – Вып 385. – С. 3-12.
8. Романова Е.Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата./ Е. Н. Романова – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 279 с.

### **Детальная оценка агроэкологических ресурсов в условиях неоднородной подстилающей поверхности (на примере Саратовского района Одесской области). Прикуп Л.А., Ляшенко Г.В.**

*Представлено результати картографічного аналізу (М 1:50000) підстилюючої поверхності (форм і елементів рельєфу, ґрунтового покриву) території Саратовського району Одеської області. Виконані розрахунки і проведена оцінка просторового розподілу агроекологічних ресурсів і комплексного середньмасштабного агроекологічного районування досліджуваної території. Обґрунтовані оптимізаційні схеми можливого і цілесобразного розміщення сільськогосподарських культур на основі детального урахування агроекологічних ресурсів території.*

**Ключевые слова:** *подстилююча поверхність, агрокліматичні і агроекологічні ресурси, просторова змінливість агроекологічних ресурсів, комплексне середньмасштабне районування, оптимізація розміщення сільськогосподарських культур.*

### **Detailed estimation agroecological resource in condition lumpy laying under surfaces (on example Saratsky region Odessa area). Prykup L.A., Lyashenko G.V.**

*The Presented results of the cartographic analysis (M 1:50000) laying under surfaces (the forms and element of the relief, topsoil) of the territory Saratskogo region Odesskoy area. The Executed calculations and is organized estimation of the spatial distribution agroecological resource and complex scale large end middle zoning under investigation territory. The optimization scheme possible and expedient accomodation of the agricultural cultures are Motivated on base of the detailed account agroecological resource of the territory.*

**Keywords:** *laying under surface, agroclimatically and agroecologically facility, spatial variability agroecological resource, complex scale large end middle zoning, optimization of the accomodation of the agricultural cultures.*

## ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В ГОДЫ С РАЗЛИЧНЫМИ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

*В работе рассматривается влияние агрометеорологических условий на формирование урожайности сахарной свеклы при различных сроках сева. Дается сравнительная количественная оценка фотосинтетической деятельности растений в посевах и урожайности сахарной свеклы при различных агрометеорологических условиях.*

**Ключевые слова:** сахарная свекла, сроки сева, урожайность, фотосинтетический потенциал, чистая продуктивность фотосинтеза, урожайность.

**Вступление.** Сахарная свекла - высокопродуктивное культурное растение, выращивание которого для Украины имеет первостепенное экономическое значение. Урожайность сахарной свеклы колеблется в больших границах – от 100 до 550 ц/га. Важными элементами современной технологии выращивания сахарной свеклы являются обработка почвы, удобрение, посев в оптимальные сроки, формирование густоты стояния, а также борьба с сорняками, вредителями и болезнями. Особое влияние на урожайность сахарной свеклы оказывают агрометеорологические условия.

**Материалы и методы исследований.** Вегетационный период растения составляет порядка 150 - 200 дней. По отношению к теплу сахарная свекла — умеренно требовательная культура. Взгляды некоторых авторов [1, 2] на различные сроки сева, при которых складываются оптимальные условия для образования всходов сахарной свеклы, очень противоречивы. По данным [1] семена прорастают при температуре от 2 до 35 °С. Но при низкой температуре 2 - 5 °С (ранние сроки сева), в холодную затяжную весну семена прорастают замедленно, и период от посева до всходов может растянуться на 45 – 60 дней. Ряд авторов [3] считает оптимальными сроками для сева более поздние сроки, когда температура составляет выше 11 °С, и всходы появляются уже на девятый день. При ранних сроках сева, если возвращаются холода, всходы могут быть повреждены. Однако, по данным [1] всходы сахарной свеклы без особого повреждения выдерживают кратковременные снижения температуры до – 4 °С.

Сахарная свекла относится к относительно засухоустойчивым культурам. На создание единицы сухого вещества она расходует значительно меньше воды, чем пшеница, ячмень, гречиха, картофель и ряд других культур [4]. Относительная засухоустойчивость сахарной свеклы по сравнению с засухоустойчивостью других культур связана не только с ее анатомо-физиологическими свойствами. Она обуславливается и мощной, хорошо развитой корневой системой, что позволяет растениям использовать влагу из глубоких слоев почвы.

Засуха весной в южных регионах Украины, задерживает всхожесть семян, делая их, таким образом, легко уязвимыми для полевых мышей, уменьшает действие гербицидов. Летом, когда засуха может длиться долго, свекла теряет влагу из-за транспирации больше, чем абсорбирует, и в пик жары растения скручиваются в зависимости от степени засухи или жары. Когда солнечные лучи особенно сильны, возможны появления ожогов на листьях растений, особенно внешних, расположенных на поверхности [7].

Если засуха длится долго, то внешние листья быстро засыхают. В результате уменьшения листовой поверхности и ее эффективности, корнеплоды слабо развиваются, при этом снижается урожай. Засуха может вызвать косвенным образом развитие некоторых вредителей (тли) и болезней, например, мучнистой росы.



Сахарная свекла - одна из наиболее продуктивных сельскохозяйственных культур, она требовательна к условиям минерального питания и весьма отзывчива на их улучшение. Она способна накапливать огромную массу сухого вещества, для создания которого необходимо большое количество питательных веществ. Поэтому свекла поглощает из почвы больше питательных веществ, чем другие культуры. При урожае корнеплодов 30 т/га она выносит из почвы около 120 кг N, 45-55 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 150-170 кгK<sub>2</sub>O [1, 4]. В связи с этим не все почвы могут удовлетворить потребность сахарной свеклы в элементах минерального питания.

Важнейшее средство обогащения почвы питательными веществами - внесение удобрений. Это один из наиболее экономичных путей повышения урожайности культуры, интенсификации свекловодства. Установлено, что внесение 100 кг полного минерального удобрения при правильном соотношении NPK повышает урожайность сахарной свеклы на 0,65-0,70 т/га [5, 6].

**Целью работы** является количественная оценка влияния агрометеорологических условий на формирование урожайности сахарной свеклы при различных сроках сева.

**Результаты исследований и их анализ.** Полевые опыты были заложены на наблюдательных участках учебной агрометеорологической лаборатории Одесского экологического университета (АМЛ, ОДЭКУ) в с. Черноморка Киевского района города Одессы в 2007 и 2008 годах.

Район проведения полевого опыта расположен на западной окраине Причерноморской низменности, которая характеризуется, как зона недостаточного увлажнения и отличается засушливым климатом.

На рис.1 представлены агрометеорологические условия периода вегетации культуры сахарной свеклы в 2007 году.

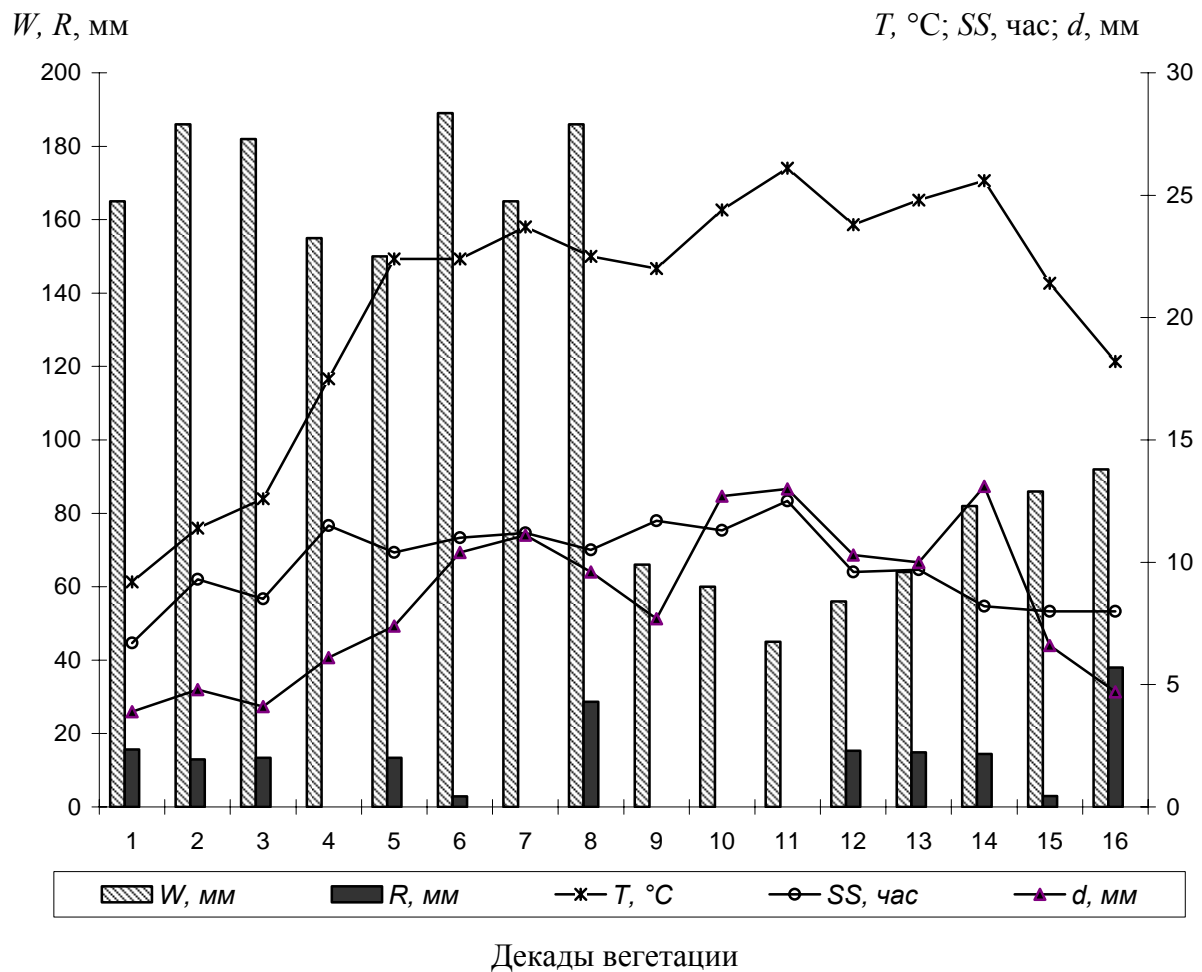
Агрометеорологические условия на момент посева во всех трех случаях были благоприятными. Первый срок сева (14 апреля) - температура воздуха составила 7-11°C, осадки составили 15,7 мм, запасы влаги в слое 0-100 составили 165 мм. Температура почвы на глубине 10 см составила +10°C. Число часов солнечного сияния - 6,7 часов. Дефицит влажности воздуха составил - 3,9 мб.

Второй срок сева (24 апреля) - температура воздуха составила 8-13°C, осадки составили 13,0 мм, запасы влаги в слое 0-100 составили 186 мм. Температура почвы на глубине 10 см составила +13°C. Число часов солнечного сияния - 9,3 часов. Дефицит влажности воздуха составил 4,8 мб.

Третий срок сева (4 мая) - температура воздуха составила 10-13°C, осадки составили 13,4 мм, запасы влаги в слое 0-100 составили 182 мм. Температура почвы на глубине 10 см составила +16°C. Число часов солнечного сияния - 8,5 часов. Дефицит влажности воздуха составил 4,1 мб.

В табл.1 представлена оценка агрометеорологических условий периода вегетации культуры сахарной свеклы по основным межфазным периодам. По материалам наблюдений при первом сроке - 14 апреля, когда почва уже достаточно прогрелась, период от сева до массового появления всходов составил 14 дней, при втором сроке - 12 дней, а при третьем сроке сева период от сева до массового появления всходов сократился до 9 дней. Среднесуточная температура воздуха за период посев - всходы также была различной. При сроке сева 14 апреля - 10,2 °C, при сроке сева 24 апреля - 11,8 °C, а при сроке сева 4 мая - 12,6 °C. Сумма осадков - 19 мм, 14 мм и 9 мм соответственно. ГТК за период посев - всходы составил - 1,4, 1,1 и 0,8 соответственно. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составили 175 мм, 185 мм и 182 мм соответственно.

В наших опытах у сахарной свеклы реакция на сроки сева проявлялась не только по времени всходов, но и по продолжительности других фаз развития растений и всего вегетационного периода. Так, если при севе 14 апреля период от всходов до пятой пары настоящих листьев составлял 26 дней, при севе 24 апреля он составил 24 дня, а при севе 4 мая сократился до 21 дня. Среднесуточная температура воздуха за период всходы – пятая пара настоящих листьев также была различной. При сроке сева 14 апреля - 15,1 °С, при сроке сева 24 апреля - 17,9 °С, а при сроке сева 4 мая – 20,6 °С. Сумма осадков составила 21 мм, 18 мм и 15 мм соответственно. ГТК за период всходы - пятая пара настоящих листьев составил - 0,5, 0,4 и 0,3 соответственно. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составили 170 мм, 160 мм и 161 мм соответственно.



$W_{0-100}$  – запасы влаги в слое 0-100 см,  $R$  – сумма осадков за декаду,  $T$  – среднедекадная температура воздуха,  $SS$  – среднедекадное число часов солнечного сияния,  $d$  – среднедекадное значение дефицита влажности воздуха.

Рис. 1 - Агрометеорологические условия периода вегетации культуры сахарной свеклы в Одесской области в 2007 году, ст.Черноморка. Номера декад даются от 2-й декады апреля.

Рассмотрим период пятая пара настоящих листьев – смыкание междурядий: при первом и втором сроках сева продолжительность периода составила 44 дня, при третьем - 42 дня. Среднесуточная температура воздуха при первом и втором сроках

сева составила 22,7 °С, а при третьем сроке сева – 21,2 °С. Сумма осадков составила 44 мм, 35 мм и 30 мм соответственно. ГТК за данный период, при первом сроке сева – 0,5, при втором и третьем - 0,4. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составил 165 мм при первом сроке сева, 140 мм и 130 мм - при втором и третьем сроках сева.

Продолжительность периода от смыкания междурядий до уборки: при первом сроке сева продолжительность периода составила 76 дня, при втором – 70 дня и при третьем - 68 дней. Среднесуточная температура воздуха при первом сроке сева - 23,2 °С, а при втором и третьем сроках сева – 23,5 °С. Сумма осадков составила 69 мм при всех вариантах сева. ГТК за данный период, при всех сроках сева - 0,4. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составил 69мм при первом сроке сева, 68 мм при втором и третьем сроках сева.

В целом же, при первом сроке сева развитие растений происходило медленнее. При втором и третьем сроках сева наблюдалось опережение в развитии растений порядка 10 и 20 дней.

Таблица 1 – Оценка агрометеорологических условий периода вегетации культуры сахарной свеклы по основным межфазным периодам (2007 – 2008гг.)

Показатели	Посев - всходы			Всходы – 5 <sup>-я</sup> пара			5 <sup>-я</sup> пара – смыкание междурядий			Смыкание междурядий - уборка		
	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок
2007												
N, дни	14	12	9	26	24	21	44	44	42	76	70	68
T, °С	10,2	11,8	12,6	15,1	17,9	20,6	22,7	22,7	21,2	23,2	23,5	23,5
R, мм	19	14	9	21	18	15	44	35	30	69	69	69
ГТК	1,4	1,1	0,8	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
W <sub>0-100</sub>	175	185	182	170	160	161	165	149	130	69	68	68
2008												
N, дни	13	11	7	26	25	21	44	42	41	76	73	70
T, °С	10,6	12,1	12,8	13,6	15,1	15,9	20,4	21,4	21,3	21,8	21,8	21,8
R, мм	14	18	4	19	10	8	48	42	41	130	124	122
ГТК	1,0	1,4	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8
W <sub>0-100</sub>	169	163	165	179	190	200	192	190	189	163	137	132

Примечание. N – продолжительность периода (дни), T – средняя температура воздуха (°С), R – сумма осадков (мм), ГТК – гидротермический коэффициент, W<sub>0-100</sub> – запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см.

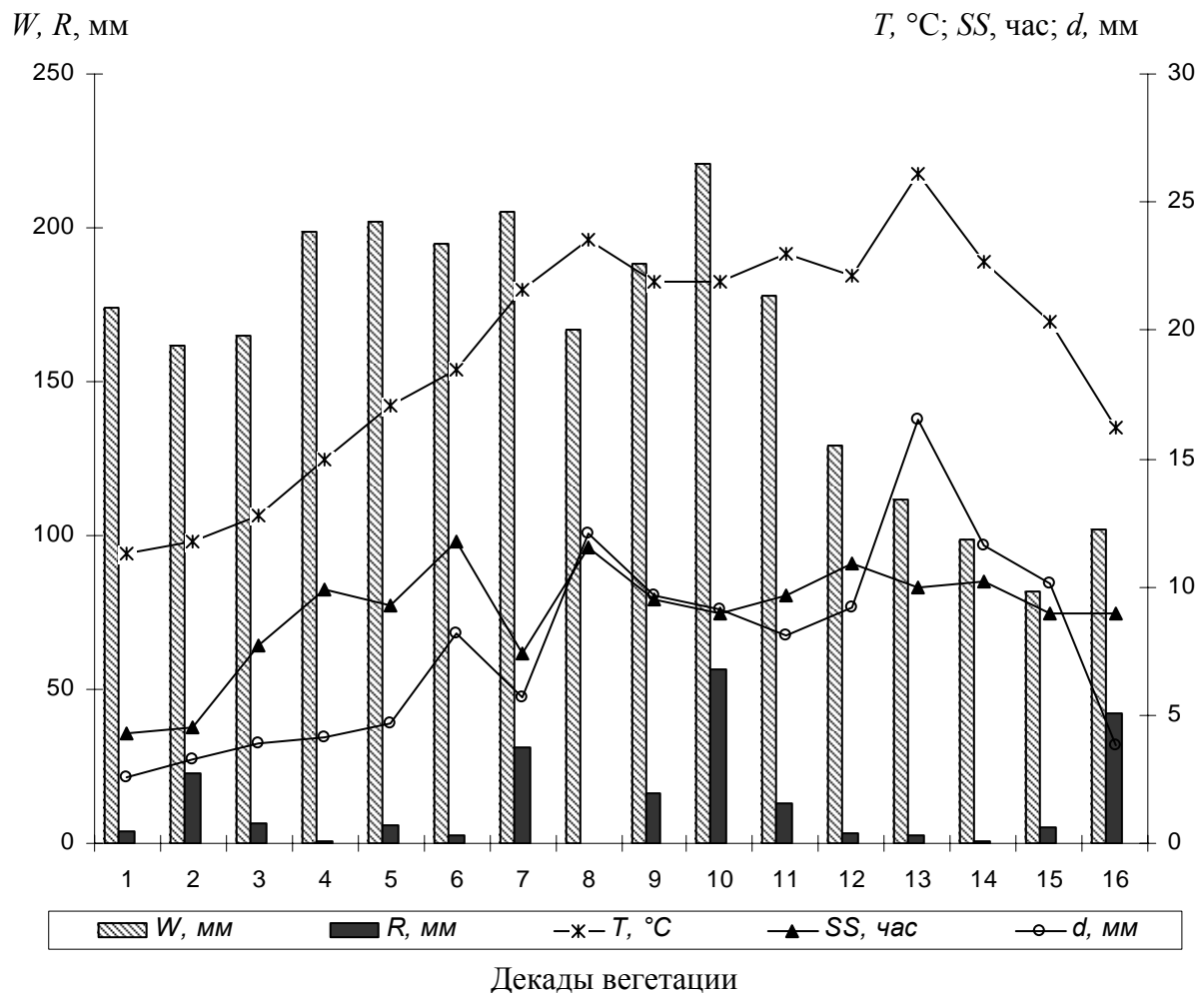
В течение вегетации, при всех трех вариантах сева, максимальных значений среднедекадная температура достигла в третьей декаде июля и составила 26,1°С. Средняя температура воздуха за период вегетации была в среднем на 3°С выше за среднюю многолетнюю. Сумма осадков за период вегетации составила 173 мм, 157 мм и 144 мм соответственно, что составляет порядка 65 – 70 % от средне многолетних. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в течение вегетации сильно колебались и составили в среднем в начале вегетации – 155 – 185 мм, и в конце вегетации снизились

до 45 – 90 мм. ГТК за данный период в среднем составил 0,46, что даёт возможность отнести год к сильно засушливому.

Три декады засухи подряд в июле пагубно отразились на урожае сахарной свеклы. Погодные условия 2007 года были крайне не благоприятны для выращивания сахарной свеклы. В результате этого урожай сахарной свеклы в 2007 году составил 106 ц/га при первом сроке сева, 124 ц/га при втором сроке сева и 94 ц/га при третьем сроке сева.

На рис.2 представлены агрометеорологические условия периода вегетации культуры сахарной свеклы в 2008 году.

Агрометеорологические условия на момент посева во всех трех случаях были благоприятными. Первый срок сева (14 апреля) – температура воздуха составила 8-13°C, осадки составили 4,1 мм, запасы влаги в слое 0-100 составили 174 мм. Температура почвы на глубине 10 см составила +12°C. Число часов солнечного сияния – 4,3 часов. Дефицит влажности воздуха составил 2,6 мб.



$W_{0-100}$  – запасы влаги в слое 0-100 см,  $R$  - сумма осадков за декаду,  $T$  – среднедекадная температура воздуха,  $SS$  – среднедекадное число часов солнечного сияния,  $d$  – среднедекадное значение дефицита влажности воздуха

Рис. 2 - Агрометеорологические условия периода вегетации культуры сахарной свеклы в Одесской области в 2008 году, с.Черноморка. Номера декад даются от 2-й декады апреля.

Второй срок сева (24 апреля) - температура воздуха составила 9-12°C, осадки составили 22,8 мм, запасы влаги в слое 0-100 составили 162 мм. Температура почвы на глубине 10 см составила +12°C. Число часов солнечного сияния – 4,5 часов. Дефицит влажности воздуха составил 3,3 мб.

Третий срок сева (4 мая) - температура воздуха составила 10-13°C, осадки составили 6,4 мм, запасы влаги в слое 0-100 составили 165 мм. Температура почвы на глубине 10 см составила +15°C. Число часов солнечного сияния – 7,7 часов. Дефицит влажности воздуха составил 3,9 мб.

Из табл.1 видно, что продолжительность периода от сева до массового появления всходов составила 13 дней при первом сроке сева – 14 апреля, при втором сроке, 24 апреля – 11 дней, а при третьем сроке сева – 4 мая, период от сева до массового появления всходов сократился до 7 дней. Среднесуточная температура воздуха за период посев – всходы также была различной. При сроке сева 14 апреля - 10,6 °С, при сроке сева 24 апреля - 12,1 °С, а при сроке сева 4 мая – 12,8 °С. Сумма осадков – 14 мм, 18 мм и 4 мм соответственно. ГТК за период посев - всходы составил - 1,0, 1,4 и 0,5 соответственно. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составили 169 мм, 163 мм и 165 мм соответственно.

При севе 14 апреля период от всходов до пятой пары настоящих листьев составлял 26 дней, при севе 24 апреля он составил 25 дня, а при севе 4 мая сократился до 21 дня. Среднесуточная температура воздуха за период всходы – пятая пара настоящих листьев также была различной. При сроке сева 14 апреля - 13,6 °С, при сроке сева 24 апреля - 15,1 °С, а при сроке сева 4 мая – 15,9 °С. Сумма осадков составила 19 мм, 10 мм и 8 мм соответственно. ГТК за период всходы - пятая пара настоящих листьев составил - 0,5, 0,3 и 0,3 соответственно. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составили 179 мм, 190 мм и 200 мм соответственно.

Рассмотрим период пятая пара настоящих листьев – смыкание междурядий: при первом сроке сева продолжительность периода составила 44 дня, при втором – 42 дня и при третьем - 41 день. Среднесуточная температура воздуха при первом сроке сева составила 20,4 °С, а при втором и третьем сроках сева – 21,4 °С и 21,3 °С соответственно. Сумма осадков составила 48 мм, 42 мм и 41 мм соответственно. ГТК за данный период во всех вариантах – 0,5. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составил 192 мм при первом сроке сева, 190 мм и 189 мм - при втором и третьем сроках сева.

Продолжительность периода от смыкания междурядий до уборки: при первом сроке сева продолжительность периода составила 76 дней, при втором – 73 дня и при третьем - 70 дней. Среднесуточная температура воздуха во всех трех вариантах сева – 21,8 °С. Сумма осадков составила 130 мм, 124 мм и 122 мм соответственно. ГТК за данный период, при всех сроках сева - 0,8. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в среднем за период составил 163 мм при первом сроке сева, 137 мм при втором и 132 мм при третьем сроках сева.

В целом же, при первом сроке сева развитие растений происходило медленнее. При втором и третьем сроках сева наблюдалось опережение в развитии растений порядка 10 и 20 дней.

В течение вегетации максимальных значений среднедекадная температура достигла во второй декаде августа и составила 26°C. Средняя температура воздуха за период вегетации была в среднем на 2°C выше за среднюю многолетнюю. Сумма осадков за весь период вегетации составила 212 мм, 201 мм и 185 мм соответственно, что составляет порядка 85 - 90% от среднемноголетних. Запасы продуктивной влаги в слое 0-100 см в течении вегетации составляли в среднем – 170 – 220 мм, лишь в конце

вегетации снизились до 82 - 102 мм. ГТК за данный период в среднем – 0,66, что дает возможность отнести год к засушливому.

Метеорологические условия 2007 и 2008 года существенно отличались друг от друга, как по температурному режиму, так и по условиям увлажнения и распределения осадков. В отличие от 2007 года погодные условия 2008 года были более благоприятны. Сахарная свекла наиболее чувствительна к содержанию влаги в период со второй половины июля до конца второй декады августа – это так называемый критический период, характеризующийся усиленным ростом листьев и корнеплодов [8]. В это время расходуется 2/3 требуемой воды в связи с максимальной транспирацией и ростом корнеплодов. За вегетационный период сахарной свеклы в 2008 году выпало большое количество осадков, которые хотя и неравномерно распределялись, но обеспечили хорошую влажность почвы под сахарной свеклой. В результате этого урожай сахарной свеклы в 2008 году составил 406 ц/га, 447 ц/га и 380 ц/га соответственно (табл. 2), что в среднем в 2 – 2,5 раза больше, чем в предыдущий год.

Площадь листьев сахарной свеклы играет решающую роль в формировании массы корнеплодов. Листья – специализированные органы, синтезирующие сахара. Поэтому исследователи связывали величину корнеплода – органа, в котором откладываются сахара, с величиной листовой поверхности. В действительности оказалось, что коэффициент корреляции между величиной поверхности листьев и весом корня больше 0,9 [8]. Однако величина площади листовой поверхности листьев, которая является показателем фотосинтетической деятельности растения, очень изменчива и зависит от комплекса условий внешней среды, особенно от условий тепло-, влагообеспеченности.

Таблица 2 – Основные показатели фотосинтетической деятельности растений в посевах и урожайность культуры сахарной свеклы (2007 – 2008гг.)

Вариант опыта	Максимальное значение площади листьев, м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	Максимальное значение чистой продуктивности фотосинтеза, г/м <sup>2</sup> -сутки	Чистая продуктивность фотосинтеза в среднем за вегетацию,	Фотосинтетический потенциал за период вегетации, м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	Урожай, ц/га при стандартной влажности (75%)
2007					
14 апреля	3,42	7,1	3,8	195	212
24 апреля	3,53	7,5	4,1	213	225
4 мая	2,64	5,9	3,2	156	148
2008					
14 апреля	4,38	8,1	5,1	302	406
24 апреля	4,83	8,7	5,6	311	447
4 мая	4,05	7,2	4,7	265	380

В 2007 и 2008 годах было проведено изучение основных элементов фотосинтетической деятельности растений сахарной свеклы при различных сроках сева: изменение площади листьев, фотосинтетического потенциала посевов сахарной свеклы и чистой продуктивности фотосинтеза.

По данным наблюдений в 2007-2008 гг., представленных в табл.2, максимальные значения площади листовой поверхности растений сахарной свеклы составили в 2007 году при всех трех сроках сева – 3,42, 3,53, 2,64 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> соответственно. В 2008 году максимальные значения площади листовой поверхности растений сахарной свеклы составили при всех трех сроках сева – 4,38, 4,83, 4,05 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> соответственно.

Максимальные значения чистой продуктивности фотосинтеза при всех трех сроках сева в 2007 году ниже, чем в 2008 году (табл. 2). Значения чистой продуктивности фотосинтеза в среднем за вегетацию в 2007 году в среднем в 1,5 раза ниже, чем в 2008 году (табл. 2).

Значения фотосинтетического потенциала за период вегетации в 2007 году также значительно меньше, чем в 2008 году, не зависимо от сроков сева, данные представлены в табл. 2.

**Выводы.** В результате выполненной работы оказалось возможным дать количественную оценку влияния агрометеорологических условий на основные показатели фотосинтетической деятельности растений в посевах и урожай корнеплодов сахарной свеклы в условиях Одесской области.

### Список литературы

1. Бузанов И.Ф. Сахарная свекла. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 215 с.
2. Якушкин И.В. Сахарная свекла. – М.: Сельхозиздат, 1953. – 325 с.
3. Борисюк В.А., Волянский А.В. Сахарная свекла. / В кн.: Программирование урожаев – в основу прогрессивных технологий. – Киев: Урожай, 1984. – С.63-96.
4. Алпатьев СМ. и др. Водопотребление и режим орошения сельскохозяйственных культур. / В кн.: Мелиорация на Украине. - Киев: Урожай, 1986. - С. 201-207.
5. Афендулов К.П., Ландухова А.И. «Удобрение под планируемый урожай». - М.:Колос, 2005. – 240 с.
6. Войтенко СИ., Иванова В.И., Андрейченко Е.А., «Эффективность удобрений зерносвекловичном севообороте»// Агрохимия. - 2006. - № 5. - с. 17-20.
7. Сахарная свекла (Выращивание, уборка, хранение)/ Д.Шпаар, Д.Дрегер, А.Захаренко/ Под общ. ред. Д.Шпаара. – М.: ИД ООО «DLV Агродело», 2006. – 315с.
8. Частная физиология полевых культур/ Под ред. Е.И. Кошкина. - М.:КолосС, 2005.– 344с.

#### **Формування врожаю цукрового буряку в роки з різними агрометеорологічними умовами. Костюкєвич Т.К.**

*В роботі розглядається вплив агрометеорологічних умов на формування врожайності цукрового буряка при різних термінах сівби. Дается порівняльна кількісна оцінка фотосинтетичній діяльності рослин в посівах і врожайності цукрового буряка за різних агрометеорологічних умов.*

**Ключові слова:** цукровий буряк, терміни сівби, врожайність, фотосинтетичний потенціал, чиста продуктивність фотосинтезу, врожайність.

#### **Forming of harvest of sugar beet in years with different agrometeorological terms. Kostiykevych T.K.**

*In the work it is examined the influence of agrometeorological terms on forming of productivity of sugar beet at different terms of sowing. Comparative quantitative estimation is given to photosynthetic activity of plants in sowing and productivity of sugar beet at different agrometeorological terms.*

**Keywords:** sugar beet, terms of sowing, productivity, photosynthetic potential, clean productivity of photosynthetic, productivity.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ КАРТОФЕЛЯ В ЧЕРКАССКОЙ ОБЛАСТИ

*Изложены результаты численных экспериментов влияния факторов света, тепла и влаги на накопление биомассы отдельных органов растения и формирования урожайности в целом применительно к условиям Черкасской области.*

**Ключевые слова:** картофель, урожайность, модель, свет, тепло, влага.

**Введение.** Картофель является второй ценной продовольственной и технической культурой Украины. Колебания его урожайности от года к году, которые определяются в основном влиянием погодных условий, достаточно велики, что делает необходимым оценить воздействие агрометеорологических условий на процесс формирования урожая этой культуры.

Картофель – культура довольно широких температур, чем больше температура среды произрастания отличается от температуры родины картофеля, тем больше снижается его урожайность [4]. По агрометеорологической классификации он относится к культурам умеренного, влажного климата и рыхлых почв [3]. На родине культурного картофеля Чили он возделывается в течение многих тысячелетий в условиях обильного увлажнения (до 3000 мм) при средних суточных температурах до 15-16 °С, продолжительности дня 12-15 часов, слабовыраженных суточных амплитудах температуры, крайне редких заморозков в период вегетации и относительной влажности воздуха более 75 % [2].

Лучшая температура для прорастания клубней 18-20 °С. Всходы в этом случае на 10-12 день после посадки, в то время как при устойчивом падении температуры ниже 7,0 °С всходы нередко появляются через 30-35 дней и даже через 50 дней [3].

Пониженные температуры также отрицательно влияют на рост растения картофеля. Так, нарастание вегетативной массы почти полностью прекращается при температуре ниже 7 °С, а фотосинтез, хотя и продолжается вплоть до заморозков, происходит очень медленно.

Менее опасны пониженные температуры в начале вегетации, так как в молодом возрасте растения картофеля обладают хорошей регенерационной способностью.

Ботва картофеля (листья и стебли) при выращивании его на умеренно влажных почвах лучше развиваются при температуре воздуха 18-25 °С. В таких условиях ассимиляция двуокси углерода и образование углеводов также происходит наиболее интенсивно. При температуре воздуха 40-41 °С фотосинтез полностью прекращается [2]. Для ранних сортов картофеля наиболее благоприятной температурой клубнеобразования является 17 °С, для среднеспелых сортов 19 °С.

Высокие температуры угнетающе действуют на клубнеобразование картофеля. Особенно не благоприятно такие температуры воздействуют на ранние сорта. По данным [2] при выращивании картофеля в течении 2-х месяцев при разных температурах и одинаковых других условиях отмечено полное прекращение клубнеобразования в вариантах с температурой почвы 29 °С. В этих опытах резкое торможение процесса клубнеобразования отмечено уже при температуре почвы выше 20 °С.

Как установлено экспериментально [2], уровень температуры, кроме непосредственного влияния, имеет большое значение для ферментативных



превращений углеводов, обеспечивающих отток ассимилятов и накопление крахмала в клубнях.

Проблема оценки агрометеорологических условий формирования продуктивности сельскохозяйственных культур является одной из главных проблем агрометеорологии.

**Цель** этой работы – изучение оценки влияния агрометеорологических условий (засушливых и среднемноголетних) на формирование урожайности картофеля применительно к условиям Черкасской области.

К **задачам** данной работы следует отнести проведение численного эксперимента по оценке влияния засушливых агрометеорологических условий на формирование урожайности картофеля и проведение сравнительной оценки со среднемноголетними агрометеорологическими условиями.

**Материалы и методы исследования.** Формирование урожая рассматривается как сложная совокупность процессов фотосинтеза, дыхания, роста и развития растений, которые определяются как биологическими особенностями культуры, так и факторами внешней среды.

Черкасская область – наименьшая по площади (20,9 тыс. км<sup>2</sup>, 3,5 % территории страны) и самая молодая область Центральной Украины. Она образована в 1954 году из южных районов Киевской области и левобережного Золотоношского района – Полтавской, с которыми и граничит, соответственно, на севере и востоке. К западу от Черкасской области расположена Винницкая область, а к югу – Кировоградская область. Областной центр – город Черкассы расположен на правом берегу Кременчугского водохранилища на Днестре [1].

Поверхность области неодинакова по обе стороны от Днестра. Правобережная часть расположена в пределах Приднепровской возвышенности (абсолютные высоты 80 - 266 м) отличающейся в этом районе огромным количеством разветвленных и глубоковрезанных (до 150 м) речных долин, балок и оврагов. Левобережная часть расположена на Приднепровской низменности, представляющей слабоволнистую террасированную равнину с абсолютными высотами 80 - 150 м. Среди зональных типов почв преобладают чернозёмы типичные (53 %), серые лесные и тёмно-серые оподзоленные [1]. В Черкасской области 33 водохранилища и более 650 прудов и пойменных озер. Реки и водоемы используются для рыборазведения, судоходства, орошения и выработки электроэнергии. Крупнейшая река региона – Днестр сохранила лишь небольшой 30-километровый участок естественного русла между дамбой Каневского водохранилища и устьем своего правого притока реки Ольшанка. Ниже и выше его долина заполнена водами Кременчугского (годы создания – 1959-61 годы) и Каневского (1972-78 годы) водохранилищ, ширина которых составляет 8-15 км.

Климат области умеренно-континентальный, с мягкой зимой, с частыми оттепелями (средняя температура в январе составляет –6°C) и теплым, засушливым летом (средняя температура в июле – +21°C). Период с температурой выше +10°C составляет 160-170 дней. Годовое количество осадков 450-520 мм, причем 70 % приходится на летний период. Средняя высота снежного покрова – 15-20 см. Неблагоприятные климатические явления: весенний и осенние заморозки, летом в отдельные годы бывают суховеи и ливни с градом. Область принадлежит к недостаточно влажной, тёплой агроклиматической зоне [1].

Важное значение в сельском хозяйстве Черкасской области занимает выращивание картофеля, который широко используется в области и вывозится за ее пределы. Наибольшее количество влаги картофель требует в период бутонизации и в начале клубнеобразования. Оптимальная температура для роста и развития картофеля

лежит в пределах 17-21<sup>0</sup>С. Температура 25-27<sup>0</sup>С в период клубнеобразования вредна, а при температуре более 29<sup>0</sup>С формирование клубней совсем останавливается.

**Результаты исследования и их анализ.** Факторы внешней среды обуславливают интенсивность физиологических процессов, протекающих в растении. Моделируется эффект этого воздействия, взаимосвязь между отдельными процессами на состояние растительного покрова. Моделирование формирования урожая картофеля содержит количественное описание процессов фотосинтеза, перетока запасных питательных веществ из материнского клубня, дыхания, роста и развития. Рассматривается, что растение состоит из пяти обобщенных органов – листа, стебля, корня, растущего клубня и материнского клубня.

Интенсивность фотосинтеза каждого из фотосинтезирующих органов (листьев и стеблей) описывается с учетом влияния на фотосинтез фазы развития растения, интенсивности ФАР, концентрации CO<sub>2</sub>, температурного режима в светлое время суток и влагообеспеченности посадок, а также обеспеченности растений элементами минерального питания. Переток запасных веществ из материнского клубня в молодое растение рассматривается пропорциональным запасам вещества в материнском клубне. Наряду с перетоком углеводов из материнского клубня, особенностью растения картофеля является также темновая фиксация CO<sub>2</sub>, которая играет довольно существенную роль в углеводном балансе. Интенсивность темновой фиксации изменяется в онтогенезе. На ранних фазах развития ночная фиксация CO<sub>2</sub> может составлять 15-20% фотосинтеза в полдень.

Динамика биомассы описывается ростовыми уравнениями. Дыхание учитывается через затраты на дыхание роста и дыхание поддержания.

При формировании урожая картофеля его снижение наиболее часто происходит под влиянием погодных условий

Определение параметров модели применительно к условиям Черкасской области позволяет выполнить серию численных экспериментов, направленных на изучение влияния агрометеорологических условий на формирование урожайности картофеля. Модель позволяет всесторонне оценить влияние факторов света, тепла и влаги на накопление биомассы отдельных органов растения и формирования урожайности в целом.

В табл. 1 представлен ход биомассы листьев, стеблей, корней, клубней и растения в целом при среднемноголетних агрометеорологических условиях в Черкасской области.

Как видно из представленных данных в табл.1, ход биомассы листьев увеличивался с первой по восьмую декаду вегетации; биомасса стеблей и корней также увеличивалась до восьмой декады вегетации; клубни начали свое развитие с шестой декады вегетации; масса всего растения возрастала в течение всей вегетации. Максимальная биомасса клубней составляет 649,662 г/м<sup>2</sup>.

В табл. 2, представлен ход биомассы листьев, стеблей, корней, клубней и растения в целом при сложившихся засушливых условиях в Черкасской области.

Из данных табл.2 видно, что ход биомассы листьев увеличивался с первой по седьмую декаду вегетации, ход биомассы стеблей и корней также увеличивался с первой по седьмую декаду вегетации, клубни начали свое развитие с шестой декады и увеличение их биомассы наблюдалось с шестой по одиннадцатую декаду вегетации. Максимальная биомасса клубней составила 565,691 г/м<sup>2</sup>.

Если сравнить полученные данные из табл.1 и табл.2, то можно сделать вывод, что при сложившихся засушливых условиях в Черкасской области биомасса листьев, стеблей и корней была значительно меньше, чем при среднемноголетних агрометеорологических условиях; засушливые условия, негативно влияют на биомассу

клубней картофеля, из табл. 2, видно, что биомасса клубней составляет 565,691 г/м<sup>2</sup>, что на 83 г/м<sup>2</sup> меньше, чем при среднемноголетних агрометеорологических условиях.

Таблица 1 - Ход биомассы листьев, стеблей, корней, клубней и растения в целом при среднемноголетних агрометеорологических условиях в Черкасской области

Декада	Масса,(г/м <sup>2</sup> )				
	листьев	стеблей	корней	клубней	целого растения
1	1,084	1,019	0,753	0	0,395
2	5,702	5,466	3,660	0	2,857
3	12,765	12,267	8,107	0	14,828
4	24,510	23,577	15,502	0	33,139
5	45,837	44,115	28,931	0	63,589
6	83,363	80,250	52,558	4,466	118,883
7	126,742	122,023	79,871	57,555	220,637
8	127,315	122,577	80,223	282,951	386,190
9	116,896	112,547	73,657	461,324	613,066
10	106,508	102,545	67,111	576,937	764,423
11	96,711	93,113	60,937	649,662	853,101

Таблица 2 – Ход биомассы листьев, стеблей, корней, клубней и растения в целом при сложившихся засушливых условиях в Черкасской области

Декада	Масса,(г/м <sup>2</sup> )				
	листьев	стеблей	корней	клубней	целого растения
1	1,226	1,155	0,842	0	0,395
2	6,118	5,866	3,922	0	3,222
3	13,454	12,931	8,541	0	15,906
4	22,934	22,068	14,515	0	34,926
5	45,098	43,403	28,465	0	59,526
6	81,101	78,073	51,134	12,999	117,570
7	107,376	103,374	67,677	105,718	223,307
8	103,354	99,503	65,137	305,476	384,144
9	95,632	92,070	60,270	435,365	573,470
10	88,242	84,955	55,612	515,723	683,337
11	81,210	78,185	51,180	565,691	744,532

При выполнении численного эксперимента была определена сравнительная оценка площади листовой поверхности при сложившихся засушливых условиях и при среднемноголетних агрометеорологических условиях в Черкасской области.

На рис.1 представлена динамика площади листьев при сложившихся засушливых условиях и при среднемноголетних агрометеорологических условиях в

Черкасской области. Из рис. 1 можно сделать вывод, что при сложившихся засушливых условиях в Черкасской области площадь листовой поверхности картофеля была значительно меньше ( $2,22-2,88 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ), чем при среднемноголетних агрометеорологических условиях ( $3,37-3,38 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ).

$S, \text{ м}^2/\text{м}^2$

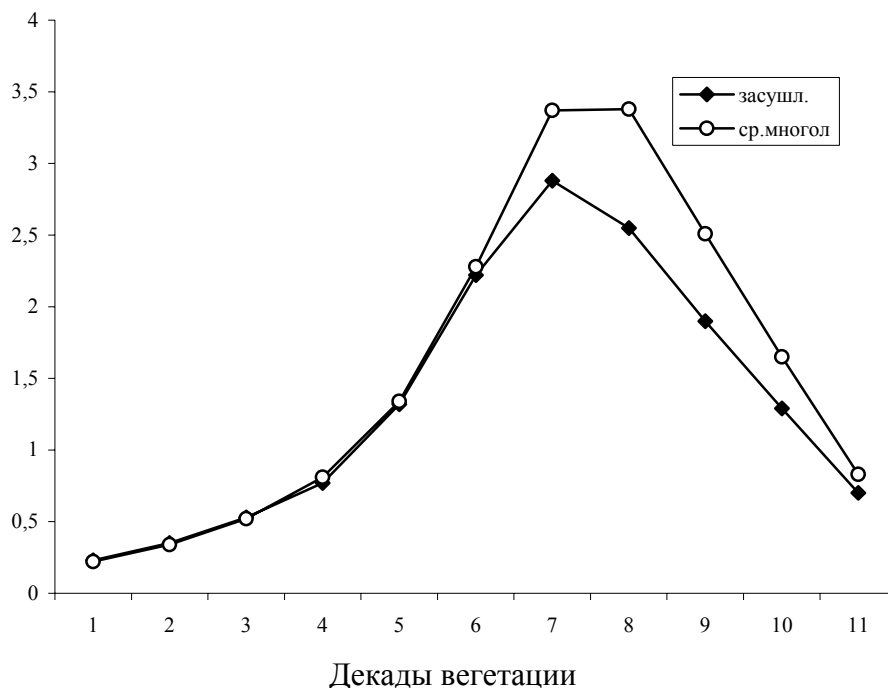


Рис. 1 – Динамика площади листьев картофеля при сложившихся засушливых условиях и при среднемноголетних агрометеорологических условиях в Черкасской области.

Интенсивность фотосинтеза

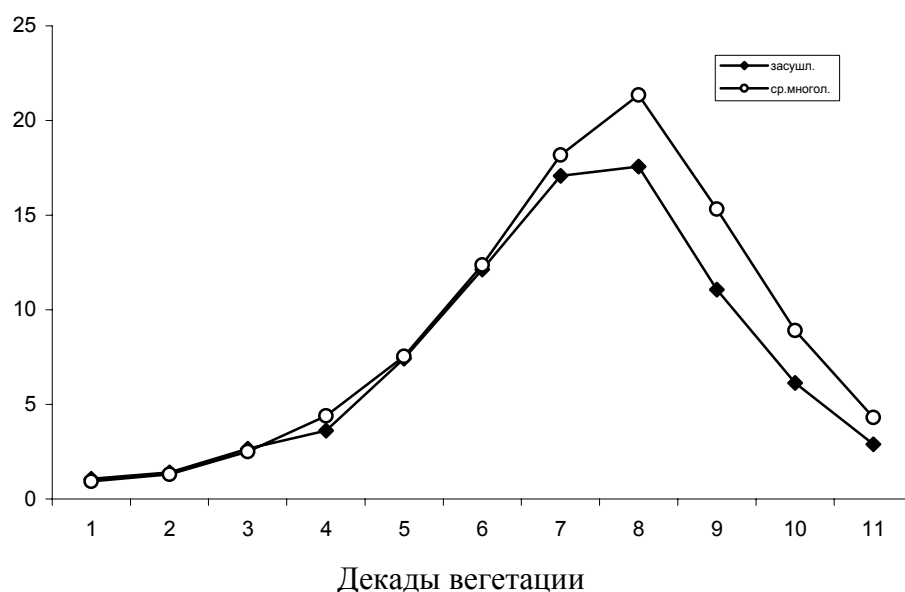


Рис. 2 – Интенсивность фотосинтеза при сложившихся засушливых условиях и при среднемноголетних агрометеорологических условиях в Черкасской области.

Рассмотрим, какова была интенсивность фотосинтеза при среднемноголетних агрометеорологических условиях и сложившихся засушливых условиях в Черкасской области. На рис. 2 представлена интенсивность фотосинтеза при среднемноголетних агрометеорологических условиях и при сложившихся засушливых условиях в Черкасской области. Из рис. 2 видно, что интенсивность фотосинтеза была значительно выше при среднемноголетних агрометеорологических условиях по сравнению со сложившимися засушливыми условиями в Черкасской области. При среднемноголетних условиях максимальная интенсивность фотосинтеза наблюдалась в седьмую, восьмую и девятую декады вегетации. При сложившихся засушливых условиях в Черкасской области максимальная интенсивность фотосинтеза была зафиксирована в седьмую декаду вегетации и была значительно ниже, чем при среднемноголетних условиях.

**Выводы.** Таким образом, в численных экспериментах с моделью было изучено влияние факторов внешней среды на формирование урожая картофеля, проведен анализ влияния сухих условий на формирование урожайности картофеля, дана сравнительная оценка сухих и среднемноголетних агрометеорологических условий в Черкасской области. В дальнейшем полученные данные могут быть использованы при прогнозировании урожайности картофеля.

#### Список литературы

1. *Агроклиматический справочник по Черкасской обл.*: Госсельхозиздат УРСР. – К., 1959. – С. 7–58.
2. *Руденко А.И.* Влияние засухи на урожай картофеля // Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. –Л.: Гидрометеиздат, 1958. –С.71-94.
3. *Руденко А.И.* Некоторые итоги и пути изучения климата культурных растений (картофель) // Труды Всесоюзного научно-метеорологического совещания. –Л.: Гидрометеиздат, 1983. –Т. 8. –С. 82-88.
4. *Физиология сельскохозяйственных растений.* –М.: Изд-во МГУ, 1971. –Т. 12. – 371 с.

#### **Моделювання впливу агрометеорологічних умов на формування врожайності картоплі в Черкаській області. Свидерська С.М.**

*Висловлені результати чисельних експериментів впливу факторів світла, тепла та вологи на накопичення біомаси окремих органів рослини та формування врожайності у цілому стосовно до умов Черкаської області.*

**Ключові слова:** картопля, врожайність, модель, світло, тепло, волога.

#### **Modelling of influence of agrometeorological conditions on the potato yield formation in Cherkas region. Sviderskaya S.M.**

*The results of numerical experiments of light, warmth and moisture influences on the accumulation of separate plant organs biomass and the formation of the yield as a whole considering Cherkas region conditions are set up.*

**Key words:** potato, productivity, model, light, warmth, moisture.

## ДИНАМИКА БИОМАССЫ ОТДЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ ПРОСА В ЮЖНОЙ СТЕПИ

*На основе полевых экспериментов установлены закономерности динамики биомассы органов растений проса.*

**Ключевые слова:** просо, полевой опыт, фитозлементы, растительные пробы.

**Введение.** Просо относится к числу важных в нашей стране крупяных культур. Из него получают пшено, которое по вкусовым качествам и пищевым достоинствам занимает одно из первых мест среди других круп. Просо можно высевать на зеленый корм и сено, а также использовать для пересева погибших озимых и яровых культур и как пожнивную культуру (после уборки озимых и других рано созревающих растений). При летних посевах просо – хорошая покровная культура для многолетних трав [1].

В мировом земледелии посевная площадь проса составляет около 40 млн га. Основные производители его – Россия, Китай и Монголия. Сеют просо также в Японии, Индии, Афганистане, Турции. В Европе эта культура распространена в Венгрии, Польше, Болгарии. Незначительные площади имеются в Африке и в восточных штатах США. Просо дает хорошие урожаи при посеве второй культурой после пара, по пласту многолетних трав, зернобобовым, озимым культурам.

Широко используется просо как «страховая» культура при пересеве погибших озимых или ранних яровых; оно меньше других зерновых культур страдает от вредителей и болезней, устойчиво к полеганию [2].

В современных условиях селекционная работа с просом должна быть направлена на удовлетворение требований народного хозяйства, а также способствовать как расширению ареала возделывания культуры, так и сферы ее использования [3].

**Материалы и методы исследований.** Полевой эксперимент проводился в 2008 – 2009 году. В качестве опытной культуры было выбрано просо, районирование в степной зоне Украины. Опыты проводились с тремя сроками сева: ранним, средним и поздним.

Программа полевого опыта наряду со стандартными метео- и агрометеорологическими наблюдениями, включала в себя проведение ряда специфических биометрических наблюдений.

Сухая масса растений определялась еженедельно, начиная с даты всходов проса. Для этого в четырех местах участков в трехкратной повторности брались пробы по 20 растений.

Отбирались растительные пробы, после этого у растений отрезались корни и отделялась мертвая масса, в которую входят отмершие части растений: сухие листья с влажными или их усохшие части, отмершие побеги и стебли. Взвешивалась мертвая и общая живая масса пробы. Умножением этих величин на густоту стояния растений определялись живая и мертвая сырая масса на 1 м<sup>2</sup> посева. На трех участках (ранний, средний, поздний) производился детальный разбор растительной пробы на фитозлементы: листья, стебли, метелки. Определение процента сухого вещества в отдельных фитозлементах пробы производилось путем высушивания небольшой навески (не менее 20 г) фитозлементов до абсолютного сухого состояния. Сушка проб проводилась в течение первого часа при температуре 100-105 °С, а в дальнейшем – при 70-80 °С и продолжалась до того момента, когда масса при последующем взвешивании меняется не более чем на 0,1 г. Процент сухого вещества рассчитывался путем деления

сухой массы элемента на сырую массу. Расчет сухой массы элемента в г на единицу площади посева производился путем умножения сырой массы элемента в г на 1 м<sup>2</sup> посева на процент сухого вещества в нем [4].

В данной статье перед нами ставится задача на основе полевых экспериментов установить закономерности динамики биомассы органов растений проса.

**Результаты следования и их анализ.** В ходе полевых экспериментов 2008 – 2009 гг. проводились наблюдения за состоянием посевов проса и комплексом агрометеорологических условий, начиная с даты сева проса.

В 2008 году сев проса проводился 24.04 (ранний), 4.05 (средний) и 14.05 (поздний), а даты созревания проса отмечались соответственно 24.07, 6.08 и 21.08. Продолжительность вегетационного периода – 91 день (ранний), 94 дня (средний) и 99 дней (поздний).

В 2009 году сев проса также проводился 24.04 (ранний), 4.05 (средний) и 14.05 (поздний), а даты созревания наблюдались 30.07, 10.08 и 26.08. Продолжительность вегетационного периода – 97 дней (ранний), 98 дней (средний) и 104 дня (поздний).

В табл. 1 представлены агрометеорологические условия периода вегетации культуры проса по основным межфазным периодам.

В 2008 году всходы проса появились на 8-ой день при всех трех сроках после посева (табл. 1). Появление третьего листа отмечалось через 10 дней при раннем сроке сева, при среднем сроке через 9 дней, при позднем – через 12 дней после всходов. Кущение отмечалось через 19 дней (ранний), 22 дней (средний), 27 дней (поздний) после всходов, в то время как в 2009 году наступление этих фаз затянулось. Так, в 2009 году всходы проса появились на 10-ый (ранний), у среднего срока через 9 дней и через 10 дней у позднего срока после посева, появление третьего листа отмечалось через 11, 13, 11 дней соответственно; кущение отмечалось через 20 дней (ранний), 26 дней (средний), 28 дней (поздний) после всходов. Несмотря на календарные различия сроков прохождения межфазных периодов, можно уверенно утверждать о высокой степени синхронности ростовых процессов проса в 2008 и 2009 годах. Подтверждением тому служат результаты исследования динамики накопления биомассы отдельных органов растений.

График динамики накопления общей сухой биомассы растений проса (рис. 1а, б) построен по данным биометрических наблюдений 2008 и 2009 гг., включающих в себя, согласно программе полевого опыта, определение биомассы листьев, стеблей, корней и метелок. Начальная биомасса растений на 1 м<sup>2</sup> в 2008 году при раннем сроке составляла 12 г/м<sup>2</sup>, при среднем – 15 г/м<sup>2</sup>, при позднем – 8 г/м<sup>2</sup>. На дату созревания конечная сухая биомасса составляла соответственно 930, 943 и 830 г/м<sup>2</sup> (рис. 1а). Максимальные значения суммарной биомассы отмечались в конце вегетации.

В 2009 году начальная биомасса растений на 1 м<sup>2</sup> составляла 8 г/м<sup>2</sup> (ранний), 13 г/м<sup>2</sup> (средний), 7 г/м<sup>2</sup> (поздний). На дату созревания конечная сухая биомасса составляла соответственно 912, 931 и 802 г/м<sup>2</sup> (рис. 1б). Максимальные значения суммарной биомассы (также как и 2008 году) отмечались в конце вегетации.

Синхронность процессов накопления биомассы проса в 2008 и 2009 гг. (рис. 1а, б) определяется, во-первых, генетической и экологической обусловленностью интенсивности и направленности роста растений одного и того же сорта – Харьковское 57. Согласно исследованиям Сабинина, Синнота, Серебряковой и других авторов [5,6,7] внутренняя регуляция роста осуществляется специфическим аппаратом наследственности через систему многочисленных и много ступенчатых физиологических процессов от внутренних факторов организма и выражается законом большого периода роста, открытого Ю. Саксом (1872).

Таблица 1 – Агрометеорологические условия периода вегетации культуры проса по основным межфазным периодам (2008-2009 год)

Показатели	Посев - всходы			Всходы – кушение			Кушение – выметывание метелки			Выметывание метелки – созревание		
	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок	1 срок	2 срок	3 срок
2008 год												
Продолжительность периода (дни)	8	8	8	19	22	27	23	19	24	44	45	40
Средняя температура воздуха (°C)	12,1	13,4	15,5	14,2	16,5	18,9	18,3	17,3	22,5	20,8	22,5	23,3
Сумма активных температур (°C)	96,4	106,8	124,2	269,5	363,6	511,7	420,8	329,5	541	916,2	1011,6	932,9
Сумма эффективных температур (°C)	16,4	26,8	44,2	34,5	143,6	241,4	190,8	199	301	506,2	561,6	532,9
Сумма осадков (мм)	15	6	2	6	8	33	18	33	33	99	87	64
Гидротермический коэффициент (ГТК)	1,6	0,6	0,2	0,2	0,2	0,6	0,4	1,0	0,6	1,1	0,9	0,7
Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см ( $W_{0-100}$ )	164	182	201	189	199	201	201	189	195	192	177	148
2009 год												
Продолжительность периода (дни)	10	9	10	20	26	28	27	15	23	40	48	43
Средняя температура воздуха (°C)	12,7	14,7	17,0	15,9	18,0	19,6	19,4	20,9	24,7	24,0	24,2	22,9
Сумма активных температур (°C)	126,8	132,6	170,4	319,2	469,1	547,4	523,1	313,5	567,9	975,0	1162,2	985,5
Сумма эффективных температур (°C)	18,8	42,0	45,5	119,2	209,1	396,1	253,1	163,5	337,9	677,0	682,2	555,5
Сумма осадков (мм)	6	31	6	18	18	25	25	13	11	33	34	28
Гидротермический коэффициент (ГТК)	0,5	2,3	0,4	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3
Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см ( $W_{0-100}$ )	136	125	123	124	121	107	114	101	92	94	91	92



Исследовались также динамика и скорость накопления биомассы отдельных органов растений. На рис. 2 (а - ранний, б - средний, в - поздний сроки сева) и 3 (а - ранний, б - средний, в - поздний сроки сева) представлены кривые изменчивости сухой биомассы корней, листьев, стеблей и метелок растений проса в 2008 и 2009 годах.

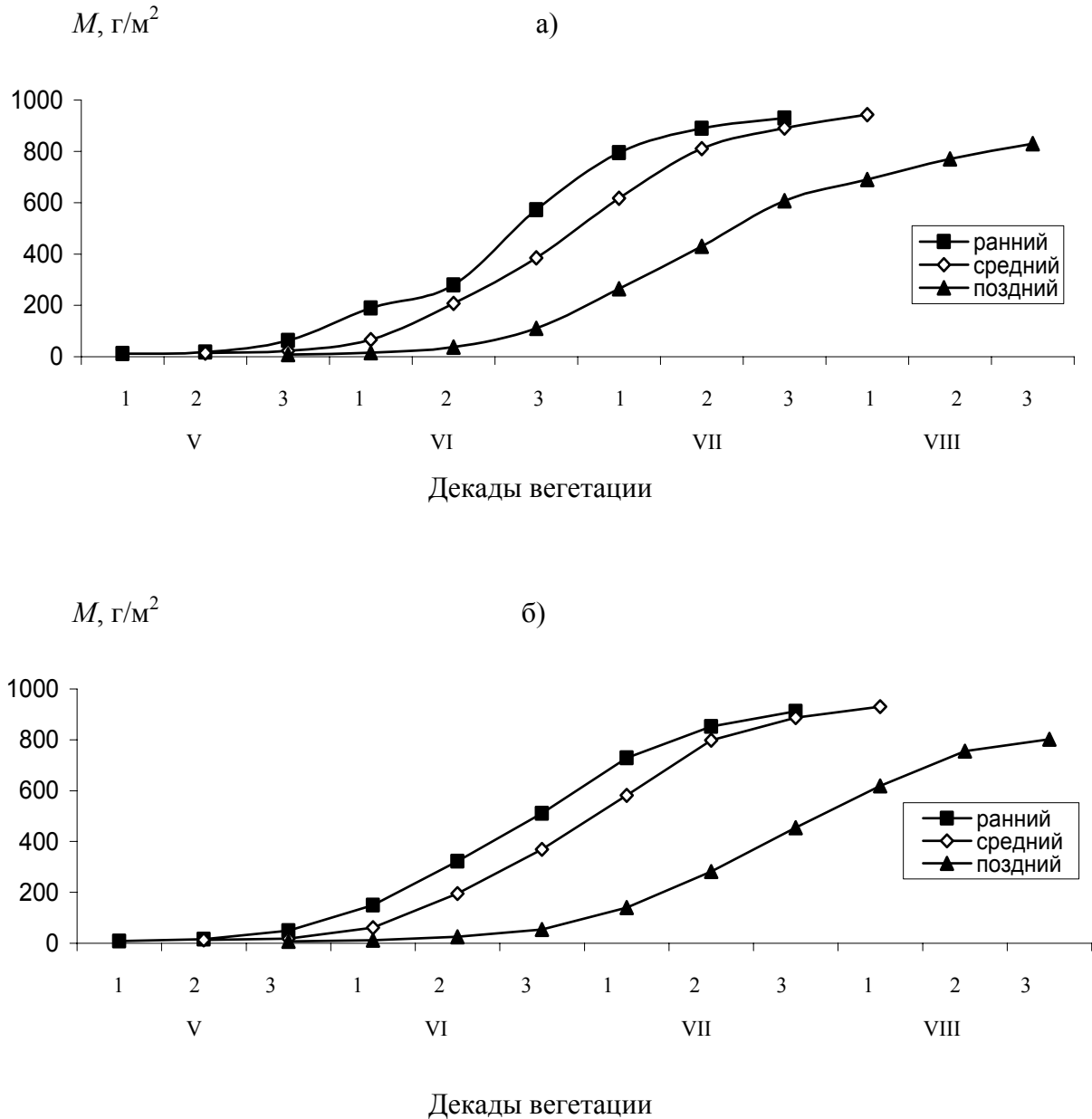
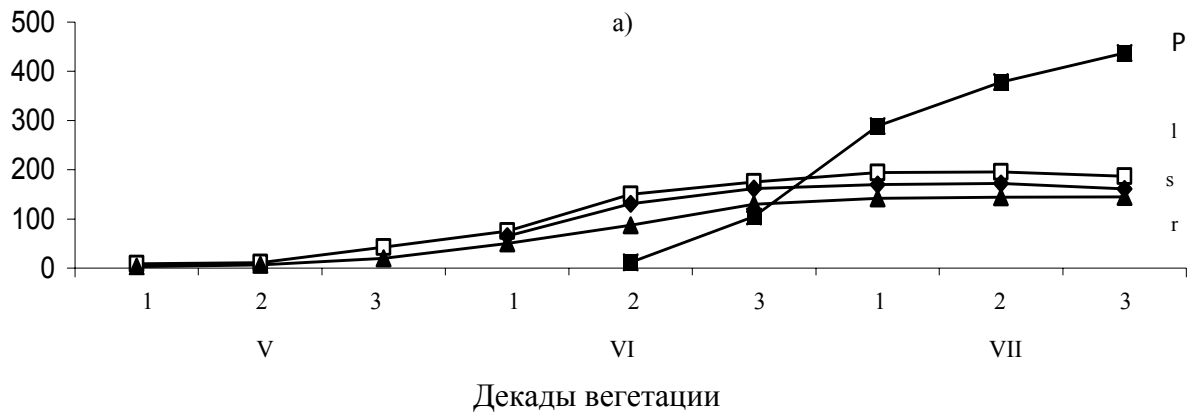


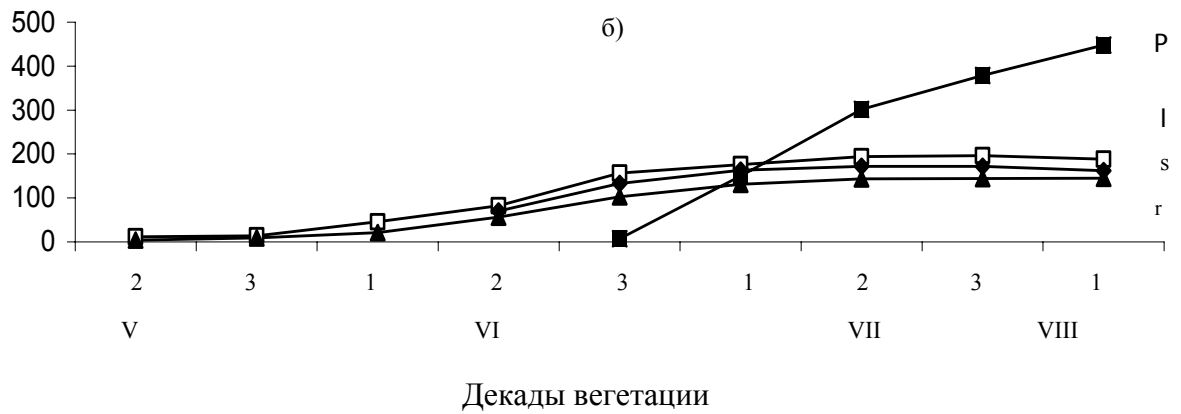
Рис. 1 – Динамика накопления общей сухой биомассы ( $M$ ) растений проса за 2008 год (а) и за 2009 год (б).

Из анализа представленных на графиках кривых можно сделать вывод, что в течение вегетации наблюдалось начальное увеличение сухой биомассы вегетативных органов (листьев, стеблей, корней) с некоторым последующим снижением, обусловленным естественным отмиранием части вегетативной

$m_i, \text{г/М}^2$



$m_i, \text{г/М}^2$



$m_i, \text{г/М}^2$

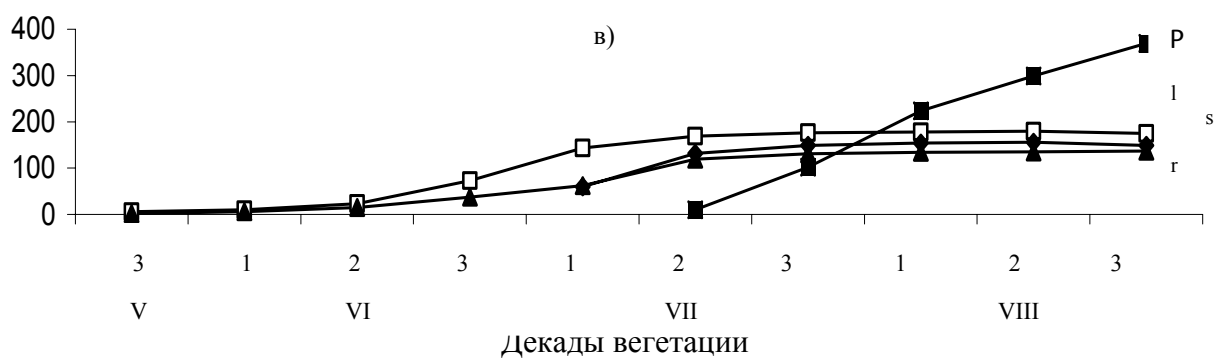


Рис. 2 – Динамика накопления сухой биомассы ( $m$ ) листьев ( $l$ ), стеблей ( $s$ ), корней ( $r$ ) и метелок ( $P$ ) проса по данным 2008 года при раннем сроке сева (а), при среднем сроке сева (б), при позднем сроке сева (в).

массы и перетоком пластических веществ в репродуктивные органы.

В 2008 году размеры максимальной сухой биомассы листьев достигают 196 г/м<sup>2</sup> (ранний, средний), 180 г/м<sup>2</sup> (поздний), стеблей – 172 г/м<sup>2</sup> (ранний, средний), 156 г/м<sup>2</sup> (поздний), корней – 145 г/м<sup>2</sup> (ранний, средний), 137 г/м<sup>2</sup> (поздний). Для кривых накопления сухой биомассы репродуктивных органов (метелок) характерен сигмоидный вид, они содержат участок интенсивного нарастания, точку перегиба и участок интенсивного роста. Максимальные значения биомассы метелок наблюдаются на дату созревания и составляют соответственно 437, 448 и 369 г/м<sup>2</sup> (рис. 2 а, б, в).

В 2009 году размеры максимальной сухой биомассы листьев достигают 187 г/м<sup>2</sup> (ранний), 194 (средний), 175 г/м<sup>2</sup> (поздний), стеблей – 167 г/м<sup>2</sup> (ранний), 172 (средний), 151 г/м<sup>2</sup> (поздний), корней – 142 г/м<sup>2</sup> (ранний), 145 (средний), 131 г/м<sup>2</sup> (поздний). Максимальные значения биомассы метелок наблюдаются на дату созревания и составляют соответственно 431, 440 и 362 г/м<sup>2</sup> (рис. 3 а, б, в).

Исследования скорости изменения биомассы растения в целом за 2008 год и за 2009 год (табл. 2), показали, что наибольшие приросты суммарной биомассы проса приходятся на период от выметывания метелки до цветения.

Таблица 2 – Динамика приростов площади листовой поверхности проса по фазам развития, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>·декаду

Декады Сроки сева	V		VI			VII			VIII		
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2008 год											
Ранний	6	45	127	190	192	223	95	40			
Средний		8	44	141	177	232	193	81	52		
Поздний			8	22	72	155	165	178	82	80	60
2009 год											
Ранний	7	34	101	173	188	218	124	59			
Средний		5	43	134	174	212	217	89	44		
поздний			5	13	29	86	142	172	165	136	47

Необходимо отметить, что и в 2008 и 2009 годах отмечались спады скорости накопления биомассы вегетативных органов хорошо заметные на графиках. Из табл. 1 видно, что в эти периоды наблюдалось снижение запасов продуктивной влаги ввиду отсутствия осадков и повышения температуры воздуха, вызвавшие кратковременные замедления скорости роста растений проса.

Прирост общей массы растения прекратился в 2008 и 2009 годах в период от выметывания метелки до цветения. Таким образом, прекращается рост вегетативных органов и происходит уменьшение размеров их биомассы за счет перетока пластических веществ в метелки и естественного отмирания биомассы этих органов (табл. 2).

Для метелок максимальные значения приростов биомассы наблюдается в период выметывание метелки – формирование зерен. В это время активно идет процесс накопления органических питательных веществ в зерне.

**Выводы.** В данной статье приведены результаты наблюдений за состоянием посевов проса в 2008 – 2009 гг. Опыты проводились с тремя сроками сева: ранним, средним и поздним.

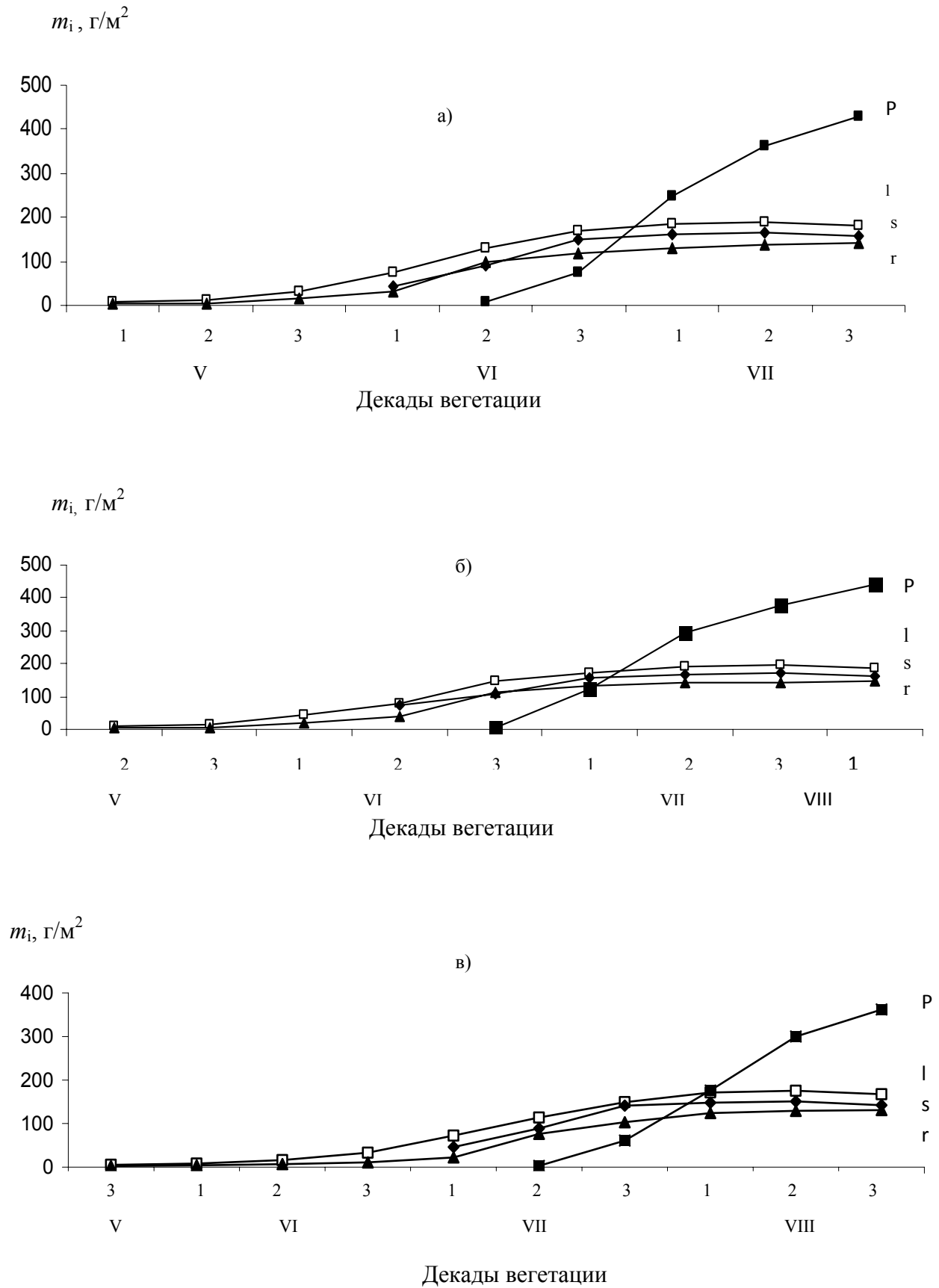


Рис. 3 – Динамика накопления сухой биомассы ( $m$ ) листьев ( $l$ ), стеблей ( $s$ ), корней ( $r$ ) и метелок ( $P$ ) по данным 2009 года при раннем сроке сева (а), при среднем сроке сева (б), при позднем сроке сева (в).

В 2008 году сев проса проводился 24.04 (ранний), 4.05 (средний) и 14.05 (поздний), а даты созревания проса отмечались соответственно 24.07, 6.08 и 21.08. Продолжительность вегетационного периода – 91 день (ранний), 94 дня (средний) и 99 дней (поздний).

В 2009 году сев проса также проводился 24.04 (ранний), 4.05 (средний) и 14.05 (поздний), а даты созревания наблюдались 30.07, 10.08 и 26.08. Продолжительность вегетационного периода – 97 дней (ранний), 98 дней (средний) и 104 дня (поздний).

Были представлены агрометеорологические условия периода вегетации культуры проса по основным межфазным периодам.

Метеорологические условия в годы исследований носили разнообразный характер: от увлажненного до засушливого. Это в свою очередь позволило дать более объективную оценку изучаемому сорту исходя из сложившихся внешних условий среды.

Согласно программе полевого опыта определено биомассы листьев, стеблей, корней и метелок. Начальная биомасса растений на 1 м<sup>2</sup> в 2008 году при раннем сроке составляла 12 г/м<sup>2</sup>, при среднем – 15 г/м<sup>2</sup>, при позднем – 8 г/м<sup>2</sup>. На дату созревания конечная сухая биомасса составляла соответственно 930, 943 и 830 г/м<sup>2</sup>. Максимальные значения суммарной биомассы отмечались в конце вегетации.

В 2009 году начальная биомасса растений на 1 м<sup>2</sup> составляла 8 г/м<sup>2</sup> (ранний), 13 г/м<sup>2</sup> (средний), 7 г/м<sup>2</sup> (поздний). На дату созревания конечная сухая биомасса составляла соответственно 912, 931 и 802 г/м<sup>2</sup>. Максимальные значения суммарной биомассы (также как и 2008 году) отмечались в конце вегетации.

В 2008 году размеры максимальной сухой биомассы листьев достигают 196 г/м<sup>2</sup> (ранний, средний), 180 г/м<sup>2</sup> (поздний), стеблей – 172 г/м<sup>2</sup> (ранний, средний), 156 г/м<sup>2</sup> (поздний), корней – 145 г/м<sup>2</sup> (ранний, средний), 137 г/м<sup>2</sup> (поздний). Максимальные значения биомассы метелок наблюдаются на дату созревания и составляют соответственно 437, 448 и 369 г/м<sup>2</sup>.

В 2009 году размеры максимальной сухой биомассы листьев достигают 187 г/м<sup>2</sup> (ранний), 194 (средний), 175 г/м<sup>2</sup> (поздний), стеблей – 167 г/м<sup>2</sup> (ранний), 172 (средний), 151 г/м<sup>2</sup> (поздний), корней – 142 г/м<sup>2</sup> (ранний), 145 (средний), 131 г/м<sup>2</sup> (поздний). Максимальные значения биомассы метелок наблюдаются на дату созревания и составляют соответственно 431, 440 и 362 г/м<sup>2</sup>.

В целом, погодные условия 2008 можно считать оптимальными, а 2009 года – удовлетворительными для возделывания проса.

#### Список литературы

1. *Растениеводство: учебное пособие*/ Ф.М. Стрижева, Л.Е. Царева, Ю.Н. Титов. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. – 79 с.
2. *Просвиркина А.Г.* Агрометеорологические условия и продуктивность проса. Л.: Гидрометеоздат, 1985. - 13 с.
3. *Анохина Т.А., Чирко Е.М.* Оценка адаптивности сортов проса Белорусской селекции.
4. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
5. *Сабинин Д.А.* Физиология развития растений. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 195 с.
6. *Серебрякова Т.И.* Морфогенез побегов и эволюция жизненных форм злаков. – М.: Наука, 1971. – 358 с.
7. *Синнот Э.* Морфогенез растений. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. – 603с.

#### **Динаміка біомаси окремих органів рослин проса в Південному степу. Сіряк Н.В.**

*На основі польових експериментів встановлені закономірності динаміки біомаси органів рослин проса.*

**Ключові слова:** *просо, польові дослідження, фітоелементи, рослинні проби.*

#### **Dynamics of biomasses of separate organs of plants millet in the South steppe. Siryak N.V.**

*On the basis of the field experiments the conformities to the law of dynamics of biomasses of organs of plants of millet are set.*

**Keywords:** *millet, field experience, fitoelements, vegetable tests.*

УДК 556.166

Гопченко Е.Д., д.г.н., Бурлуцкая М.Э., к.г.н., Романчук М.Е., к.г.н., Авгайтис С.В.\*

Одесский государственный экологический университет

\*Херсонский гидрометеорологический техникум

## НОРМИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В БАССЕЙНЕ Р.СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ НА БАЗЕ ФОРМУЛ ОБЪЕМНОГО ТИПА

*В статье обосновывается вариант расчетной методики для нормирования характеристик максимального стока весеннего половодья.*

**Ключевые слова:** максимальный сток весеннего половодья, объемные формулы, нормирование расчетных характеристик.

**Введение.** В настоящее время в Украине при расчете характеристик максимального стока весеннего половодья используется структура редуцированного типа [1]. В теоретическом плане она опирается на одномодальный гидрограф и допущение о возможности осреднения по территории продолжительности склонового притока  $T_0$ . Последнее для весеннего половодья вообще, а в пределах Украины, в частности, скорее является исключением, чем правилом.

**Целью статьи,** учитывая сказанное, а также то обстоятельство, что с момента введения в расчетную практику нормативного документа СНиП 2.01.14-83 прошло более 30 лет, является разработка нового варианта государственного стандарта (или совершенствования действующего ныне) с использованием более современных теоретических моделей. Причем в качестве обязательного условия должна быть реализована операторная структура вида "склоновый приток-русловой сток", а не простая эмпирическая увязка характеристик максимального стока только с размерами речных водосборов.

Как вариант, авторами статьи предлагается для этой цели использовать структуру объемных формул. Наиболее полно объемные формулы представлены в работах Д.Л. Соколовского [2]. Базовое уравнение имеет вид

$$q_m = \frac{Y_m}{T_n} (1 + \gamma) f, \quad (1)$$

где  $q_m$  – максимальный модуль стока;

$Y_m$  – слой стока за период половодья;

$T_n$  – продолжительность половодья;

$\gamma = \frac{t_{cn}}{t_n}$  – соотношение продолжительностей спада ( $t_{cn}$ ) и подъема ( $t_n$ ) половодий;

$f$  – коэффициент, зависящий от формы русловых гидрографов, причем

$$f = \frac{(m_1 + 1)(n_1 + 1)}{(n_1 + 1) + \gamma(m_1 + 1)}, \quad (2)$$

$m_1$  и  $n_1$  – показатели степени в параболических уравнениях подъема ( $m_1$ ) и спада ( $n_1$ ) русловых гидрографов.

На практике формула вида (1) широкого применения не нашла, вследствие отсутствия необходимых данных для обоснования входящих в нее параметров, в частности  $T_n$ ,  $t_{cn}$ ,  $t_n$ ,  $m_1$  и  $n_1$ . Более перспективным можно считать вариант объемной

формулы, предложенный в работе [3]. Как и в модели Д.Л. Соколовского, рассматривается одномодальный гидрограф, но представленный в развертке от максимального значения. Описывается он уравнением

$$q_t = q_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_n} \right)^m \right], \quad (3)$$

где  $m$  – показатель степени редуccionного гидрографа стока  $\frac{q_t}{q_m} = f\left(\frac{t}{T_n}\right)$ . После интегрирования (3) по  $T_n$  и несложных преобразованиях предложено расчетное уравнение для искомой величины  $q_m$ , т.е.

$$q_m = \frac{m+1}{m} \cdot \frac{Y_m}{T_n}, \quad (4)$$

где  $\frac{m+1}{m}$  – коэффициент временной неравномерности руслового стока в течение весеннего половодья. Согласно (4),

$$\frac{m+1}{m} = \frac{q_m \cdot T_n}{Y_m} = \frac{q_m}{q_{T_n}}, \quad (5)$$

$q_{T_n}$  – средний за половодье модуль речного стока.

Если сравнивать между собой формулы (1) и (4), то очевидно, что

$$(1+\gamma) f = \frac{m+1}{m} \quad (6)$$

В ряде работ [3,4] показано, что в отличие от  $(1+\gamma) f$ , параметр  $\frac{m+1}{m}$  не только можно определить, но даже и нормировать путем построения зависимостей вида  $\frac{m+1}{m} = f(F)$ , где  $F$  – площадь водосборов. Более проблемным является вопрос о нормировании  $T_n$ , который по своей природе довольно сложный, т.к.

$$T_n = T_0 + t_p + \Delta t, \quad (7)$$

где  $T_0$  – продолжительность склонового притока за половодье;

$t_p$  – время руслового добегания волны половодья;

$\Delta t$  – время опорожнения русло-пойменной емкости.

Поскольку  $T_0$  и  $\Delta t$  в принципе величины неизмеряемые, авторами [4] рекомендован следующий методический прием. Числитель и знаменатель в правой части (4) домножается на  $(T_0 + t_p)$ , в результате чего

$$q_m = \frac{m+1}{m} \cdot \frac{Y_m}{T_0 + t_p} \cdot k_n, \quad (8)$$

где  $k_n$  – коэффициент, учитывающий эффекты русло-пойменного регулирования, причем

$$k_n = \frac{T_0 + t_p}{T_n}, \quad (9)$$

Из (8) видно, что в нем неизвестными являются  $k_n$  и  $T_0$ . В [4] приводится разработанный итерационный алгоритм, позволяющий путем наложения ограничений на  $T_0$  и  $k_n$ , в несколько этапов обосновать оба искомого параметра и тем самым расчетную схему довести до практического применения. И тем не менее, несмотря на успешное решение (8), в нем не реализуется имеющий место в природе оператор трансформации “склоновый приток-руслевой сток”. С другой стороны, не совсем четко интерпретируется параметр  $k_n$ , т.к. в (9) не выделены в отдельные категории составляющие распластывания и русло-пойменного регулирования.

**Предлагаемая структура расчетной схемы для нормирования характеристик максимального стока весеннего половодья.** Как отмечалось выше, авторы своей целью поставили построение такой методики, в которой реализуется математическая модель “склоновый приток-руслевой сток”. При этом склоновый гидрограф описывается уравнением [3]

$$q'_i = q'_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_0} \right)^n \right], \quad (10)$$

а русловой – уравнением (3), где:  $q'_i$  – максимальный модуль редуцированного гидрографа склонового притока, а  $q'_m$  – соответственно его максимальное значение. В результате интегрирования (3) и (10), соответственно по  $T_0$  и  $T_n$ , получим

$$q_m = \frac{m+1}{m} \bigg/ \frac{n+1}{n} \cdot q'_m \frac{T_0}{T_n}, \quad (11)$$

где  $\frac{m+1}{m} \bigg/ \frac{n+1}{n}$  - коэффициент трансформации формы гидрографов руслового стока (по отношению к склоновому).

Введем обозначения  $\frac{m+1}{m} \bigg/ \frac{n+1}{n} = k_m$  и  $\frac{T_0}{T_n} = k_F$ .

Исследования ряда авторов [4,5,6] показали, что  $k_m$  своим верхним пределом имеет единицу (при  $F = 0$ ), а в дальнейшем убывает с ростом размеров водосборов. Более сложной является структура параметра  $k_F$ , поскольку он равен (в развернутом виде) отношению

$$k_F = \frac{T_0}{T_n} = \frac{T_0}{T_0 + t_p + \Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0} + \frac{\Delta t}{T_0}} \quad (12)$$

Из (12) следует, что являясь редуцированным, коэффициент  $k_F$  включает в себя две составляющие – распластывания (5 – при помощи соотношения  $t_p / T_0$ ) и русло-пойменного регулирования половодий (при помощи  $\Delta t / T_0$ ). Так как обе составляющих зависят от размеров водосборов, то естественным является их объединение в один комплексный параметр  $k_F$ , который назовем коэффициентом распластывания половодий под влиянием времени руслового добега и русло-пойменного регулирования. Таким образом, вместо (11) запишем его расчетный вариант

$$q_m = q'_m \cdot k_m \cdot k_F \cdot r, \quad (13)$$

где  $q'_m$  – максимальный модуль склонового притока, который равен, после интегрирования (10) по  $T_0$ ,



$$q'_m = 0.28 \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot Y_m, \quad (14)$$

$r$  – коэффициент зарегулирования максимальных модулей проточными озерами и водохранилищами.

Блок-схема расчетного варианта (13) представлена на рис. 1

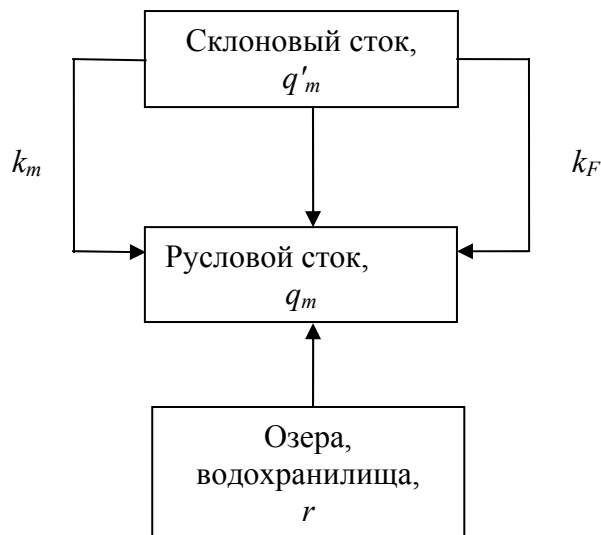


Рис.1 - Принципиальная схема трансформации склонового притока русловой сетью.

**Практическая реализация расчетной схемы (13).** В качестве объекта исследования рассматривается бассейн реки Северский Донец. Наиболее крупные левобережные его притоки берут начало на юго-восточных и восточных склонах Среднерусской возвышенности, менее значительные левые притоки стекают с западных, северных и восточных склонов Донецкого кряжа. По характеру почв бассейн Северского Донца разделяется на три существенно различные части [7]: верхнюю (северную) – лесостепную; среднюю правобережную кряжевую (Донбасс) и среднюю левобережную (задонецкую). По растительному покрову выделяют [7] две зоны – лесостепную и степную. Температурный режим в пределах бассейна реки неустойчивый. Разность между средними многолетними температурами в северных и южных регионах территории достигает  $5^{\circ}\text{C}$  и больше. Основное питание реки и её притоков связано с весенним снеготаянием. Причем, снежный покров распределяется крайне неравномерно. Наибольшая высота снежного покрова и продолжительность снеготаяния отмечаются в северной части территории. Средние из максимальных запасов снега достигают здесь 80-90 мм, постепенно уменьшаясь в южном направлении до 40-50 мм (с колебаниями от 30 до 85 мм). Что касается южных регионов, то здесь снеготаяния вообще невелики из-за неустойчивости снежного покрова.

Водный режим рек характеризуется хорошо выраженным весенним половодьем и летне-осенней меженью, которая часто нарушается дождевыми паводками. В многоводные годы на долю весеннего половодья приходится до 70-80% годовой суммы, в средние – до 60-70%, а в маловодные – до 50-60%.

При обосновании параметров расчетной схемы (13) использованы данные по максимальному стоку весеннего половодья на 32 гидрологических постах. Они охватывают водосборные площади от 189 (р.Лопань-Казачья Лопань) до 73200 км<sup>2</sup>

(р.Северский Донец-Кружиловка), а периоды наблюдений изменяются от 31 (р.Бахмут-Артемовск) до 75 лет (р.Северский Донец-Лисичанск).

Статистическая обработка временных рядов слоев стока и максимальных расходов весеннего половодья выполнена с использованием методов моментов и наибольшего правдоподобия. Установлено, что слои стока опорной обеспеченности (при  $P = 1\%$ )  $Y_{1\%}$  изменяются в довольно широком диапазоне, но характеризуются хорошо выраженной зависимостью от широтного положения водосборов, т.е.

$$Y_{1\%} = (Y_{1\%})_{\varphi=50} + 25,9 (\varphi^\circ - 50), \quad (15)$$

где  $\varphi^\circ$  - широта геометрических центров водосборов, град. с.ш.;

$(Y_{1\%})_{\varphi=50}$  – слой стока  $Y_{1\%}$  при широте  $\varphi = 50^\circ$  с.ш.

Параметр  $k_m$ , представляющий собой отношение

$$k_m = \frac{m+1}{m} \bigg/ \frac{n+1}{n}, \quad (16)$$

был определен по данным гидрологической сети постов. С этой целью на основе (5) были рассчитаны сначала коэффициенты временной неравномерности  $\frac{m+1}{m}$ , а затем осуществлено их обобщение в зависимости от площади водосборов  $F$ , причем

$$\frac{m+1}{m} = 7,5 - 1,06 \lg (F + 1); r = 0,69. \quad (17)$$

Для получения расчетного параметра  $k_m$  достаточно (17) представить следующим образом

$$k_m = \frac{m+1}{m} \bigg/ 7,5 = 1 - 0,14 \lg (F + 1), \quad (18)$$

где 7,5 – значение коэффициента временной неравномерности склонового притока  $\frac{n+1}{n}$ . Он является базовым не только в уравнении (18), но также и при установлении максимального модуля склонового притока  $q'_{1\%}$ .

Что касается продолжительности склонового притока  $T_0$ , то как неизмеряемый параметр, она находилась обратным расчетом, опираясь на выражение (8). В бассейне Северского Донца финальные значения  $T_0$  изменяются в пределах от 261 (р.Казенный Торец-пгт.Райское) до 144 час (р.Айдар-с.Новоселовка). Проверка пространственного ряда  $T_0$  на нормальность показывает, что  $T_0$  в общем имеет случайное распределение и следовательно подлежит осреднению (в рассматриваемом регионе  $\bar{T}_0 = 189$  час).

Располагая  $Y_{1\%}$ ,  $T_0 = 189$  час и  $\frac{n+1}{n} = 7,5$ , не представляет сложности вычисление максимальных модулей склонового притока  $q'_{1\%}$ , т.к. согласно (14)

$$q'_{1\%} = 0,28 \cdot 7,5 \cdot \frac{Y_{1\%}}{189} = 0,011 Y_{1\%} \quad (19)$$

В бассейне Северского Донца модуль склонового притока  $q'_{1\%}$  в среднем изменяется от 0,98 (при  $\varphi = 48,2^\circ$  с.ш.) до 1,92 м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup> (при  $\varphi = 51,5^\circ$  с.ш.), подчиняясь в общем широтной закономерности, т.е. увеличиваясь с юго-востока на северо-запад. Неизвестный в уравнении (14) параметр  $k_F$  может быть установлен в результате обратных расчетов, поскольку

$$k_F = \frac{T_0}{T_n} = (q_{1\%}/q'_{1\%}) \bigg/ k_m \quad (20)$$

В дальнейшем  $k_F$  подлежит пространственному обобщению в виде построения зависимости  $k_F = f(F)$ , которая показана на рис.2.

Описывается зависимость уравнением

$$k_F = e^{-0,49 \lg(F+1)} \quad (21)$$

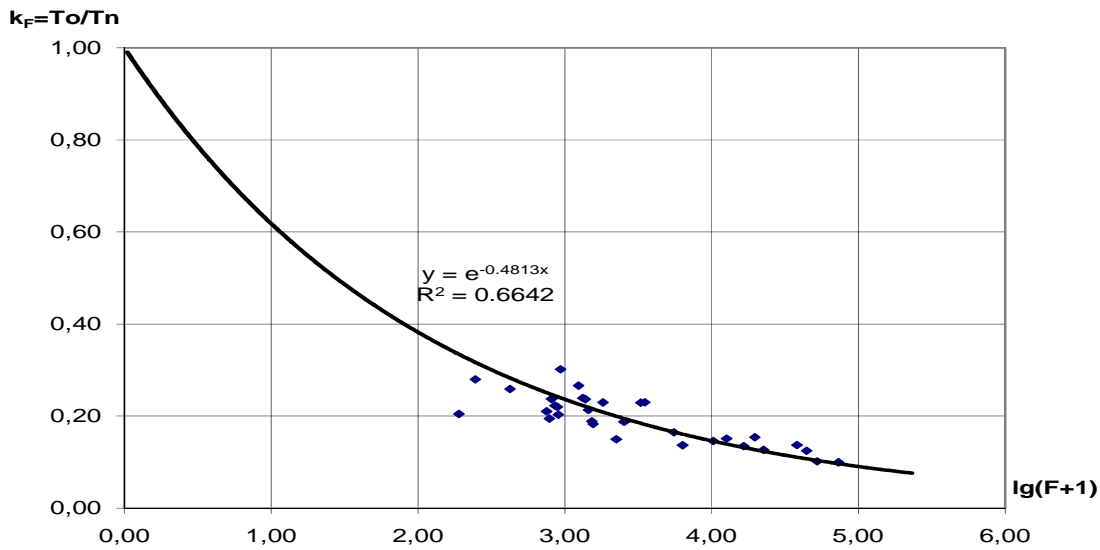


Рис.2 - Зависимость коэффициента русло-пойменного зарегулирования максимальных модулей весеннего половодья в бассейне р.Северский Донец.

**Выводы:** Анализ структуры объемных формул показывает, что они могут быть преобразованы к операторному виду трансформации «склоновый приток-руслевой сток». В качестве базовой характеристики в предлагаемом варианте расчетной схемы используется модуль склонового притока  $q'_{1\%}$ , который является потенциальным предельным региональным значением максимального стока весеннего половодья.

Рекомендуемая методика для нормирования характеристик максимального стока весеннего половодья в бассейне р.Северский Донец доведено до практического применения. Ее точность в пределах этого объекта находится на уровне точности исходной информации по максимальному стоку.

#### Список литературы

1. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л., Гидрометеиздат, 1984. - 448 с.
2. Соколовский Д.Л. Речной сток. Л., Гидрометеиздат, 1968. - 538 с.
3. Гопченко Е.Д. О редуцированных формулах максимального стока. Тр. Укр. НИГМИ, вып. 175, 1980. - с.85-94.
4. Гопченко Е.Д., Сербов Н.Г. Метод расчета максимального стока весеннего половодья рек Западно-Сибирской равнины. Метеорология и гидрология, №5, 1990. - с.79-85.
5. Гопченко Е.Д. Анализ структуры объемных формул. Метеорология, климатология и гидрология, вып. 12, 1976. - с.84-90.
6. Гопченко Е.Д., Симонова Т.А. О расчете максимальных расходов весеннего половодья в бассейне р.Оки. Водные ресурсы, №6, 1981. - с.54-61.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л., Гидрометеиздат, т.6, вып. 3, 1964. - 490 с.

**Нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р.Сіверський Донець на базі формул об'ємного типу.** Гопченко Є.Д., Бурлуцька М.Є., Романчук М.Є., Авгайтис С.В.

*В статті обґрунтовується варіант розрахункової методики для нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля.*

**Ключові слова:** максимальний стік весняного водопілля, об'ємні формули, нормування розрахункових характеристик.

**Setting of norms of descriptions of maximal runoff of spring flood in a river basin Severskiy Donets on the base of formulas of volume type.** Gopchenko E.D., Burlutskaya M.E., Romanchuk M.E., Avgaitis S.V.

*The variant of calculation method for setting of norms of descriptions of maximal runoff of spring flood is grounded in the article.*

**Keywords:** maximal runoff of spring flood, by volume formulas, setting of norms of calculation descriptions.

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНОГО ПРОЦЕССА В ПРЕДЕЛАХ БАЛОЧНОГО ВОДОСБОРА**

*Представлены результаты моделирования поверхностного стока, смыва почвы, транспорта и отложения наносов в пределах водосбора балки Николаевка (юг Одесской области) с использованием Лимбургской модели водной эрозии (LISEM). Рассмотрена проблема оценки коэффициента выноса склоновых наносов. Показано, что коэффициент выноса наносов изменяется не только с изменением площади водосбора, но и в зависимости от обеспеченности смывообразующего ливня.*

**Ключевые слова:** эрозионно-аккумулятивный процесс, геоинформационное моделирование, LISEM, коэффициент выноса наносов, Одесская область.

**Введение.** Водная эрозия почв, являющаяся наиболее распространенным и опасным почвенным деградационным процессом, оказывает многостороннее негативное влияние на ландшафты. В частности, продукты эрозионного разрушения почв, отлагаясь в долинах рек, являются одной из главных причин исчезновения малых рек, обуславливают заиление прудов и водохранилищ, увеличивают мутность речных вод и содержание в них тяжелых металлов, ядохимикатов и других загрязнителей, переносимых наносами в адсорбированном виде. Все это делает весьма актуальной задачу количественной оценки и прогноза смыва почвы и перераспределения наносов по различным звеньям гидрографической сети. Необходимо констатировать, что в настоящее время основное внимание сосредоточено на исследованиях и математическом моделировании смыва (или эрозионных потерь) почвы, обуславливающих снижение почвенного плодородия и деградацию земельных ресурсов. Наиболее известной в мире математической моделью такого типа является Универсальное уравнение потерь почвы (USLE/RUSLE), в Украине – логико-математическая модель эрозионных потерь почвы Г.И.Швебса (1974, 1981), математико-статистическая модель, разработанная в бывшем УкрНИИЗПЭ (1987) и формула И.К.Срибного (1979, 1993). Все они ограничиваются рассмотрением процесса эрозии на склоне, при этом не учитывают перераспределение наносов по склону и не предназначены для оценки выноса наносов в гидрографическую сеть, а тем более – перераспределения их по ее звеньям. При этом существует огромный разрыв между смывом почвы, измеряемым на стоковых площадках или рассчитываемым с использованием математических моделей смыва и стоком наносов, измеряемым в гидрометрических створах, замыкающих речные водосборы.

Оцененное по данным специально проведенных исследований на отдельных небольших водосборах соотношение между выносом наносов через замыкающий створ и смывом почвы на склонах (называемое «коэффициентом доставки наносов» [1], «коэффициентом выноса наносов» [3], а в англоязычной литературе - «sediment delivery ratio», «SDR») изменяется в весьма широких пределах – практически от 1 до 0.

Установлено [1, 3, 4, 7, 8, 12, 13, 15 и др.] уменьшение коэффициента выноса наносов  $K_B$  с ростом площади водосбора в виде степенной зависимости

$$K_B = aF^{-0,2}, \quad (1)$$

где  $F$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>;  $a$  – эмпирический коэффициент, величина которого определяется «ландшафтными условиями водосбора, его распаханностью и обводненностью» [3]. Определены средние региональные значения коэффициента  $a$  для бассейнов Днестра и Волги равные 0,25, для бассейнов Днестра и Дона - 0,75 [3, 4].

Зависимость (1) с определенными значениями параметра  $a$  используется на практике. К сожалению, экспериментальная информационная база для оценки коэффициентов выноса наносов чрезвычайно мала. По-видимому, этим объясняется столь существенное различие (в три раза) в величине коэффициента  $a$  для, например, сходных по своим «ландшафтным условиям» бассейнам Волги и Дона. Представляется также, что вряд ли допустимо сведение зависимости коэффициента выноса наносов от множества определяющих его факторов к виду (1) для значительных по размерам территорий.

Необходимо отметить также, что в целом проблема перераспределения наносов в бассейнах рек, особенно малых, является малоизученной. Нельзя не согласиться с В.Н.Голосовым [2], что одним из наиболее слабо изученных вопросов является количественная оценка переотложения материала в пределах склонов и в днищах долин суходольной сети. Между тем, именно достоверная оценка их буферной роли определяет точность определения вклада бассейновой составляющей в сток речных наносов.

**Материалы и методы исследования.** Одним из наиболее эффективных методов исследования пространственных закономерностей процессов смыва-аккумуляции в пределах речных водосборов в различных природно-хозяйственных условиях, а также оценки и прогноза выноса наносов за их пределы является метод имитационного моделирования на основе адекватной математической модели эрозионно-аккумулятивного процесса. Математическими моделями, способными обеспечить решение рассматриваемых задач, являются физически обоснованные динамические пространственно-распределенные модели эрозионного процесса, к которым относятся модели EUROSEM [9], LISEM [5], эрозионный модуль модели RUNTOX [6] и некоторые другие.

Анализу результатов имитационного моделирования смыва-аккумуляции в пределах балочного водосбора, расположенного на юге Одесской области и выноса наносов за его пределы с использованием Лимбургской модели водной эрозии (LISEM), верификация которой в природно-хозяйственных условиях Украины выполнена в рамках международного проекта SPARTACUS [14], и посвящена настоящая статья.

Модель LISEM описывает все основные составляющие процесса формирования поверхностного стока (перехват осадков растениями, поверхностное задержание, инфильтрацию), смыв почвы (разрушение почвы каплями дождя, отрыв частиц водным потоком), движение воды, транспорт и аккумуляцию наносов как на склоне, так и в русловой сети. Основу математической модели составляет система дифференциальных уравнений баланса массы (неразрывности) воды и наносов и движения для склонового и руслового стока, применительно к жидкому стоку известная как система уравнений кинематической волны. В модели предоставляется возможность выбора, прежде всего, в зависимости от обеспеченности исходными данными, расчетной модели инфильтрационных потерь стока, в том числе, с использованием постоянного коэффициента фильтрации, на основе уравнения Холтана, одно- и двухслойного уравнения Грина-Эмпта, уравнения влагопереноса. Особенностью модели является то, что ее пространственная (двухмерная) реализация выполнена с использованием возможностей ГИС-пакета PCRaster [10], в связи с чем и подготовка входных пространственно-распределенных данных, и пространственное представление результатов моделирования реализуется с использованием современных возможностей геоинформационных технологий. Входные пространственно-распределенные данные модели задаются в виде растровых электронных карт, подготовленных в формате пакета PCRaster, характеризующих рельеф, почвы, характер землепользования,

растительность на водосборе, а также морфометрию и гидравлические сопротивления русла и поймы. Результатом моделирования являются цифровые карты стока, смыва и аккумуляции, а также табличные данные, характеризующие ход стока, смыва, мутность воды и итоговые их величины в нескольких (до 3-х) предварительно заданных створах.

В качестве тестового водосбора выбран водосбор балки Николаевка площадью 287,4 км<sup>2</sup>, расположенной на юге Причерноморской низменности (в Белгород-Днестровском районе Одесской области), с очень спокойным, в верхней части подовым, рельефом. Средний уклон водосбора равен 0,006 (хотя на отдельных участках достигает 0,03-0,05), диапазон высот - 4,6-81,6 м, максимальное превышение водоразделов над тальвегом – около 21 м. Почвенный покров представлен черноземами южными малогумусными тяжелосуглинистыми, в средней и нижней части водосбора местами слабо- и среднесмытыми, что свидетельствует об активном проявлении здесь эрозионных процессов. Практически весь водосбор распахан и используется для выращивания сельскохозяйственных культур. По днищу балки расположено несколько небольших сел – Полевое, Черкесы, Авидовка, Адамовка и Николаевка, общая площадь которых составляет около 3 % площади ее бассейна.

Набор входных растровых карт, включающий цифровую модель рельефа, карты почв, землепользования, растительности (рис. 1), транспортной инфраструктуры, водно-физических свойств почв и параметров гидравлической шероховатости подстилающей поверхности создан с использованием крупномасштабных топографической и почвенной карт и космического снимка высокого разрешения с сайта Google Earth. Размер ячейки растра 20x20 м, размер растра 955x1857.

Построение гидрологически корректной цифровой модели рельефа выполнено методом обыкновенного точечного Кригинга с использованием пакета Gstat [11].

В процессе исследований реализованы три сценария имитационных

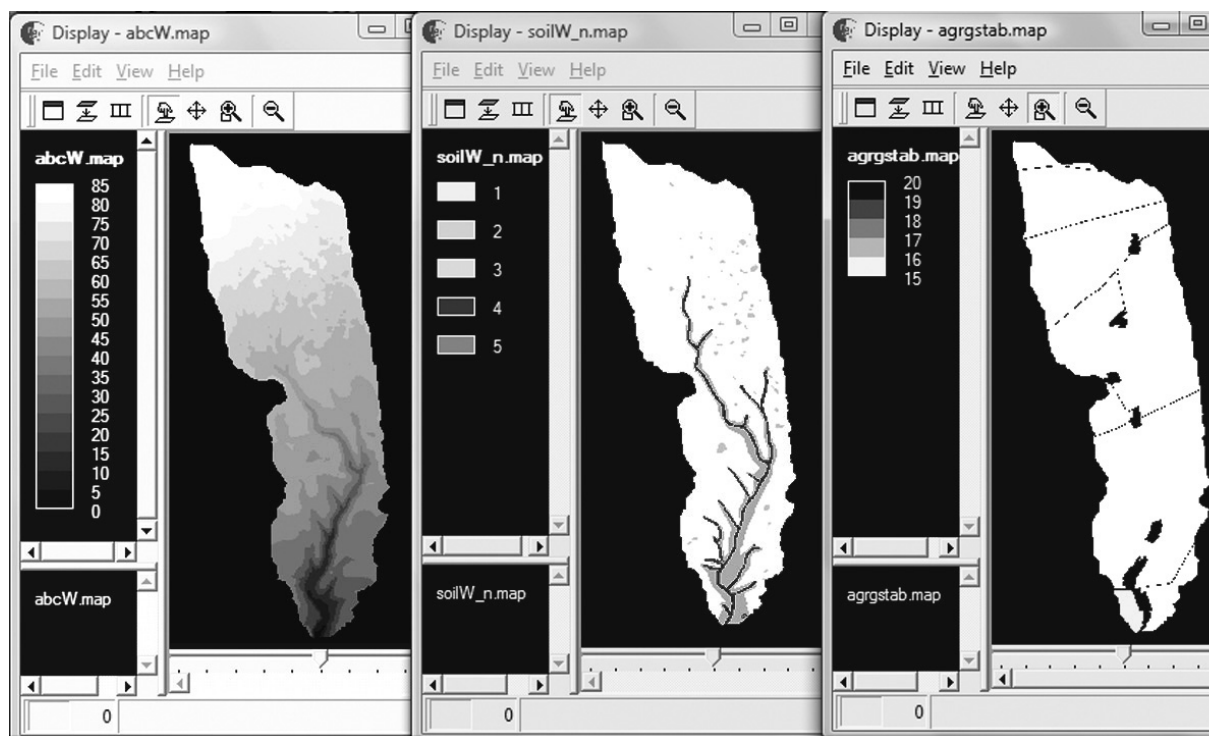


Рис. 1 - Базовые цифровые карты имитационного моделирования: цифровая модель рельефа, карта почв и населенных пунктов и дорожной сети балки Николаевка в окне пакета PCRaster.

экспериментов по моделированию стока, смыва и аккумуляции наносов: 1) при выпадении расчетного ливня повторяемостью 1 раз в 10 лет (10%-ой обеспеченности), 2) при выпадении расчетного ливня повторяемостью 1 раз в 20 лет (5%-ой обеспеченности) и 3) при выпадении расчетного ливня повторяемостью 1 раз в 100 лет (1%-ой обеспеченности). Во всех сценариях моделирование выполнялось для средних для летнего периода условиях предшествующего увлажнения водосбора (начальная объемная влажность верхнего полуметрового слоя почвы равна 0,22) и существующей структуре землепользования и посевных площадей.

Во всех сценариях, кроме построения карт пространственного распределения основных характеристик эрозионного процесса – потерь, стока, смыва, аккумуляции, в автоматическом режиме с заданным временным шагом фиксировался ход расчетного стока воды, смыва почвы, мутности и аккумуляции в двух створах – замыкающем (створ № 2) и расположенном в средней части водосбора (створ № 1), в месте концентрации поверхностного стока в тальвег балки и формирования русла с площадью водосбора 194,7 км<sup>2</sup>.

**Результаты исследований и их анализ.** В процессе реализации первого сценария имитационного моделирования установлено, что выпадение ливня 10%-ой обеспеченности при принятых (средних) условиях предшествующего увлажнения вызывает лишь следы стока и полное отсутствие выноса наносов через замыкающие створы № 1 и № 2, а диспергированный в результате эрозии разбрызгивания твердый материал полностью остается на склонах. Коэффициент выноса наносов в этом случае равен нулю.

Существенно иные результаты получены при реализации второго и третьего сценариев имитационного моделирования (табл. 1). Расчетные средние по площади водосбора модули смыва почвы при выпадении ливня 5%-ой обеспеченности для верхней части балочного водосбора (до створа № 1) составили 0,036 т/га, для всего водосбора (до створа №1) – 0,144 т/га. Расчетные средние модули смыва в результате выпадения ливня 1%-ой обеспеченности составили 14,4 и 13,9 т/га, соответственно.

Таблица 1 - Основные показатели водно-эрозионного процесса по результатам реализации сценариев № 2 и № 3

Створ, водосбора	площадь	Слой смывообразующих осадков, мм	Слой стока, мм	Коэффициент стока	Средние потери почвы, т/га	Коэффициент выноса наносов
Расчетный ливень 5%-ой обеспеченности						
Створ 1, $F=194,7$ км <sup>2</sup>		50,1	4,48	0,089	0,036	0,003
Створ 2, $F=287,4$ км <sup>2</sup>		50,1	4,21	0,084	0,144	0,010
Расчетный ливень 1%-ой обеспеченности						
Створ 1, $F=194,7$ км <sup>2</sup>		103,6	43,2	0,416	14,4	0,252
Створ 2, $F=287,4$ км <sup>2</sup>		103,6	43,1	0,417	13,9	0,223

При этом коэффициент выноса наносов существенно изменялся и от створа к створу, и в зависимости от интенсивности и слоя ливня. Так, для ливня 5%-ой обеспеченности для верхней части водосбора балки, имеющей плоский подовый рельеф, коэффициент выноса наносов составил всего лишь 0,003, а для всего балочного водосбора – 0,01, т.е. величину, более чем в три раза большую. Для ливня 1%-ой обеспеченности при существенно большем коэффициенте стока, для обоих створов равном 0,42, коэффициент выноса наносов для створа № 1 составил 0,252, для створа

№ 2 – 0,223. То есть величина коэффициента выноса при ливне 1%-ой обеспеченности по сравнению с ливнем 5%-ой обеспеченности увеличилась на 1-2 порядка, причем соотношение их для двух створов изменилось на противоположное – в нижнем створе  $K_B$  для 1%-го ливня стал несколько меньшим по величине, чем в верхнем. Таким образом, результаты моделирования показывают, в частности, существенную изменчивость коэффициента выноса и по длине балочного водосбора, и с изменением слоя и интенсивности стока. При этом для ливня 5%-ой обеспеченности имеет место противоречащее модели (1) увеличение коэффициента выноса наносов с ростом площади водосбора.

Анализ карт пространственного распределения характеристик эрозионного процесса, сгенерированных в процессе имитационного моделирования для заданных моментов времени, показывает, насколько малоинформативными являются средние по площади величины смыва почвы. На большей части водосбора балки в связи с очень малыми уклонами ( $<0,005$ ) смыв почвы близок к нулю. В верхней части водосбора балки незначительный смыв отмечается на склонах крупных подов и на отдельных участках верхних звеньев гидрографической сети. При этом в днищах подов отмечается аккумуляция твердого материала, а в тальвегах гидрографической сети участки смыва чередуются с участками аккумуляции наносов. К тому же последние преобладают. Слой аккумулярованного материала уже при ливне 5%-ой обеспеченности в днище балки на отдельных участках достигает 20 см и более. В пределах же нижней части водосбора балки на выпуклых частях склонов расчетный смыв почвы при ливне 5%-ой обеспеченности составляет 40-60 т/га, а при 1%-ом ливне - 120-160 т/га, обуславливая интенсивную деградацию почвенного покрова. Большая часть смываемого с выпуклых участков склонов твердого материала аккумулируется на нижних вогнутых участках склонов и на днище балки и ее притоков (рис. 2).

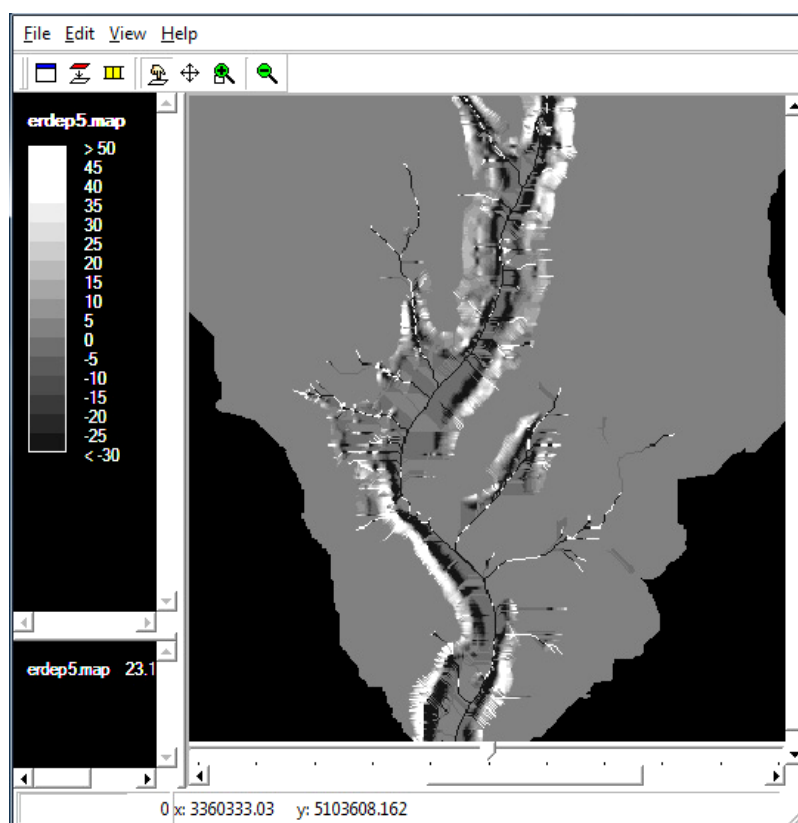


Рис. 2 - Фрагмент (нижняя часть) карты расчетных характеристик смыва почвы (положительные значения) и аккумуляции наносов (отрицательные значения), т/га, в результате выпадения ливня 5%-ой обеспеченности.



Анализ карт пространственного распределения смыва почвы, аккумуляции и выноса твердого материала через замыкающие створы, а также соотношения между составляющими эрозионно-аккумулятивного процесса в пределах различных частей бассейна наглядно показывают весьма сложную пространственную структуру эрозионного процесса, без учета которой невозможно обоснование адекватной системы противоэрозионных мероприятий. С другой стороны, эти материалы могут рассматриваться как демонстрация возможностей технологии географических информационных систем по решению задач, связанных с оценкой и прогнозом характеристик эрозионных потерь почвы.

**Выводы.** 1) В современных условиях имитационное геоинформационное моделирование эрозионного процесса, основывающееся на адекватной физически обоснованной динамической математической модели, является одним из наиболее эффективных методов исследования пространственных закономерностей смыва-аккумуляции наносов в пределах бассейнов малых рек.

2) Даже в пределах малых водосборов вследствие сложного характера пространственного распределения смыва-аккумуляции средние по площади количественные характеристики эрозионно-аккумулятивного процесса являются малоинформативными;

3) Коэффициент выноса наносов, являющийся в настоящее время расчетным интегральным показателем баланса наносов в пределах водосборов различного порядка, изменяется не только в зависимости от «ландшафтных особенностей» водосборов, но и от слоя и интенсивности стока, причем это изменение в пределах отдельных водосборов имеет выраженные индивидуальные особенности.

### Список литературы

1. *Голосов В.Н., Иванова Н.Н., Литвин Л.Ф., Сидорчук А.Ю.* Баланс наносов в речных бассейнах рек Русской равнины // Геоморфология. - 1992. - № 4. - С. 62-71.
2. *Голосов В.Н.* Формирование стока наносов в эрозионно-флювиальных системах: состояние проблемы и перспективы исследований // Маккавеевские чтения – 2003. Москва: Изд-во МГУ, 2004. - С. 41-55.
3. *Сидорчук А.Ю.* Эрозионно-аккумулятивные процессы на Русской равнине и проблемы заиления малых рек // Тр. Академии водохозяйственных наук. Водохозяйственные проблемы русловедения. - 1995.- Вып. 1. - С. 74-83.
4. *Сидорчук А.Ю.* Влияние баланса наносов на состояние малых рек в бассейнах Волги, Дона, Днепра, Днестра // Причины и механизм пересыхания малых рек. - Казань, 1996. - С. 27-36.
5. *De Roo A.P.J., Wesseling C.G., Ritserma C.J.* LISEM: A single event physically-based hydrologic and soil erosion model for drainage basins. I: Theory, input and output // Hydrological Processes. - 1996. - № 10. - P. 1107-1117.
6. *Kivva S.L., Zheleznyak M.I.* Event-based <sup>137</sup>Cs redistribution models: the RUNTOX model. In: SPARTACUS: Spatial redistribution of radionuclides within catchments: development of GIS-based models for decision support systems. EC Contract No. IC15-CT98-0215. Final Report. M. Van der Perk, A.A.Svetlitchnyi, J.W. den Besten and A.Wielinga (eds). Utrecht Centre for Environmental and Landscape Dynamics Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University, The Netherlands, 2000. – P.21-35.
7. *Lu H., Moran C., Prosser I., Sivapalan M.* Modelling sediment delivery ratio based on physical principles // Complexity and Integrated Resources Management. Transactions of the 2nd Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software

- Society, edited by C. Pahl-Wostl, S.Schmidt, A.E.Rizzoli, and A.J.Jakeman, 14-17 June 2004, Osnabruck, Germany, 3, 2003. - P. 1117-1122.
8. *Maner S.B.* Factors affecting sediment delivery rates in the Red Hills physiographic area // *Transaction of American Geophysics.* - 1958. - № 39. - P. 669-675.
  9. *Morgan R.P.C, Quinton J.N., Smith R.E., Govers G., Poesen J.W.A., Auerswald K., Chisci G., Torri D., Styczen M.E.* The European soil erosion model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments // *Earth Surface Processes and Landforms.* - 1998. - Vol. 23. - P. 527-544.
  10. *PCRaster manual*, version 2. - Utrecht: Faculty of Geographical Sciences Utrecht University & PCRaster Environmental Software, 1998. - 368 p.
  11. *Pebesma E.J.* Gstat user's manual. – Utrecht, The Netherlands, 2001. – 100 p.
  12. *Richards K.* Sediment delivery and drainage network // *Channel Network Hydrology*, edited by K. Beven and M.J. Kirkby. - 1993. – P. 221-254.
  13. *Roehl J.E.* Sediment source areas, and delivery ratios influencing morphological factors, *International Association of Hydrological Sciences*, 59, 1962. – P. 202-213.
  14. *SPARTACUS: Spatial redistribution of radionuclides within catchments: development of GIS-based models for decision support systems.* EC Contract No. IC15-CT98-0215. Final Report. M. Van der Perk, A.A.Svetlitchnyi, J.W. den Besten and A.Wielinga (eds). - Utrecht Centre for Environmental and Landscape Dynamics Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University, The Netherlands, 2000. - 165 p.
  15. *Walling D.E.* The sediment delivery problem // *Journal of Hydrology.* – 1983. - № 65. - P. 209-237.

**Просторове моделювання ерозійно-аккумулятивного процесу в межах балочного водозбору. Світличний О.О., Корзун Т.В., Погребний І.О.**

*Представлені результати моделювання поверхневого стоку, змиву ґрунту, транспорту і відкладення наносів в межах водозбору балки Миколаївка (південь Одеської області) з використанням Лімбургської моделі водної ерозії (LISEM). Розглянута проблема оцінки коефіцієнта винесення наносів. Показано, що коефіцієнт винесення наносів змінюється не тільки із зміною площі водозбору, але і залежно від забезпеченості зливи, що формує стік.*

**Ключові слова:** *ерозійно-аккумулятивний процес, геоінформаційне моделювання, LISEM, коефіцієнт винесення наносів, Одеська область.*

**Spatial modelling of erosion-sedimentation process within the limits of small flat-bottom valley watershed. Svetlitchnyi A.A., Korzun T.V., Pogrebnyi I.O.**

*The results of modelling of surface runoff, washing off of soil, transport and deposition of alluviums within the limits of Nikolaevka small flat-bottom valley watershed (south of the Odessa region) with usage of the Limburg Soil Erosion Model (LISEM) are presented. The problem of the sediment delivery ratio estimation is considered. It is shown, that the sediment delivery ratio changes not only with the change of area of watershed but also depending on probability of thundershower, which formed runoff.*

**Keywords:** *erosion-sedimentation process, geoinformation modelling, LISEM, the sediment delivery ratio, Odessa region.*

**Н.Г. Сербов, к.г.н., доц., Д.Е. Сухарев, к.ф.-м.н., А.К. Балан, ст.преп.**  
*Одесский государственный экологический университет*

## **МНОГОФАКТОРНЫЙ СИСТЕМНЫЙ И МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭКСТРЕМАЛЬНО ВЫСОКИХ ПАВОДКОВ НА ПРИМЕРЕ р. ДУНАЙ**

*На основе нового метода описания гидрологических систем, базирующегося на многофакторном системном подходе и мультифрактальном формализме, проведено моделирование характеристик экстремально высоких паводков (на примере р. Дунай). Выполнен анализ флуктуационных временных трендов среднемесячных расходов (1989-1998гг.) и оценены величины фрактальных размерностей.*

**Ключевые слова:** метод многофакторного системного моделирования, экстремально высокие паводки.

**Введение.** В современной гидрологии к числу актуальнейших задач относится разработка высоко эффективных, адекватно отражающих физику гидрологического цикла математических моделей, обладающих достаточно высокой степенью корректности и прогнозируемости. Несмотря на наличие огромного числа различных моделей, в т.ч., для моделирования опасных гидрологических явлений (экстремально высоких паводков, наводнений и др.) представляется, что адекватное, количественно надежное описание искомых явлений, по-видимому, еще далеко от своего удовлетворительного уровня [1-20].

Среди них традиционно выделяют так называемые динамические модели расчета и прогноза, базирующиеся на использовании гидродинамических уравнений типа Навье-Стокса или более простого варианта гидродинамических уравнений типа Сен-Венана [1]. Хотя динамические модели обладают рядом весьма важных, хорошо известных достоинств, их корректная реализация по-прежнему далека от удовлетворительного уровня.

В настоящее время активно развивается альтернативное направление моделирования гидрологических характеристик, в рамках которого разработан ряд более простых в вычислительном отношении моделей типа «black-box» моделей [7-13], а также относительно новый класс моделей, основанных на использовании аппарата функций отклика [5-7]. В числе таких моделей следует упомянуть модель OSEU-Hydro-MSFR [12-16], которая основывается на многофакторном системном и мультифрактальном формализмах. Ранее бы проведены тестовые расчеты и детальное сравнение теоретических данных с данными наблюдений по среднесуточным, среднегодовым расходам на примере р. Дунай.

Как показано в работах [12-16], полученные теоретические результаты продемонстрировали достаточно высокую эффективность модели OSEU-Hydro-MSFR и удовлетворительное согласие теории с данными наблюдений [11]. В данной работе на основе модифицированной модели OSEU-Hydro-MSFR выполнено моделирование характеристик экстремально высокого паводка для р. Дунай (экстремальный сценарий). Также выполнен анализ флуктуационных временных трендов среднемесячных расходов (1989-1998гг.) и оценены величины фрактальных размерностей.

**Метод расчета.** Поскольку искомый подход детально излагался в ряде публикаций, здесь мы ограничимся лишь изложением основных блоков метода моделирования. Согласно, [14,16] характеристическая функция выхода нелинейной системы определяется суммой нелинейной компоненты, определяемой мгновенным и

запаздывающим откликом системы, и линейной компоненты, связанной с линейным откликом системы. Мастерное уравнение для функции выхода

$$Q_t = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{n(j)} \sum_{k=i}^{n(j)} U_{i,k}^{(j)} P_{t-i+1}^{(j)} P_{t-k+1}^{(j)} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{k(j)} U_{i+n}^{(j)} P_{t-(i+n)+1}^{(j)}, \quad (1)$$

где  $j=1,2,\dots,J$  – число независимых входов (в т.ч., обусловленных дождевыми осадками),  $J$  – число мини водосборов (в сумме дающих полный водосбор),  $n$  – число временных интервалов, которые соответствуют дождевым осадкам, дающим вклад в мгновенную и запаздывающую составляющие стока (нелинейная часть общей «памяти» водосбора),  $l$  – число аналогичных временных интервалов (линейная часть общей «памяти»),  $(n+l)$  – длина полной «памяти» модели,  $P$  – матрица осадков  $j$  входной серии, соответствующей  $j$ -ой мини-водосборной площади;  $U_{i,k}$  – обозначает дискретные серии ординат нелинейной части функции отклика, которые суммируются далее, скажем, в коэффициент стока,  $U_i$  – то же для линейной части.

Модель калибруется по числу серий отдельных данных по дождевым осадкам и соответствующему стоку. Уравнение (1) с учетом  $p$  ( $p=1, NN$ ) числа серии данных записывается в следующем виде

$$Q_t^p = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{n(j)} \sum_{k=1}^{n(j)} U_{i,k}^{(j)} P_{t-i+1}^{(j),p} P_{t-k+1}^{(j),p} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{l(j)} U_{i+n}^{(j)} P_{t-(i+n)+1}^{(j),p}. \quad (2)$$

Решение уравнения (2) для калибровочной серии  $N$  значений расходов  $Q_1, Q_2, \dots, Q_N$  естественно представимо в вектор-матричной форме

$$Q = P^{(1)}U^{(1)} + P^{(2)}U^{(2)} + \dots + P^{(J)}U^{(J)}. \quad (3)$$

Уравнение (1) может быть также записано в виде

$$Q = PU, \quad (4)$$

где  $P$  – матрица размером  $(N, M)$ ,

$$P = [P^{(1)}P^{(2)}, \dots, P^{(J)}] \quad (5)$$

и  $M = \sum_{j=1}^J mm(j)$ . В результате  $\{P^T P\}$  является квадратной  $(M \times M)$  симметричной

матрицей и  $U$  –  $(M \times 1)$  вектор (столбец). Далее решение уравнения (3) осуществляется стандартными численными методами [12-16].

Для выявления фрактальных особенностей во временных рядах флуктуаций речного стока ранее обычно используется классическая версия мультифрактального формализма (детали в [13-20]). Для однородных фракталов скейлинг описывается одной фрактальной размерностью. Неоднородные объекты характеризуются спектром  $D(q)$  фрактальных размерностей (фрактальная размерность равна  $D(0)$ , а функция  $D(q)$  обычно трактуется как мультифрактальный спектр). Соответствующий сингулярный спектр  $f(\alpha)$  меры  $\mu$  ассоциирует хаусдорфову размерность с сингулярным показателем  $\alpha$ , что позволяет вычислить степень сингулярности  $N_\alpha(\varepsilon) = \varepsilon^{-f(\alpha)}$ , где  $N_\alpha(\varepsilon)$  есть число гиперкубов, необходимых для того, чтобы охватить меру и  $\varepsilon$ -размер каждого гиперкуба. Функция распределения  $Z$  извлекается из этого спектра

$$Z(q, \varepsilon) = \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} m_i^q(\varepsilon) \approx e^{\tau(q)} \text{ for } \varepsilon \rightarrow 0. \quad (6)$$

Здесь  $\tau(q)$  есть спектр, который может быть получен путем преобразованием Лежандра сингулярного спектра  $f(\alpha)$ . Соответственно, из спектра  $\tau(q)$  может быть получен спектр обобщенных фрактальных размерностей. Более детально численные аспекты определения спектра на основе классического фрактального формализма изложены, например, в [3,12].

**Результаты расчета и выводы.** Мы выполнили моделирование характеристик экстремально высоких паводков для р. Дунай (экстремальные сценарии) и провели анализ флуктуационных временных трендов изменения среднемесячных расходов на участке от станции Девин (Братислава) до станции Нагимарос р. Дунай в период с 1989г. по 1998г. Детальное описание искомого участка дано в работе [11]. Модельный расчет в целом продемонстрировал физически разумное согласие рассчитанных и эмпирических значений среднемесячных расходов на участке от станции Девин (Братислава) до станции Нагимарос р. Дунай в период с 1989г. по 1998гг. Модель обеспечивает прогноз временных флуктуаций среднемесячных расходов в близком согласии (отличие не превышает 10%) с эмпирическими данными [11]. Искомые данные по среднемесячным расходам воды на участке от станции Devin (Bratislava) до станции Achleiten р. Дунай в период с 1989г. по 1998г. представлены на рис.1. Далее была выполнена оценка спектра фрактальных размерностей для временного ряда среднемесячных расходов на участке р. Дунай от станции Девин (Братислава) до станции Нагимарос. Расчет показал, что соответствующие фрактальные размерности лежат в интервале [1.4-1.9]. Зная соответствующий мультифрактальный спектр, далее решается задача восстановления и прогноза среднемесячных расходов в любом интересующем интервале [18-20].

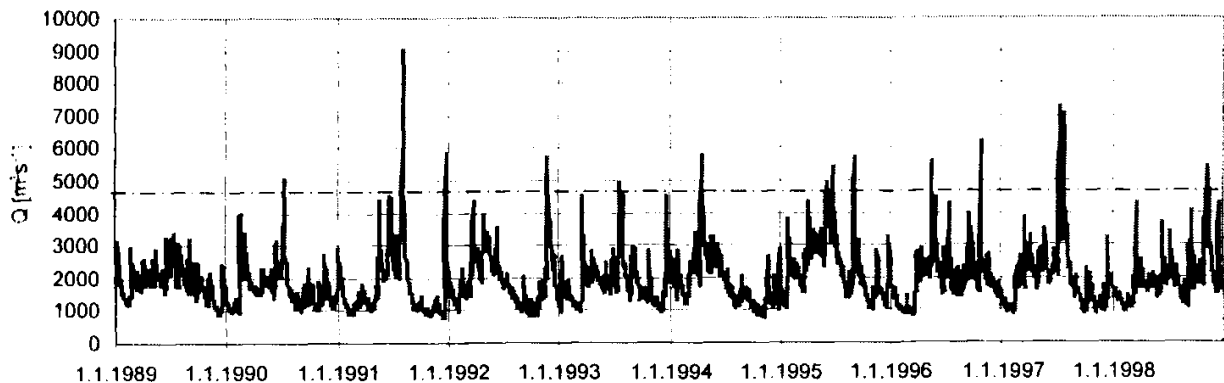


Рис. 1 – Среднемесячный расход воды на участке от станции Девин (Братислава) до станции Нагимарос р. Дунай в период с 1989г. по 1998г.

В табл. 1 приведены результаты численного моделирования характеристик экстремально высокого паводка (сценарий наводнения). Детальный анализ и сравнение результатов и возможностей нашего метода показывает, что примененная в работе системная модель позволяет отследить количественно приемлемо паводочные расходы в случае экстремальных событий. Разумеется, критичным моментом модели является ее правильная калибровка и настройка. Решение этого вопроса может привести к дальнейшему улучшению возможностей.

Таблица 1 – Рассчитанные расходы (в м<sup>3</sup>/с), соответствующие экстремальному паводку.

Дата	Куново	Медведово	Комарно
4.8. 0:00	5136	3940	3556
4.8. 3:00	5475	4174	3657
4.8. 6:00	5713	4404	3778
4.8. 9:00	5929	4620	3905
4.8. 12:00	6039	4820	4050
4.8. 15:00	6182	5002	4195
4.8. 18:00	6304	5180	4340
4.8. 21:00	6395	5340	4485
5.8. 0:00	6474	5485	4628
5.8. 3:00	6618	5630	4770
5.8. 6:00	6715	5767	4905
5.8. 9:00	6793	5895	5040
5.8. 12:00	6810	6008	5171
5.8. 15:00	6800	6100	5294
5.8. 18:00	6747	6180	5410
5.8. 21:00	6680	6240	5517
6.8. 0:00	6550	6277	5615
6.8. 3:00	6502	6304	5707
6.8. 6:00	6408	6317	5780
6.8. 9:00	6256	6310	5845
6.8. 12:00	6070	6280	5898
6.8. 15:00	5936	6240	5940
6.8. 18:00	5802	6186	5971
6.8. 21:00	5670	6126	5990

### Список литературы

1. Кучмент Л.С., Демидов В.Н., Мотовилов Ю.Г. Формирование речного стока.-М.: Наука,1993.
2. Islam M.N., Sivakumar B. Characterization and prediction of runoff dynamics: a nonlinear dynamical view// Adv.Water Res.-2002.-V.25, № 2- P.179-190.
3. Grassberger P, Procaccia I. Measuring the strangeness of strange attractors // Physica D.-1983.-Vol.9,№1-2.-P.189-208.
4. Лобода Н.С. Формализм функций памяти и мультифрактальный подход в задачах моделирования годового стока рек и его изменений под влиянием факторов антропогенной деятельности// Метеорология, климатология и гидрология.-2002.-№45.-С.140-146.
5. Гонченко Е.Д., Романчук М.Е. Математическая модель для расчета характеристик экстремально высоких паводков и половодий на территории Придунайских озер// Метеорология, климатология и гидрология.-2001.-№42.-С.39-50.
6. Найпал С., Иваненко А.Г. Стохастическая модель гидрографа рек Суринама // Метеорология, климатология и гидрология.-1993.-№29.-С.32-47.
7. Maftuoglu R.F. New models for non-linear catchment's analysis// Journal of Hydrology (Elsevier; The Netherlands).-1984.-Vol.73.-P.335-357.
8. Maftuoglu R.F. Monthly runoff generation by non-linear models// Journal of Hydrology (Elsevier; The Netherlands).-1991.-Vol.125.-P.277-291.
9. Kothyari U., Arvanmuthan V., Singh V. Monthly runoff generation using the linear perturbation model// Journal of Hydrology (Elsevier; The Netherlands).-1993.-Vol.144.-P.371-379.

10. Stewart M.D., Bates P.D., Anderson M.G., Price D.A., Burt T.P. Modelling floods in hydrologically complex lowland river reaches// Journal of Hydrology (Elsevier; The Netherlands).-1999.-Vol.223.-P.85-106.
11. Svoboda A., Pekarova P., Miklanek P. Flood hydrology of Danube between Devin and Nagymaros in Slovakia.- Nat. Rep.2000 of the UNESCO.-Project 4.1.-Intern.Water Systems.-2000.-96P.
12. Loboda N.S., Glushkov A.V., Khokhlov V.N. Using meteorological data for reconstruction of the annual runoff series over an ungauged area: Empirical orthogonal functions approach to Moldova-Southwest Ukraine region//Atmospheric Research (Elsevier; The Netherlands). -2005.-Vol.77.-P.100-113.
13. Глушков А.В., Балан А.К. Многофакторный мультифрактальный подход в задачах моделирования стока и краткосрочном гидрологическом прогнозе (на примере р. Дунай) // Метеорология, климатология, гидрология.-2004.-№48.-С.392-396.
14. Глушков А.В., Балан А.К. Застосування апарату вейвлет-перетворень та мультифрактального підходу до вивчення стохастичних флуктуацій річкового стоку (на пр.р.Дунай) // Метеорология, климатология, гидрология.-2005.-№49.-С.505-510.
15. Сербов Н.Г., Балан А.К., Соляникова Е.П. Многофакторный системный и мультифрактальный подходы в моделировании экстремально высоких паводков (на примере р. Дунай) и временных флуктуаций концентраций загрязняющих веществ в речной воде// Вестник ОГЭКУ.-2008.-№6.-С.7-13.
16. Сербов Н.Г., Многофакторный системный и мультифрактальный подходы в моделировании среднемесячных расходов на примере р. Дунай// Український гідрометеорологічний журнал.-2010.-№5.-С.179-183.
17. Glushkov A.V., Loboda N.S., Khokhlov V.N., Lovett L. Using non-decimated wavelet decomposition to analyse time variations of North Atlantic Oscillation, eddy kinetic energy, and Ukrainian precipitation // Journal of Hydrology (Elsevier; The Netherlands). – 2006. – Vol. 322. – No. 1-4. – P. 14-24.
18. Глушков А.В., Хохлов В.Н., Сербов Н.Г., Балан А.К., Бунякова Ю.Я., Баланюк Е.П. Низкоразмерный хаос во временных рядах концентраций загрязняющих веществ в атмосфере и гидросфере// Вестник ОГЭКУ.-2007.-№4.-С.337-348.
19. Глушков А.В., Лобода Н.С., Хохлов В.Н., Сербов Н.Г., Свиначенко А.А., Бунякова Ю.Г. Хаос во временных рядах концентраций загрязняющих веществ в атмосфере: краткосрочный прогноз// Вестник ОГЭКУ.-2008.-№5.-С.225-235.
20. Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Loboda N.S., Serbov N.G., Zhurbenko K. Signatures of low-dimensional chaos in hourly water level measurements at coastal site of Mariupol, Ukraine// Stoch. Environment Res. Risk Assess. (Springer).-2008.-Vol.22,№6.-P.777-788.

**Багатофакторний системний та мультифрактальний підхід у моделюванні екстремально високих паводків на прикладі р. Дунай. Сербов М.Г., Сухарев Д.Є., Балан А.К.**

*На підставі нового методу опису характеристик гідрологічних систем, який базується на багатофакторному системному підході і мультифрактальному формалізмі, проведено моделювання характеристик екстремально високих паводків (на прикладі р. Дунай). Виконане дослідження флуктуаційних часових трендів змінення середньомісячних витрат (1989-1998гг.) і визначені значення відповідних фрактальних розмірностей.*

**Ключові слова:** метод багатофакторного системного моделювання, екстремально високі паводки

**A multi-factor systems and multi-fractal approach to modelling extremely high discharges on the example of the Danube river. Serbov N.G., Sukharev D.E., Balan A.K.**

*It is carried out modelling characteristics of extremely high discharges (r. Danube) and fluctuative temporal trends for mean monthly discharges within a new method of description for the hydrological systems. The latter is based on the combining multi-factor systems approach and multi-fractal formalism. It is calculated a spectrum of fractal dimensions.*

**Kew words:** multi-factor systems approach, extremely high discharges

Є.Д. Гопченко, д.г.н., Ю.С. Медведєва  
Одеський державний екологічний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ СОЛЬОВИХ БАЛАНСІВ ОЗ.КИТАЙ

*В статті наведені результати моделювання сольових балансів оз. Китай.*

**Ключові слова:** водний і сольовий баланси, мінералізація, надходження і витрата солей.

**Вступ.** Озеро Китай відноситься до групи придунайських водойм, які в середині 60-х років минулого століття були зарегульовані, а акумульована в них вода використовувалась на зрошення земель. Для підтримки експлуатаційних рівнів води відбувались підкачки слабомінералізованої (у середньому 380-410 мг/дм<sup>3</sup>) води з р. Дунай. Зокрема, з оз. Китай у період з 1979 по 1996 рр. об'єми заборів становили до 57 млн.м<sup>3</sup>, а об'єми підкачок – до 53 млн.м<sup>3</sup>. Тим самим вдавалось підтримувати більш-менш задовільну якість води у водоймі. У 90-х роках минулого століття відбувалося зменшення площ зрошення та відповідно і заборів води з оз. Китай, а головне – підкачок води до нього. Починаючи з 2000 р., забори води становлять усього до 1,5 млн.м<sup>3</sup> на рік, а регулярні підкачки повністю припинені. Це призвело до збільшення мінералізації води у водоймі, значення якої в останні роки (2000-2006 рр.) коливаються від 2200 до 3600 мг/дм<sup>3</sup>, а у маловодному 2007 р. – сягали 6300 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує встановлені вимоги щодо якості питної та зрошувальної води (до 1000 мг/дм<sup>3</sup>) у рази.

На цей час режим функціонування оз. Китай такий: навесні відкриваються шлюзи на каналах, що з'єднують водосховище з р. Дунай і відбувається наповнення водойми до відмітки НІР (чи меншої, в залежності від рівнів води у річці-донорі). У межений період шлюзи закриваються і вода з озера витрачається головним чином на випаровування та різні види її використання у комунально-побутовій сфері, а, частково, на зрошення. Восени, якщо рівні води в р. Дунай нижчі за рівні води у водоймі, відбуваються скиди мінералізованих вод до РМО. Після цього шлюзи знову закриваються на весь зимовий період. Такий цикл функціонування озера відбувається щорічно.

**Мета** дослідження полягає у моделюванні сольових балансів оз. Китай за різних умов функціонування з метою здійснення заходів щодо покращення екологічного стану водойми.

**Матеріали і методи дослідження.** Для розрахунку сольових балансів оз. Китай було використано рівняння водного балансу, записане таким чином [1]

$$V_p + V_r + V_b + V_g + V_{dr} + V_{ДП} \pm \Delta V_n = V_E + V_f + V_z + V_{DB}, \quad (1)$$

де  $V_p$  – об'єм опадів на поверхню озера;  $V_r$  – поверхневий стік невеликих річок, які впадають в озеро;  $V_b$  – боковий поверхневий приплив води до озера;  $V_g$  – приплив ґрунтових вод;  $V_{dr}$  – приплив дренажно-колекторних і зворотних комунально-побутових вод;  $V_{ДП}$  – стік річки Дунай при наповненні водойми;  $\Delta V_n$  – нев'язка водного балансу;  $V_E$  – об'єм випаровування з водної поверхні озера, з урахуванням транспірації водної рослинності;  $V_f$  – фільтрація води у береги по периметру озера;  $V_z$  – забір води на зрошення і комунально-побутове використання;  $V_{DB}$  – скиди води з озера у р. Дунай.

Спираючись на рівняння водного балансу (1), можна записати й рівняння сольового балансу [2]

$$\begin{aligned} W_1 S_1 + V_p S_p + V_r S_r + V_b S_b + V_g S_g + V_{dr} S_{dr} + V_{ДП} S_{ДП} = \\ = W_2 S_2 + V_f S_f + V_z S_z + V_{DB} S_{DB}, \end{aligned} \quad (2)$$



де  $S_1$  і  $S_2$  – середня по озеру мінералізація на початку та у кінці розрахункових місяців;  $W_1$  і  $W_2$  – об'єм води в озері на початку та у кінці розрахункових місяців;  $S_p, S_r, S_b, S_g, S_{dr}, S_{ДП}, S_f, S_z, S_{DB}$  – мінералізація складових водного балансу (атмосферних опадів, вод річок Киргиз-Китай і Аліяга, бічного припливу, ґрунтового стоку, дренажних вод та води, що надходить з р. Дунай, вод, що використовуються на зрошування, фільтрацію та скидів у р. Дунай).

За результатами розрахунків, які виконані раніше і наведені у [2,3,4], найбільший відсоток у прихідній частині сольових балансів оз. Китай за період 1979-2007 рр. складає надходження солей разом з річковим стоком – від 12 до 78 %, частка сумарного поверхневого припливу (річкового та бічного) – від 14 до 87 %. Дещо менший відсоток складає надходження солей разом з дунайською водою – від 6 % у роки, коли внесок поверхневого припливу значний, і до 56 % – у маловодні роки, коли стік річок Киргиз-Китай і Аліяга був майже відсутній. Надходження солей разом з дренажними водами складає до 27 % у роки, коли відбувались значні забори води з водосховища. На інші складові майже у всі роки припадає до 10 %.

Найбільший відсоток у витратній частині сольових балансів оз. Китай за період 1979-1997 рр. становлять витрати солей разом із забором води на зрошування (від 36 до 78 %), зі скидами води у р. Дунай – від 13 до 50 %, з фільтрацією – до 20 %. Наступне десятиріччя, у зв'язку зі зменшенням площ зрошування і майже повним припиненням заборів води для використання у сільськогосподарських цілях, характеризується іншим розподілом витрат води, а разом і солей. За період 1998-2007 рр. найбільший відсоток витрат солей припадає на скиди води до р. Дунай – від 15 до 75 %. Виняток – 2002 і 2007 рр., коли скиди не відбувались зовсім. Відсоток витрат на фільтрацію складає від 12 до 94 % (у роки, коли не було скидів води у р. Дунай), при заборах води на зрошування та інші види користування для цього ж періоду - від 1 до 26 %.

Для розробки та подальшого здійснення можливого управління водообміном з метою покращення якості води в оз. Китай за гідрохімічними показниками запропоновано декілька сценаріїв функціонування водойми. В основу моделювання покладені складові водних балансів 2000-2007 рр., тобто за сучасних умов функціонування оз. Китай. Ряди умовно подовжуються до 24 років шляхом повторювання восьмирічного періоду (2000-2007 рр.) три рази.

*Сценарій 1.* Він являє собою часовий хід мінералізації води за результатами моделювання на перспективу з урахуванням сучасних умов функціонування водойми.

*Сценарій 2.* Моделювання сольових балансів відбувалось за умови відведення стоку річок Киргиз-Китай і Аліяга, води яких найбільш мінералізовані з усіх складових сольового балансу і мають досить високу питому вагу (від 27 до 78%). При цьому враховувалось, що об'єми води, які відводились зі стоком річок Киргиз-Китай і Аліяга, компенсувалися підкачкою з р. Дунай з її мінералізацією ( $\approx 390$  мг/дм<sup>3</sup>).

*Сценарій 3.* Розрахунки здійснювались, виходячи з припущення, що скиди води можуть відбуватись з північної, а не з південної частини водойми по каналу Старотроянський, що будується вздовж західного берега оз. Китай. У північній частині водойми мінералізація  $S_{півн}$ , більша, ніж середня по озеру  $S$  та визначається співвідношенням  $S_{півн} = 1,34S$  [3].

*Сценарій 4.* При розрахунках за цим сценарієм припускалось, що втрати води на випаровування у літні місяці (червень, липень, серпень) будуть компенсуватись підкачкою з р. Дунай, мінералізація води якої в усі сезони значно нижча за мінералізацію води у водосховищі.

Об'єми води у літні місяці, які потрібно підкачувати, наведені у табл.1. Оскільки складові водних балансів, у тому числі й підкачки води, повторюються кожні вісім років, то ці роки наведені у дужках.

Річні об'єми підкачки до оз. Китай становитимуть протягом 24 умовних років від 25 до 33млн.м<sup>3</sup>, що становить від 40 до 53% до об'єму водойми при РМО (0,6 мБС) або від 51 до 67 % – до корисного об'єму відповідно.

*Сценарій 5.* За цим сценарієм передбачалось, що вода буде підкачуватись з р. Дунай до НПР=1,5 мБС у літні місяці (червень, липень, серпень) та за умови, що шлюзи закриті. Очевидно, що йдеться про компенсацію випаровування, як у попередньому варіанті, та з підтримкою постійного рівня води в озері.

*Сценарій 6.* Як і в попередньому варіанті, моделювання виконувалось за умови підкачки води з р. Дунай до НПР=1,5 мБС у літні місяці та скидів восени переважно з північної частини водойми.

*Сценарій 7.* Моделювання сольових балансів за умови відновлення зрошування (на рівні 80-х років). За цим варіантом зроблені такі припущення:

- вихідними є базові характеристики сучасного режиму функціонування водойми;
- забори води на зрошування встановлені на рівні 10; 20; 30; 40; 50 млн.м<sup>3</sup> у літні місяці (червень, липень, серпень);
- підкачка відбувається в об'ємах компенсації заборів води на зрошування у літні місяці (червень, липень, серпень).

Таблиця 1 - Об'єми підкачки до оз. Китай (у літні місяці) для компенсації випаровування, млн.м<sup>3</sup>

Рік \ Місяць	Червень	Липень	Серпень	Рік
1 (9, 17)	10.2	9.8	9.9	29.8
2 (10, 18)	6.9	9.1	10.1	26.2
3 (11, 19)	8.3	11.2	8.2	27.8
4 (12, 20)	11.3	9.3	8.6	29.2
5 (13, 21)	7.3	8.3	9.0	24.6
6 (14, 22)	7.8	7.8	7.5	23.2
7 (15, 23)	8.0	11.4	9.5	28.9
8 (16, 24)	11.4	13.1	8.7	33.2

Аналіз наведених на рис. 1 графіків часових змін мінералізації свідчать про те, що нормативні значення мінералізації (1000 мг/дм<sup>3</sup>) досягаються вже в перші роки при заборі води на зрошування на рівні 50 млн.м<sup>3</sup>. У подальшому, при зменшенні заборів на зрошування середня мінералізація по водоймі починає збільшуватись.

*Сценарій 8.* Розрахунки здійснювались за умов, які наведені у попередньому сценарії, та за умови скидів восени з північної частини водойми.

Як видно з рис. 2, мінералізація води значно зменшується, особливо при заборах і відповідних підкачках на рівні 50 млн.м<sup>3</sup>. Вже через три роки її значення коливаються близько 1000 мг/дм<sup>3</sup>, тобто на рівні встановленого нормативного значення відносно мінералізації питної та зрошувальної води.

**Результати дослідження та їх аналіз.** Комплексний графік результатів моделювання сольових балансів озера Китай, які можливо реалізувати та є найбільш корисними для здійснення як в екологічному, так і в економічному відношеннях, представлені на рис. 3.

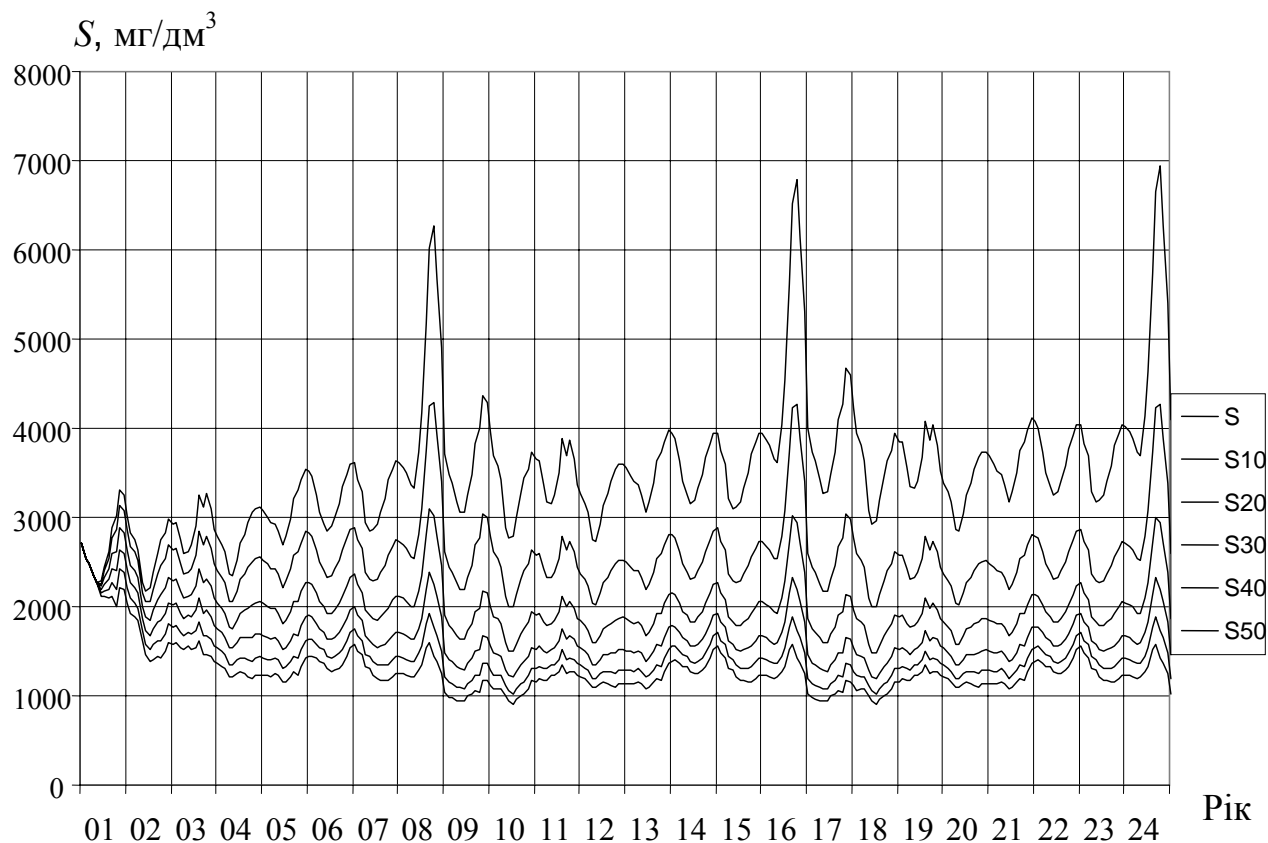


Рис. 1 - Змодельований часовий хід мінералізації за умови забору і підкачки води у розмірах 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0 млн.м<sup>3</sup>.

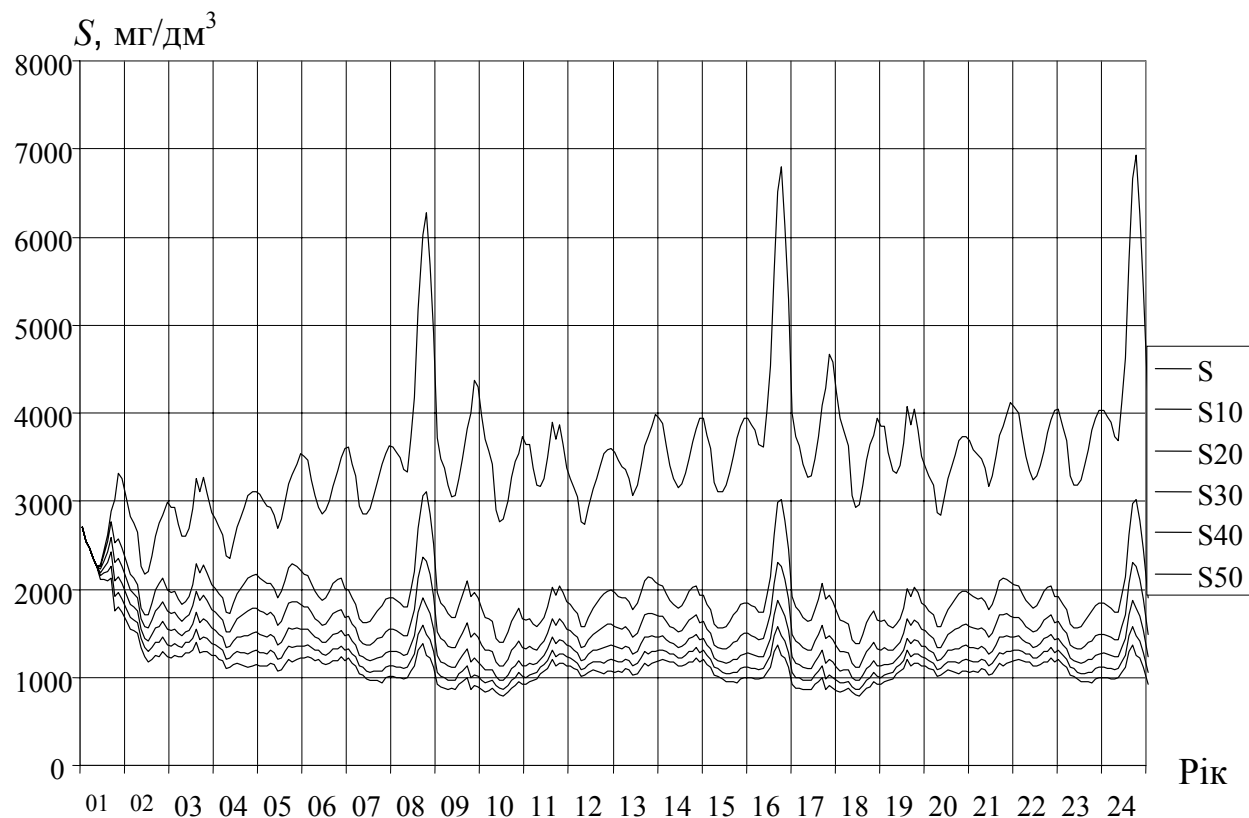


Рис. 2 - Змодельований часовий хід мінералізації за умови забору і підкачки води у розмірах 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0 млн.м<sup>3</sup> та скидів з північної частини водойми.

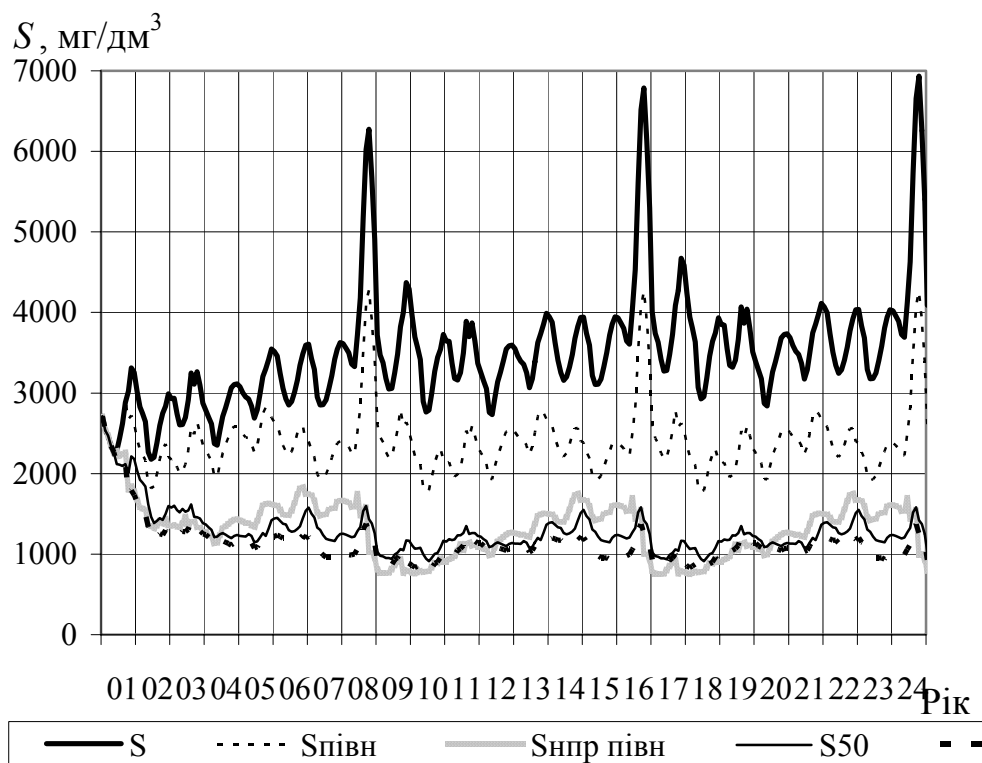


Рис.3 - Часова мінливість мінералізації води за різних умов функціонування оз. Китай.

Як видно з рис.3, за сучасних умов функціонування мінералізація води може коливатись від 2200 (на початку розрахункового періоду) до 6900 мг/дм<sup>3</sup> (у третьому періоді) в залежності від водності і пори року. За умови скидів води з північної частини водойми ( $S_{півн}$ ) середня мінералізація коливатиметься близько 2300 мг/дм<sup>3</sup>, за виключенням підвищення у маловодних умовних роках. За умови підкачки води з р. Дунай до НІР=1,5 мБС у літні місяці та скидів восени з північної частини водойми ( $S_{НІРпівн}$ ), мінералізація знижується та не перевищує 1700 мг/дм<sup>3</sup>. Аналіз наведеного графіка часової зміни мінералізації води за умови відновлення зрошування на рівні 50 млн.м<sup>3</sup> з відповідними підкачками та скидів води восени з північної частини водойми ( $S_{50півн}$ ) свідчать про те, що нормативні значення мінералізації (1000 мг/дм<sup>3</sup>) досягаються вже в перші роки і в залежності від пори та водності року не перевищують 1300 мг/дм<sup>3</sup>.

**Висновки.** При подальшому використанні вод озера Китай, розробляючи або корегуючи управлінські заходи, необхідно переглянути експлуатаційний режим водойми та слід визначитись, у тому числі й з його статусом стосовно водогосподарського використання у майбутньому. Може йтися про відновлення зрошування на існуювавшому раніше рівні 30-50 млн.м<sup>3</sup> і відповідних підкачок та добудови каналу Старотроянський для скидів більш мінералізованих вод з північної частини водойми безпосередньо у р. Дунай. Альтернативний варіант передбачає зміну призначення озера Китай на рибогосподарський об'єкт, що забезпечується сучасним водообміном.

#### Список літератури

1. Гопченко Є. Д., Блаш Ю. С. Водний баланс оз. Китай // Вісник ОДЕКУ. 2005. – Вип.1. – С. 119 – 126.
2. Гопченко Є. Д., Блаш Ю. С. Сучасний сольовий баланс оз. Китай // Вісник ОДЕКУ. – 2006. – Вип. 3. – С. 182 – 188.
3. Гопченко Є. Д., Медведєва Ю.С. Особливості водного і сольового режимів оз. Китай у 2005 та 2006 рр. // Вісник ОДЕКУ. – 2007. – Вип. 4. – С. 280 – 286.
4. Гопченко Є. Д., Медведєва Ю.С. Особливості водного і сольового режимів оз. Китай у 2007 р. // Вісник ОДЕКУ. – 2008. – Вип. 6. – С. 129 – 132.

**Моделирование солевых балансов оз. Китай.** Е.Д. Гопченко, Ю.С. Медведєва.

*В статтє приведены результаты моделирования солевых балансов оз. Китай.*

**Ключевые слова:** водный и солевой балансы, минерализация, поступление и расход солей.

**Modeling of salt balances of Kitay Lake.** Gopchenko E., Medvedeva Y.

*In the article it was given the results of modeling of salt balances of Kitay Lake.*

**Keywords:** water and salt balances, mineralization, receipt and expense of salts.

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА МУТНОСТИ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕГО ДНЕСТРА

*Составлены схематические карты распределения мутности на реках бассейна верхнего Днестра за разные периоды с 1972 по 2007 гг. Выявлено уменьшение стока наносов почти на всех реках бассейна, как в период низкой водности, так и высокой.*

**Ключевые слова:** сток наносов, среднегодовая мутность, верхний Днестр.

**Введение.** Изучение современного стока наносов имеет практическое значение для разработки мероприятий по регулированию и стабилизации геоморфологических процессов при разных видах хозяйственной деятельности. Сложность и многофакторность развития эрозионно-аккумулятивных процессов верхнего Днестра, ярко выраженная пространственно-временная неоднородность их динамики требуют постоянного анализа изменений.

Первые карты средней многолетней мутности рек Европейской территории СССР были опубликованы в 1941 г. Г.В. Лопатиным. Позднее Г.И. Шамов [1] уточнил и обобщил данные по стоку наносов и получил новые карты средней мутности рек СССР. Эти карты хотя и обобщали большой фактический материал, но не могли служить для региональных целей. Так, по данным [1] все реки верхнего Днестра характеризуются мутностью 500-1000 г/м<sup>3</sup>. По мере освоения водных ресурсов региона начали появляться работы, в которых проводился более детальный анализ стока наносов рек Украины. Таким примером могут быть работы Н.И. Дрозда и З.А. Горещкой [2, 3], выполненные в 60-е годы прошлого столетия. Детальным расчетам среднемесячного и среднего многолетнего стока наносов рек украинских Карпат, в зависимости от влияния разных гидрологических факторов, посвящены работы С.Г. Кочубея [4]. В УкрНИГМИ, с участием В.И. Вишневого, выполняется большой объем работ по расчетам и учету стока наносов. Карта мутности рек Украины с учетом определенных изменений приведена в работе [5]. Проводившиеся ранее, с участием автора, исследования по изучению твердого стока рек бассейна Днестра [6, 7, 8] касались в основном накопления и анализа материалов по отдельным районам бассейна Днестра. Вместе с тем постоянно меняющаяся антропогенная нагрузка на бассейны рек региона, изменения климата, лесистости и целого ряда других факторов существенно изменяют средние многолетние показатели мутности рек, из-за чего данные теряют свою ценность.

**Цель настоящей работы** – изучение пространственно-временной динамики мутности на реках бассейна верхнего Днестра за период с 1972 по 2007 гг., выявление тенденций в распределении мутности и проведение анализа изменений.

Днестр относится к числу тех рек, сток которых изучен достаточно хорошо. Регулярные наблюдения за уровнем реки начались еще в 1850 году. Регулярные наблюдения за твердым стоком начали осуществляться с 1950 г. Тогда в рассматриваемом районе функционировало 7 постов. В 1960 г. – 15 постов, 1968 г. – 29, в 1972 г. – 42. Началом периода наблюдений был выбран 1972 г. когда существовало максимальное количество постов осуществлявших синхронные наблюдения. По состоянию на 2007 г. на рассматриваемом участке существует 25 постов, на которых ведутся наблюдения за твердым стоком.

Имеющийся период наблюдений, продолжительность 36 лет, удобно разбить в соответствии с фазами водности рек. Поскольку в бассейне Днестра имеются горные

реки (Стрый, Свича, Ломница, Быстрица), фазы водности которых могут отличаться от равнинных рек (Гилая Липа, Золотая Липа, Серет, Збруч) воспользуемся разностной интегральной кривой стока р. Днестр-г. Залещики как обобщенным показателем водности рек региона (рис.1).

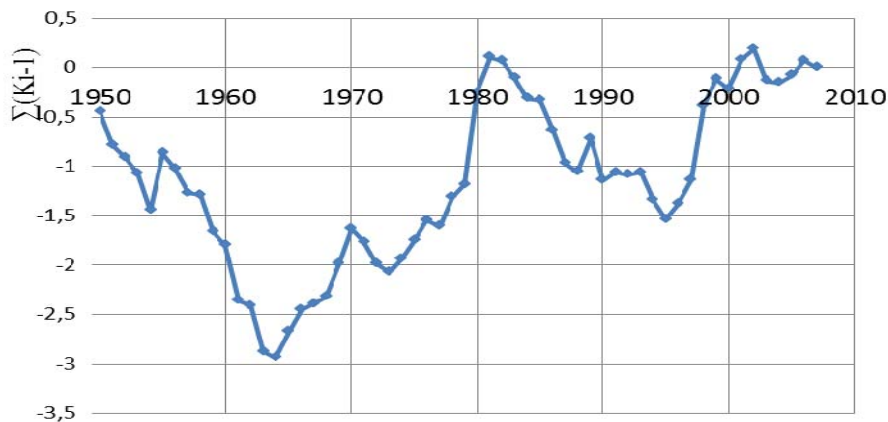


Рис. 1 – Разностная интегральная кривая среднегодового стока р. Днестр – г. Залещики.

На фоне многоводных и маловодных фаз были выбраны 3 отрезка времени. Первый из них 1972-1982 гг. будет соответствовать положительной фазе водности, (средний за этот период расход на р.Днестр-г.Залещики составил  $252 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Вторым (1983-1995 гг.) – отрицательную фазу ( $195 \text{ м}^3/\text{с}$ ), а третий (1996-2007 гг.) вновь характеризуется ростом водности ( $250 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

Для составления пространственной динамики производилось районирование бассейнов рек по показателю средней мутности в каждом из трех выделенных периодов. Хотя изменчивость мутности по бассейну Днестра очень высокая, для выделения районов различимых на пространственной схеме выделялось 4 диапазона: с мутностью до  $100 \text{ г}/\text{м}^3$ ; от  $100$  до  $200 \text{ г}/\text{м}^3$ ; от  $200$  до  $300 \text{ г}/\text{м}^3$  и выше  $400 \text{ г}/\text{м}^3$ . В ряде случаев, когда на реке имелось несколько постов наблюдений (р. Стрый, р. Збруч, р. Серет, р. Днестр и др.), районирование производилось с делением бассейна реки на водосборы, соответствующие каждому посту наблюдений. В тех случаях, когда на реках отсутствовали посты наблюдений за стоком наносов, их водосборы относились к участкам ближайших рек, на которых велись наблюдения. По этой причине на участке левых притоков Днестра от р. Щерек до р. Золотая Липа районирование получилось приближенным.

Пространственное распределение средней мутности за первый период представлено на рис. 2. На схеме выделяются два основных района с высокой мутностью рек. Первый – в верховьях Днестра и р. Стрый. На этом участке высокая мутность обусловлена горным характером рек, высокими скоростями и высокой размывающей способностью водных потоков, особенно во время паводков и половодий. Второй район включает нижнюю часть бассейна р. Збруч и распространяется вниз по течению Днестра до р. Мурафа (нижняя граница верхнего Днестра). Высокая мутность этого участка обусловлена рядом причин. Главной можно считать то, что подстилающая поверхность этой части бассейна состоит из легко размываемых грунтов. Преимущественно это оподзоленные грунты на лесовых породах. Среди других причин: интенсивное развитие карстовых процессов в бассейнах рек Восточной Подолии и более высокая (по сравнению с Западной Подолией) степень земледельческого освоения, что способствует интенсификации эрозионных процессов. Третий участок высокой мутности – бассейн р. Коропец. Средний показатель мутности за первый период на посту пгт. Коропец составил

610 г/м<sup>3</sup>. Самый высокий показатель мутности зафиксирован у правого притока р. Стрый (на р. Рыбник - с. Рыбник) – 770 г/м<sup>3</sup>. Минимальный показатель, за этот период, зафиксирован на р. Щерек – 78 г/м<sup>3</sup>. Поскольку для второго периода характерна пониженная водность, то мутности рек на всей рассматриваемой территории уменьшаются (рис. 3).

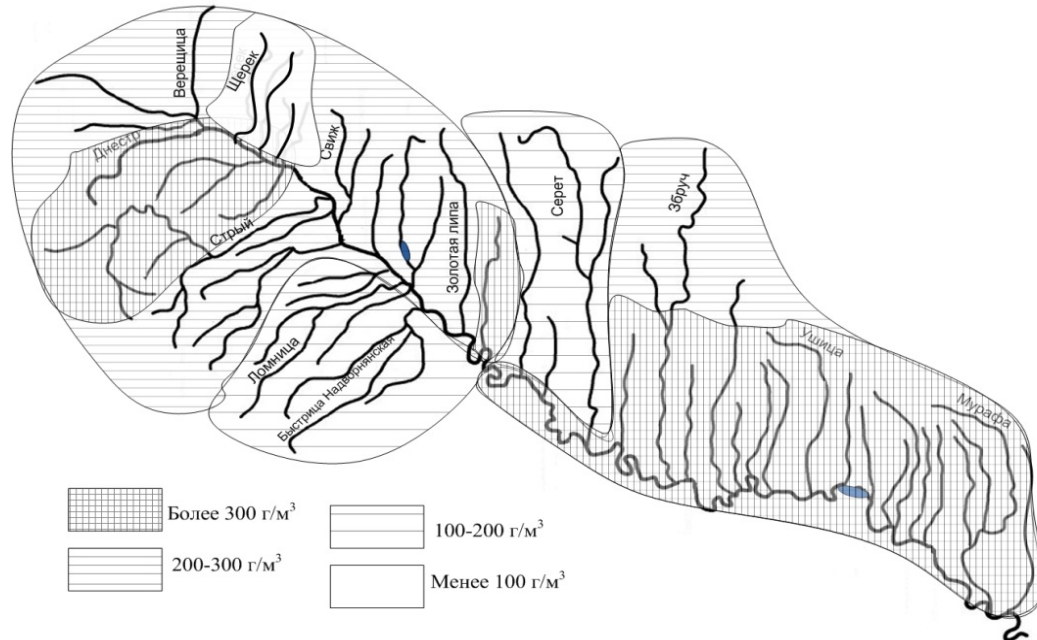


Рис. 2 – Схема распределения средней мутности в бассейне верхнего Днестра за период 1972-1983 гг.

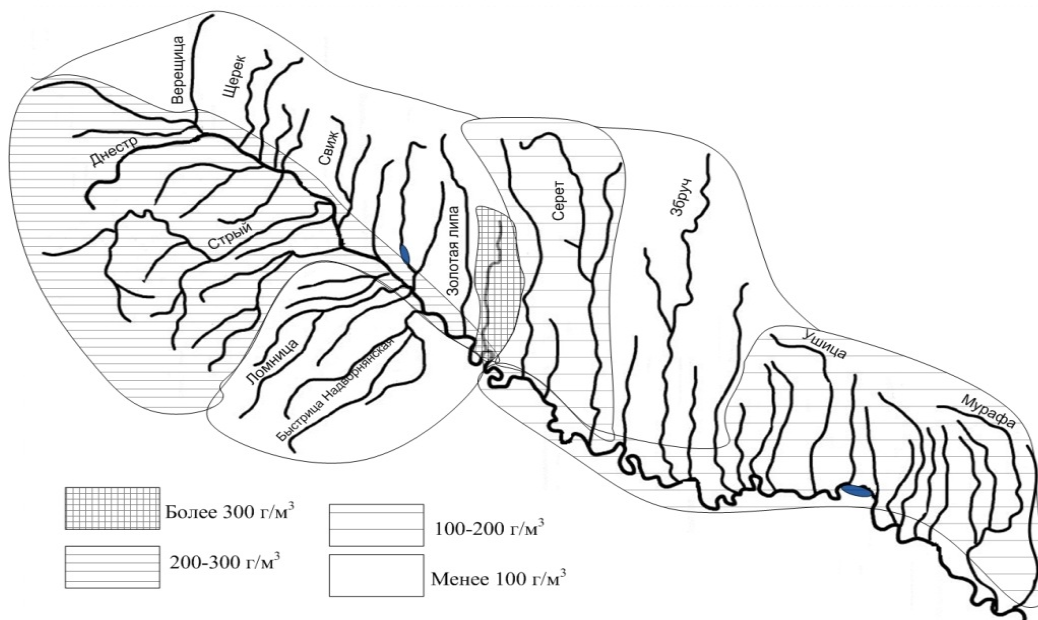


Рис. 3 – Схема распределения средней мутности в бассейне верхнего Днестра за период 1984-1995 гг.

На р. Коропец мутность остается самой высокой и достигает 366 г/м<sup>3</sup>. Днестровское водохранилище, начавшееся заполняться с 1982 г., существенно снижает мутность в р. Днестр ниже по течению. Так, среднегодовая мутность на посту г. Могилев-Подольский до строительства водохранилища составляла – 330 г/м<sup>3</sup>, после окончания строительства – 19 г/м<sup>3</sup>.



Третий период, несмотря на рост водности, характеризуется дальнейшим уменьшением мутности почти на всех реках верхнего Днестра (рис. 4). Так на р. Днестр – г. Залещики мутность уменьшилась на 8 %, по сравнению со вторым периодом, а водность увеличилась на 22 %. Исключение составляет р. Быстрица- с. Озимина. Здесь мутность возрастает до  $595 \text{ г/м}^3$ . Экстремально высокий показатель был зафиксирован в июне 1998 г., когда среднемесячная мутность составила  $4836 \text{ г/м}^3$  при норме  $78 \text{ г/м}^3$ . В свою очередь это объясняется поверхностным смывом в результате интенсивного ливня в бассейне реки 19-20 июня 1998 г.

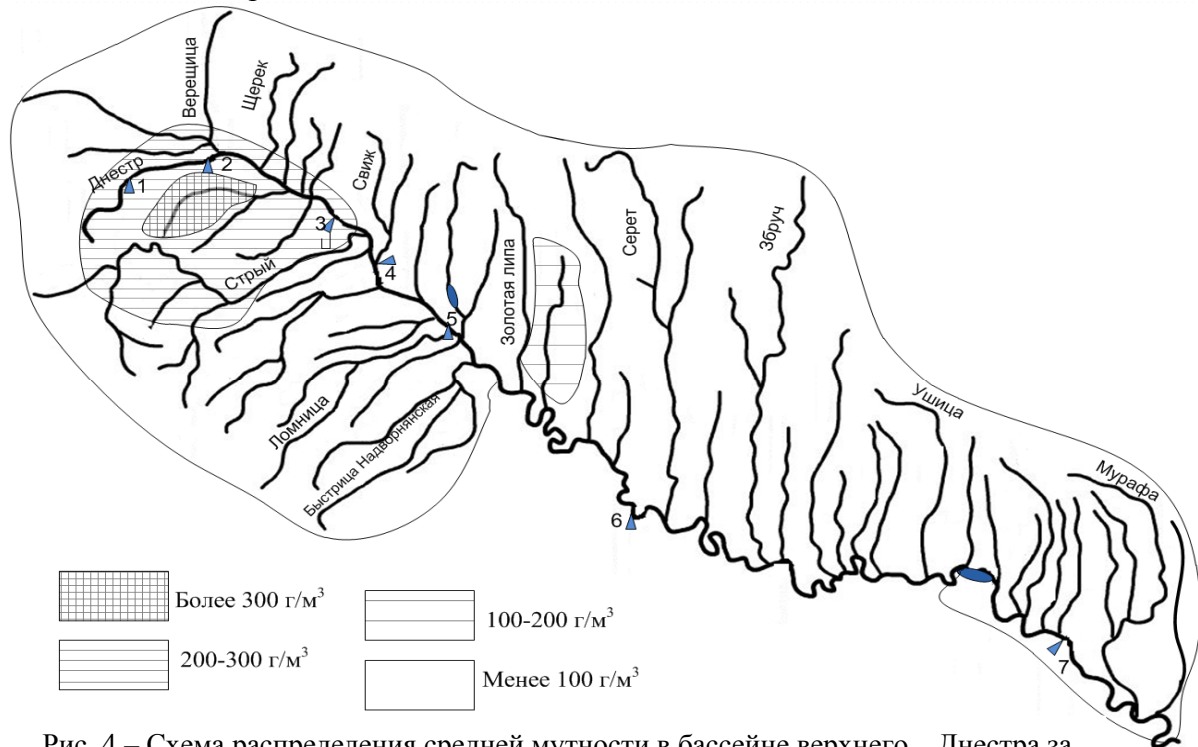


Рис. 4 – Схема распределения средней мутности в бассейне верхнего Днестра за период 1996-2007 гг. Действующие посты наблюдений за твердым стоком на р. Днестр: 1 – с. Стрелки, 2 – г. Самбор, 3 – пгт. Роздол, 4 – пгт. Журавно, 5 – г. Галич, 6 – г. Залещики, 7 – г. Могилев-Подольский.

Характерной особенностью стока взвешенных наносов является его внутригодовая изменчивость. Основная его масса формируется в период весеннего половодья и дождевых паводков (рис. 5.а). Если рассматривать первый и третий исследуемые периоды, когда водность Прикарпатских рек была приблизительно одинаковая, то из рисунка видно, что сток наносов существенно уменьшился. Распределение осадков практически не изменилось, а в период половодья (февраль-март) их количество даже увеличилось (рис.5. б). Общий показатель стока наносов на Карпатских и Подольских притоках Днестра уменьшился почти в 3 раза. По мнению И.П. Ковальчука, А.В. Михновича, О.В. Пыльпович [9, 10], это обусловлено, в первую очередь, лесовосстановительными работами, сокращением заготовки древесины, осуществлением противоэрозионных мер, изменением структуры посевных площадей, режима поверхностного стока и др.

На некоторых реках, например р. Орава, р. Опор, за рассматриваемые периоды мутность, наоборот, увеличилась на 5-20 %. Причиной этого, по данным [11], могут быть разрушение противопаводковых водохранилищ, неконтролируемая вырубка леса, функционирование русловых карьеров и т.д.



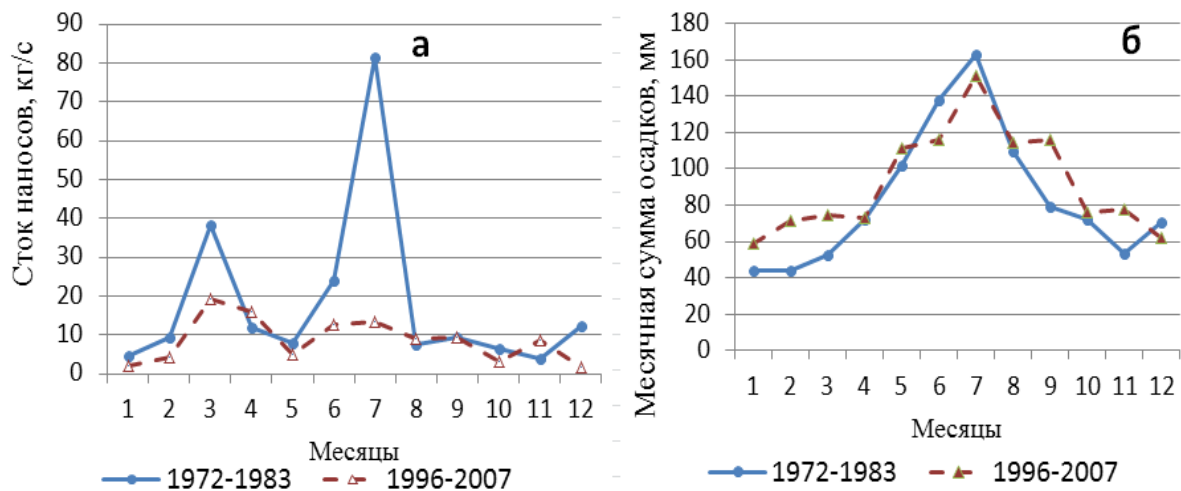


Рис. 5 – внутригодовое распределение стока наносов р. Стрый – п.г.т. Верхнее-Синевидное (а); осадков по метеостанции п.г.т. Славское (б).

Вдоль самого Днестра мутность также значительно уменьшилась (рис. 6). Данные по г. Могилев-Подольскому после строительства ГЭС не сопоставлялись. Рост мутности на участке г. Галич – г. Залещики в работах В.И. Вишневого [5] объяснялся неотектоническим подъемом участка Днестра ниже г. Галич. Благодаря создающемуся подпору и образуется повышенное количество наносов на участке г. Залещики – Днестровская ГЭС.

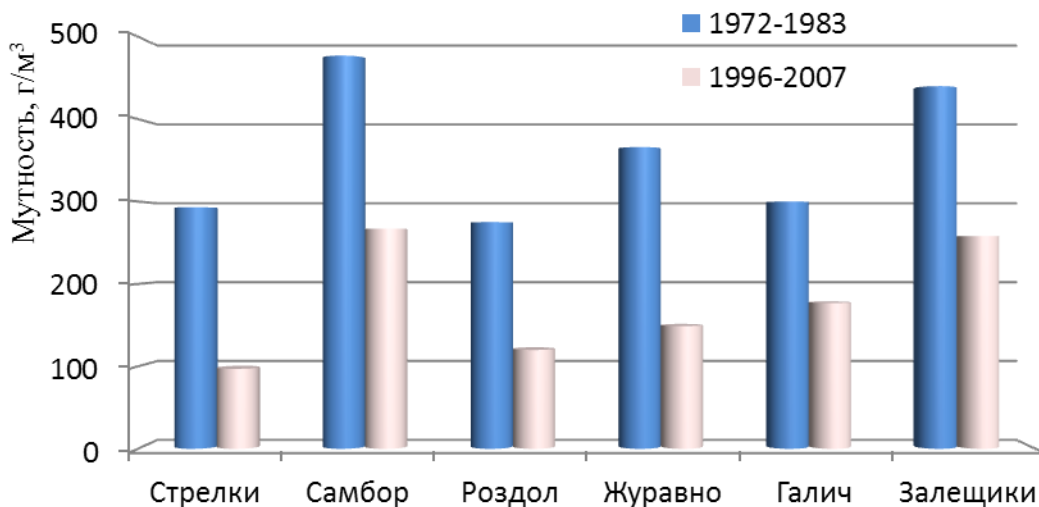


Рис. 6 – Распределение мутности вдоль верхнего Днестра за первый и третий периоды. Расположение постов обозначено на схеме рис. 4.

**Выводы:** за исследуемый период выделены три отрезка времени. Первый с 1972-1982 гг. характеризуется высокой водностью, второй (1983-1995 гг.) – низкой водностью, третий (1996-2007 гг.) – вновь повышенной. По каждому из трех периодов составлены схемы распределения мутности. Наибольшая мутность наблюдается на реках Северо-Западного Прикарпатья, в восточной части Подольской возвышенности и в бассейне р. Коропец. Почти на всех реках верхнего Днестра мутность уменьшалась как в период низкой водности, так и в третий период – при высокой водности. Вдоль русла самого Днестра твердый сток также существенно уменьшился. В качестве основной причины можно назвать положительные изменения в антропогенном воздействии на бассейновые и русловые процессы.

## Список литературы

1. Шамов Г.И. Речные наносы. Л.: Гидрометеиздат, 1959, 378 с.
2. Дрозд Н.И., Горецька З.О. Стік зависливих наносів річок УРСР. Вісті Інст-ту гідрології і гідротехніки АН УРСР, т. 20, Київ, 1966, с. 82-91.
3. Дрозд Н. И. Карта средней мутности вод рек УССР. //Труды УкрНИГМИ. Вып 60. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. С. 54-61.
4. Кочубей С. Г. Исследование формирования твердого стока рек украинских Карпат // Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. - К., 1971. – 20 с.
5. Вишневецький В.І. Про раціоналізацію спостережень за стоком річкових наносів //Наук. праці УкрНДГМІ /Під ред. В.І Вишневецького і О.В. Войцеховича. Вип. 248. – К.: УкрНДГМІ, 2000.– С. 123-137.
6. Мельник С.В., Киндюк Б.В., Дилевская Е.В. Сток взвешенных наносов на реках Подольской возвышенности// Вісник Дніпропетровського університету. Серія геологія, географія. 2006. – Вип. 8. – №10. – С. 78-84.
7. Мельник С.В., Лобода Н.С. Динаміка водного режиму і стоку наносів річок Подолії // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2009. – Т 17. – С.55-62.
8. Мельник С.В., Лобода Н.С. Динаміка періодичних складових багаторічних коливань гідрометеорологічних характеристик виявлених на основі методу "гусениця"-SSA // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2010. – Т 18. – С. 150-160.
9. Ковальчук І.П., Михнович А.В. Сучасні морфодинамічні процеси у гірсько-лісових ландшафтах Українських Карпат// Український державний лісотехнічний університет. Науковий вісник. – 2004. – Вип. 14.3 – С. 273-285.
10. Пилипович О.В. Моніторингові дослідження стоку завислих наносів у басейнових системах верхньої частини сточища Дністра // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: Географія. – Тернопіль. – №1. – 2005. – С. 42 – 48.
11. Коваль Я.В. Катастрофічні паводки в Карпатах і напрямки запобігання їм// Наукові праці лісівничої академії наук України – 2008. – Вип. 6. – С. 47-50.

### **Просторо-часова динаміка мутності в басейні верхнього Дністра. С.В. Мельник**

*Складені схематичні карти розподілу мутності на річках басейну верхнього Дністра за різні періоди з 1972 р. по 2007 р. Виявлене зменшення стоку наносів майже на всіх річках басейну, як у період низкою водності, так і високої.*  
**Ключові слова:** стік наносів, середньорічна мутність, верхній Дністер.

### **Existential dynamics of the sediment yields in basin of the overhead Dniester. S. Melnyk**

*Schematic maps of flow distribution of sediment yields on the rivers of basin of the overhead Dniestr for the different periods since 1972 on 2007 are made. Decrease of a sediment yields almost on all rivers of basin, as in low hydraulicity, and high Is revealed.*

**Keywords:** sediment yields, mid-annual turbidity, the overhead Dniestr.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОРОДНОСТИ И СТАЦИОНАРНОСТИ ИНФОРМАЦИИ ПО МАКСИМАЛЬНОМУ СТОКУ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РЕК СЕВЕРА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*В статье, на примере данных по максимальному стоку весеннего половодья рек севера Тюменской области, анализируется соответствие требованиям, предъявляемым современными нормативными документами, к исходной информации по стоковым рядам.*

*Ключевые слова: максимальный сток весеннего половодья, однородность, стационарность.*

**Введение.** Рассматриваемая территория расположена между  $63^{\circ}$  и  $74^{\circ}$  с.ш. и  $64^{\circ}$  –  $84^{\circ}$  в.д и занимает северную часть Западно-Сибирской равнины. Она включает бассейны рек западной части Карского моря. Границами данного района являются водораздельные линии бассейнов. Водораздельная линия между бассейнами рек Надыма, Пура, Таза и рек Средней Оби хорошо выражена и ограничена Сибирскими увалам. На востоке территория граничит с бассейном Енисея, на западе водораздельная линия проходит по самым высоким участкам Северного и Полярного Урала[1]. Реки описываемой территории относятся к западно-сибирскому типу[2] и имеют невысокое, растянутое и сглаженное половодье, повышенный летне-осенний сток и низкую зимнюю межень. Максимальные расход весеннего половодья превышают средней годовой в среднем в 10 раз.

В настоящее время ведутся работы по расширению имеющихся газоновых площадей и обустройству новых месторождений на севере Тюменской области России. Расчёт характеристик весеннего половодья имеет большое значение в гидрологическом обеспечении проектирования объектов газовой промышленности. Практическая важность вопроса определяется тем, что многие характеристики половодья необходимо учитывать при строительстве гидротехнических сооружений. Основными расчетными величинами при этом являются максимальные расходы и слои стока различной обеспеченности, также в некоторых расчетных схемах возможен расчет по данным о максимальных снегозапасах к началу весеннего половодья. От правильного определения этих величин зависит надёжность работы и экономическая эффективность сооружений.

**Постановка проблемы.** В настоящее время в России взамен устаревшего СНиП 2.01.14-83 [3] введён новый нормативный документ СП 33-101-2003 [4] и методические рекомендации к нему [5,6], которыми предусмотрено, что прежде, чем применять аппарат математической статистики и теории функций распределения, необходимо оценить соответствие временных рядов требуемым условиям, которые состоят в:

- однородности выборок;
- стационарности основных выборочных параметров (среднего значения и дисперсии).

**Цель работы.** Поскольку в последнее время в связи с изменениями климата во временных рядах стока рек все чаще отмечаются тренды различных направлений, возникает необходимость проверки их однородности и стационарности. Целью данного исследования является анализ исходной информации по стоку весеннего половодья рек севера Тюменской области.

**Материалы исследования.** В гидрологическом отношении описываемая территория исследована неравномерно. Авторами использованы материалы наблюдений по 25 пунктам опорной гидрологической сети Западно-Сибирского УГМС России (рис.1). Большинство из них относится к юго-западной части территории (бассейн Сев. Сосьвы). Сведения о максимальном стоке полуостровов Гыданского и Тазовского практически отсутствуют. Продолжительность наблюдений составляет от 11 до 77 лет и включает информацию по 2007 год включительно. В то же время сеть метеорологических станций расположена более равномерно по всей рассматриваемой территории, ряды наблюдений за максимальными снегозапасами имеются на 17 из них. Отличительной особенностью в расположении метеостанций является их наличие в районах, где вообще отсутствуют наблюдения за стоком рек. Причем, три из них располагаются вдоль западного побережья полуострова Ямал, одна - на юго-востоке, в верховьях реки Таз (рис.1). Период наблюдений за максимальными снегозапасами составляет от 7 до 45 лет.

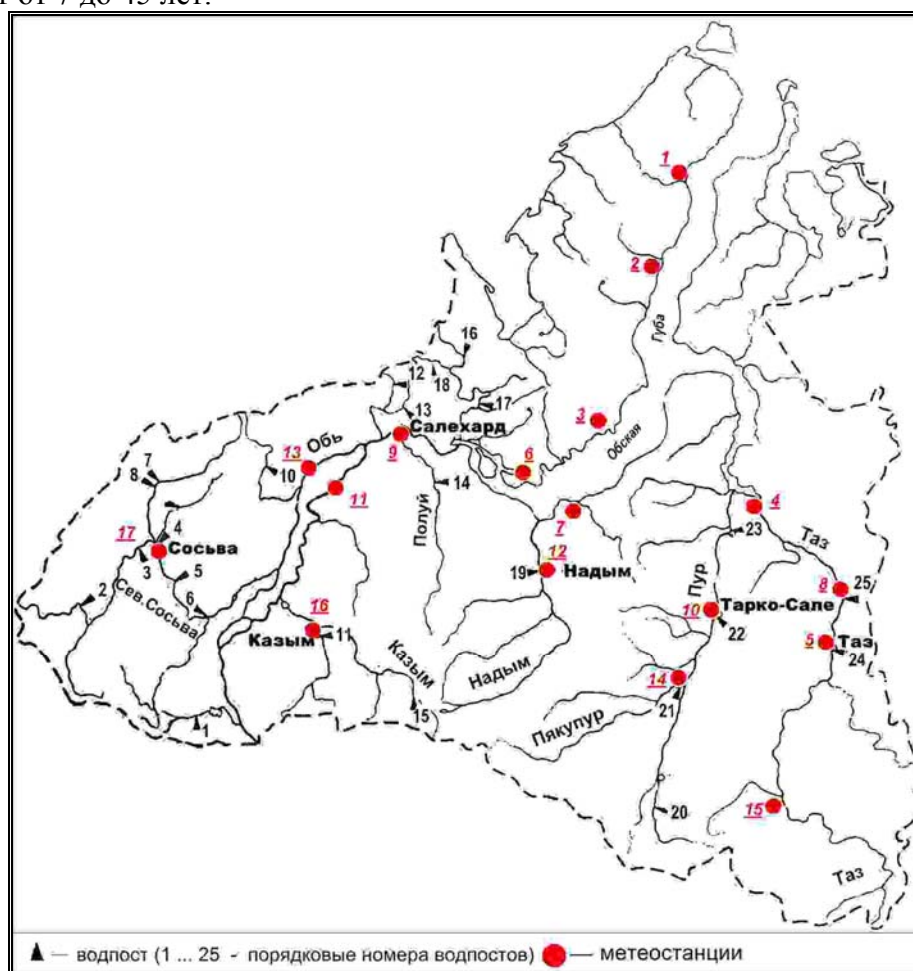


Рис. 1. – Гидрометеорологическая изученность территории севера Тюменской области.

**Методика исследования.** Первым шагом исследования является оценка однородности эмпирических распределений рассматриваемых характеристик. Существуют три основные причины такой неоднородности:

- резко отклоняющиеся расходы воды имеют особые условия формирования, например, сформированы катастрофическими ливнями (тайфунами), наложением дождя на снеговой паводок и т.д.;

- экстремальное событие имеет более редкую вероятность появления, чем та, которая определяется по эмпирической формуле при включении его в общую последовательность наблюдений;
- резко отклоняющаяся величина обусловлена значительной погрешностью измерений.

Для оценки статистической однородности применяются критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении: Смирнова-Граббса и Диксона [5,6,7]. Последовательность оценки однородности состоит в том, что вначале резко отклоняющие от эмпирического распределения максимумы проверяются по статистическим критериям и в случае отклонения гипотезы однородности устанавливается ее причина на основе генетического анализа.

Особенность критериев оценки однородности Смирнова-Граббса и Диксона состоит в том, что они разработаны для условий нормального симметричного закона распределения генеральной совокупности и отсутствия автокорреляции. В тоже время эмпирические распределения характеристик максимального стока имеют большую асимметрию, а в ряде случаев, во временных рядах может иметь место статистически значимая автокорреляция между смежными членами ряда ( $r_1$ ). Для учета таких особенностей гидрологической информации были проведены работы по расширению таблиц статистических критериев наиболее часто применяемых в гидрологии (критерии Диксона, Смирнова-Граббса, Стьюдента, Фишера) и полученные результаты представлены в методических рекомендациях по оценке пространственно-временной однородности речного стока [5,6].

Статистики критерия Диксона рассчитываются на основании эмпирических данных по следующим формулам:

а) для максимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки ( $Y_n$ )

$$D_{max} = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{Y_n - Y_1} ; \quad (1)$$

б) для минимального члена ранжированной в возрастающем порядке выборки ( $Y_1$ )

$$D_{min} = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1 - Y_2} . \quad (2)$$

Статистика критерия Смирнова-Граббса для максимального члена ранжированной последовательности ( $Y_n$ ) рассчитывается по формуле

$$G_{max} = \frac{Y_n - \bar{Y}}{\sigma} \quad (3)$$

и для минимального ( $Y_1$ ):

$$G_{min} = \frac{\bar{Y} - Y_1}{\sigma} , \quad (4)$$

где:  $\bar{Y}, \sigma$  - среднее значение и среднее квадратическое отклонение анализируемой выборки.

Оценка однородности по критериям состоит в сравнении расчетных значений статистики критерия, полученной по эмпирическим данным, с ее критическим значением из таблиц или номограмм при заданном уровне значимости, объеме выборки, коэффициентах автокорреляции и асимметрии [5,7]. Уровень значимости обычно задается равным 5%, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности с вероятностью 95%.

При оценке стационарности временных рядов (относительно средних значений и дисперсий) для последовательных частей ряда применяются критерии Стьюдента и Фишера, также обобщенные для особенностей гидрологической информации [4,5,7]. Анализ по этим критериям осуществляется после того, как проведена оценка на отсутствие резко отклоняющихся экстремумов, существенно влияющих на значения средних значений и особенно дисперсий.

Для оценки стационарности дисперсий и средних значений, соответственно по критериям Фишера и Стьюдента, временной ряд разбивается на две или несколько подвыборок приблизительно одинаковой длины, причем границы разбиения желательно связать с датами предполагаемых нарушений стационарности. По каждой подвыборке вычисляются значения средних ( $\bar{Y}_j$ ) и дисперсий ( $\sigma_j^2$ ), которые используются для получения расчетных значений статистики Фишера:

$$\text{при } \sigma_j^2 > \sigma_{j+1}^2$$

$$F = \sigma_j^2 / \sigma_{j+1}^2, \quad (5)$$

где  $\sigma_j^2$ ,  $\sigma_{j+1}^2$  – соответственно дисперсии подвыборок ( $j$  и  $j+1$ ) объемом  $n_1$  и  $n_2$ .

Гипотеза о стационарности дисперсий принимается при заданном уровне значимости  $\alpha(\%)$ , если расчетное значение статистики критерия меньше критического ( $F < F^*$ ) при заданных степенях свободы, соответствующих объемам выборок ( $n_1$  и  $n_2$ ).

При объемах выборок  $n_1$  и  $n_2$  больше или равных 25 членам ряда можно использовать классическое F-распределение для нормально распределенных независимых случайных величин с новыми степенями свободы, которые зависят от автокорреляции и асимметрии и определяются по формулам [5]:

$$n_{1F} = \frac{n_1 g}{1 + \frac{2r^2}{1-r^2} \left[ 1 - \frac{1-r^{2n_1}}{n_1(1-r^2)} \right]}, \quad (6)$$

$$n_{2F} = \frac{n_2 g}{1 + \frac{2r^2}{1-r^2} \left[ 1 - \frac{1-r^{2n_2}}{n_2(1-r^2)} \right]}, \quad (7)$$

где:  $g$  – коэффициент, учитывающий влияние асимметрии исходной совокупности и определяемый по [1],

$r$  – коэффициент автокорреляции между смежными членами ряда.

Расчетное значение статистики критерия Стьюдента для оценки стационарности двух средних значений последовательных подвыборок определяется по формуле

$$t = \frac{\bar{Y}_I - \bar{Y}_{II}}{\sqrt{n_1\sigma_I^2 + n_2\sigma_{II}^2}} \sqrt{\frac{n_1n_2(n_1+n_2+2)}{n_1+n_2}}, \quad (8)$$

где:  $\bar{Y}_I, \bar{Y}_{II}$ ,  $\sigma_I^2, \sigma_{II}^2$  – средние значения и дисперсии двух последовательных выборок,  $n_1$  и  $n_2$  – объемы выборок.

Критические значения статистики Стьюдента определяются по Рекомендациям [5,6] при равных объемах выборок или рассчитываются по уравнению:

$$t'_\alpha = C_t \cdot t_\alpha, \quad (9)$$

где:  $t'_\alpha$  – критическое значение статистики Стьюдента при наличии автокорреляции,

$t_\alpha$  – критическое значение статистики Стьюдента для случайной совокупности при том же числе степеней свободы  $k = n_1 + n_2 - 2$ ;

$C_t$  – переходный коэффициент, определяемый в зависимости от коэффициента автокорреляции.

Оценка стационарности по критерию Стьюдента осуществляется также путем сравнения расчетных и критических значений статистик. Если расчетное значение меньше критического при заданном уровне значимости, гипотеза об однородности (стационарности) не отклоняется.

**Результаты исследования.** Оценка однородности эмпирических распределений на наличие резко отклоняющихся наибольших значений и стационарности средних значений и дисперсий временных рядов проведена для исходных рядов наблюдений за максимальными расходами воды весеннего половодья, слоями стока весеннего половодья и максимальными снегозапасами на территории севера Тюменской области.

Результаты оценки однородности и стационарности исходных рядов максимальных срочных расходов воды весеннего половодья приведены в табл.1. В ней знаком «+» обозначен вывод о принятии гипотезы однородности и стационарности, а знаком «-» - об отклонении.

Если расчетное значение статистики критерия близко к критическому, но превышает его, то в таблице также приводится уровень значимости, соответствующий расчетному значению критерия. В этом случае вывод о принятии или отклонении гипотезы однородности и стационарности является сомнительным и заключается в скобки.

Пример оценки однородности эмпирического распределения максимальных в году расходов воды на р.Полуй – гмс Полуй показан в табл.2. В ней приведены названия критериев, расчетные значения статистик, их критические значения и уровень значимости, соответствующий расчетным значениям. В данном случае уровень значимости составляет более 10% и поэтому в таблице приведено значение 11%, свидетельствующее о том, что гипотеза об однородности принимается с высокой степенью достоверности.

В итоге, проанализировав полученные результаты, можно принять гипотезу однородности и стационарности эмпирических распределений для всех пунктов наблюдений за максимальным расходом воды.

Следующей гидрологической характеристикой, для которой оценивалась однородность и стационарность, был слой стока весеннего половодья. В этом случае все анализируемые эмпирические распределения слоев половодья оказались однородными. Нестационарными являются ряды слоёв стока по постам р.Пур-п.Уренгой и р.Еркал-

Надей-Пур-факт.Халесовой. Их нестационарность проявляется по критерию Фишера. Поскольку в этих рядах наблюдаются довольно большие пропуски в наблюдениях, то можно предположить, что их нестационарность связана, прежде всего, именно с этим обстоятельством.

Таблица 1 - Результаты оценки однородности по критериям Диксона (Д) и стационарности по критериям Стьюдента (Ст) и Фишера (Ф) максимальных расходов воды весеннего половодья

№ п/п	Река – пункт	Критерии		
		Д	Ф	Ст.
1	р. Нягын-Юган-пос. Нягын	+	+	+
2	р. Сев. Сосьва-с. Няксимволь	+	+	+
3	р. Сев. Сосьва-с. Кимкьясуй	+	+	+
4	р. Сев. Сосьва-с. Сосьва	+	+	+
5	р. Сев. Сосьва-с.Сартынья	+	+	+
6	р. Сев. Сосьва-пгт. Игрим	+	+	4.1
7	р. Хулга-с. Ясунт	+	+	+
8	р. Ляпин-с. Саранпуль	+	+	+
9	р. Шома-Я-изба Шома-Я	+	+	+
10	р. Сыня-пос. Овгорт	+	+	+
11	р. Амня-с. Казым	+	4.6	+
12	р. Сосьва-жд. ст. Харп	+	+	+
14	р.Полуй-с. Полуй	+	+	+
15	р. Казым-с. Юильск	+	+	+
16	р. Щучья-пос.Щучье	+	+	+
17	р. Щучья факт. Лаборовая	+	+	+
18	р. Бол. Ходата-ГМС Бол. Ходата	+	+	+
19	р.Надым-пос. Надым	+	+	+
20	р. Еркал-Надей-Пур-факт. Халесовой	+	+	+
21	р. Пяку-Пур-пос. Тарко-Сале	+	+	+
22	р. Пур-г. Уренгой	+	+	+
23	р. Пур-пос. Самбург	+	+	+
25	р. Таз-пос. Сидоровск	+	3.2	+

Таблица 2. - Результаты оценки однородности эмпирического распределения максимальных расходов весеннего половодья на р.Полуй – гмс Полуй

Экстремум	Критерий	Расчетное значение	Критическое значение	Расчетный уровень значимости, %	Вывод
max	Диксон 1	0.146	0.212	11.0	однороден
max	Диксон 2	0.148	0.232	11.0	однороден
max	Диксон 3	0.161	0.285	11.0	однороден
max	Диксон 4	0.192	0.304	11.0	однороден
max	Диксон 5	0.159	0.270	11.0	однороден
min	Диксон 1	0.013	0.201	11.0	однороден
min	Диксон 2	0.016	0.210	11.0	однороден
min	Диксон 3	0.203	0.269	11.0	однороден
min	Диксон 4	0.206	0.284	11.0	однороден
min	Диксон 5	0.173	0.250	11.0	однороден
max	Смирнов-Граббс	2.186	2.979	11.0	однороден
min	Смирнов-Граббс	2.720	2.979	11.0	однороден



Последняя характеристика - данные о максимальных снегозапасах к началу половодья. Из рассматриваемых рядов нестационарен по средним значениям оказался ряд наблюдений по метеостанции Се-яха, и неоднороден и нестационарен по критерию Фишера ряд наблюдений по метеостанции Мужы.

Этот ряд имеет большие пропуски в наблюдениях и имеет продолжительность 14 лет. Тем не менее, так как критерий Фишера показывает стационарность и ряд наблюдений однороден было принято решение рассчитывать статистические параметры ряда по имеющимся данным, без изменений. Следующий случай несоответствия данных гипотезе стационарности и однородности – ряд наблюдений по метеостанции Мужы. Однородность ряда нарушается резко отклоняющимися минимальными значениями ряда в 1949г. -87 мм, 1951г.-78 мм и 1956г. – 62 мм. Из-за отсутствия необходимых сведений невозможно установить конкретную причину отклонения данных величин с одной стороны, а с другой этот ряд также имеет большие пропуски в периоде наблюдений. Поскольку гидрометеорологическая изученность данной территории недостаточна и не может быть существенно увеличена, то предлагается использовать также данные и поэтому посту, в случае необходимости.

**Выводы.** Общий вывод из анализа однородности и стационарности всех гидрологических характеристик максимального стока весеннего половодья рек исследуемой территории состоит в том, что все данные практически соответствуют условиям однородности и стационарности и к ним можно применять аппарат математической статистики.

**Перспективы дальнейших исследований.** Полученные результаты будут в дальнейшем использованы при расчете характеристик максимального стока весеннего половодья рек севера Тюменской области заданной обеспеченности, с целью их дальнейшего обобщения по территории.

#### Список литературы

1. *Ресурсы поверхностных вод СССР. / Алтай и Западная Сибирь - Л.: Гидрометеиздат, 1973.Т. 17. – 848 с.*
2. *Климат и воды Сибири. Сб. науч. тр. / Под ред. Г.В. Бачурина, В.В. Буфал – Новосибирск.: Наука, 1980. – 235 с.*
3. *Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.*
4. *СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик.. - М: Госстрой России, 2003.- 74 с.*
5. *Методические рекомендации по методам оценки однородности и стационарности рядов гидрологических характеристик при разработке Территориальных строительных норм (ТСН). – Санкт Петербург.: ГГИ, 2003. – 48 с.*
6. *Методические рекомендации. Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Санкт- Петербург.: ГГИ, 2007. – 69 с.*
7. *Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации.– Санкт Петербург, 2007. – 278 с.*

**Дослідження однорідності і стаціонарності інформації по максимальному стоку весняного водопілля річок півночі Тюменської області. Овчарук В.А., Лобанов В.А., Молдован М.В.**

*У статті, на прикладі даних по максимальному стоку весняного водопілля річок півночі Тюменської області, аналізується відповідність вимогам, що пред'являються сучасними нормативними документами до вихідної інформації по стоку.*

**Ключові слова:** *максимальний стік весняного водопілля, однорідність, стаціонарність.*

**Research of homogeneity and stationarity of information on the maximal runoff of spring flood of the rivers of north of Tyumenskaya area. Ovcharuk V.A., Lobanov V.A., Moldovan N.V.**

*In the article, on the example of information on the maximal flow of spring flood of the rivers of north of the Tyumenskaya area, conforming to the requirements is analyzed, by the produced modern normative documents to initial information on runoff.*

**Keywords:** *maximal runoff of spring flood, homogeneity, stationarity.*

УДК 556.15

**І.Д.Кічук, Є.Д.Гопченко, д.геогр.н., Н.С. Кічук, В.В. Черкес**

*Одеський державний екологічний університет*

*Одеське обласне управління по водному господарству*

## **ПРОБЛЕМИ ВОДООБЛІКУ НА ВОДОГОСПОДАРСЬКИХ МЕРЕЖАХ ОДЕЩИНИ**

*У статті розглядається сучасний стан водообліку на зрошувальних системах Одеської області, перспективи розвитку та пропозиції щодо вдосконалення.*

**Ключові слова:** зрошувані землі, водооблікові прилади, ГІС-система.

**Вступ.** Загальні відомості про стан водообліку на водогосподарських мережах Одещини.

Уявлення про водні ресурси докорінно змінилися за останні двадцять років. З нібито невичерпного природного ресурсу прісна вода стала лімітуючим чинником розвитку галузей господарства України. Особливо важливого значення набуває вода для зрошуваного землеробства, яке на півдні України, у тому числі й в Одеській області є одним з основних її споживачів.

Нині проблема раціонального використання водних ресурсів не може вирішуватися успішно без розгляду питань водообліку й управління водорозподілом, заснованих на системних принципах. Останні передбачають здійснення збору, аналізу й обробки інформації за допомогою комплексу прийомів і методик, призначених для цілей водообліку в умовах платного водокористування, а також для оптимального управління технологічними процесами водоподачі й водовідведення при максимальному задоволенні потреб у воді водоспоживачів і при мінімальному завданні збитків доквітлю. Основними завданнями системи водообліку на гідромеліоративних системах є: облік витрат і об'ємів подачі до зрошувальної мережі води з водозабору, скидної і колекторно-дренажної мережі; облік витрат води в точках виділу; облік витрат води, що потрапляє за межі системи; облік витрат води на межах водокористувачів; встановлення балансу водних ресурсів і витрат води; забезпечення правильної технічної експлуатації каналів і споруд.

В Одеській області нараховується 231,3 тис. га меліоративних земель, з яких 226,8 тис. га зрошуваних земель, причому 220 тис. га – державні мережі. Зрошувальні системи простяглися на 5388,1 км. З них великих магістральних каналів та трубопроводів, що знаходяться на балансі облводгоспу, – 998,1 км. На зрошувальній і дренажно-скидній мережах розміщено 8684 гідротехнічних споруд, з яких державних налічується 3119 одиниць. Воду на систему подають 244 державні насосні станції. Балансова вартість меліоративних фондів становить 1560,5 млн. грн, у т.ч. на балансі облводгоспу 1088,4 млн. грн. [1,2].

**Метою** статті є аналіз існуючого стану водообліку на водогосподарських системах та надання оцінки технічного забезпечення.

Зазначені меліоративні фонди та кількість гідротехнічних споруд, які забезпечують водоподачу на зрошувані землі щороку в об'ємі близько 160 млн.м<sup>3</sup>, не можуть залишатися без систематичного обліку води. Тому на меліоративних об'єктах області, починаючи з водозабору із джерела зрошення, технологічних операцій на меліоративній мережі як державного значення, так і внутрішньогосподарській, до точок водовиділу, тобто до поливного масиву, функціонує 290 гідропостів та 515 одиниць точок водовиділу водокористувачам [1,2]. На водогосподарських системах області налічується понад 750 пунктів обліку води (рис.1).

Станом на 1 січня 2010 р., у гідрометричних службах водогосподарських організацій нараховується 146 приладів водообліку УЗР-В, 13 гідрометричних млинків, 5 мікромлинків ГМЦ-90, 4 прилади «Взлёт Премьер», 5 приладів ІРКА, 1 прилад «Эхо-Р-02»

та 35 інших (рис.2). Стационарно на насосних станціях в основному в роботі задіяні прилади типу УЗРВ-В «Акустрон» [1].

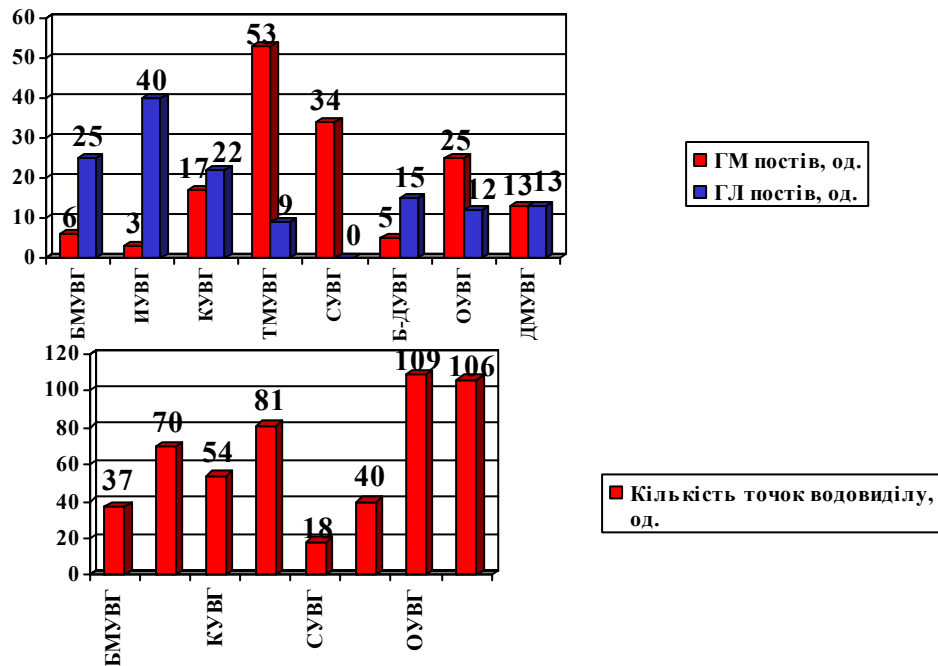


Рис.1 - Кількість гідропостів і точок водовиділу.

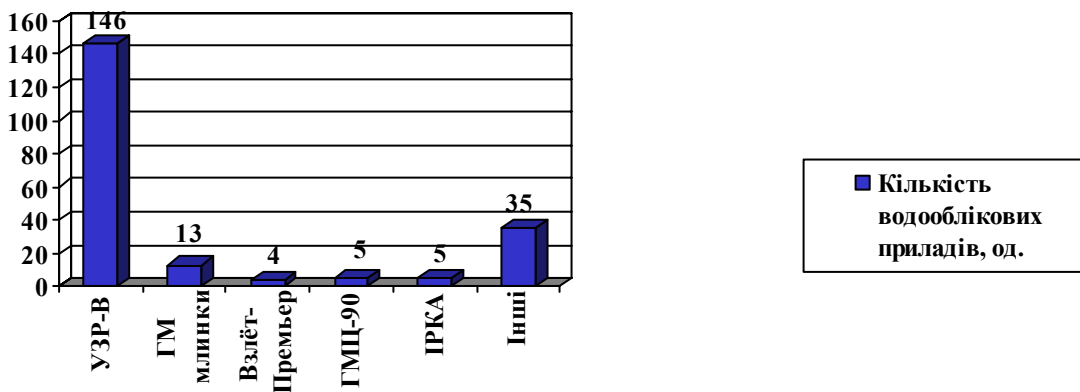


Рис. 2 - Кількість водооблікових приладів.

Основним споживачем, за об'ємом забраної води, є сільське господарство країни. У зв'язку з цим організація обліку води на зрошувальних системах є важливим і першочерговим завданням.

Але наявна сьогодні водооблікова система та прямий приладний облік води не може задовольнити всіх водокористувачів. Особливо це стосується фермерських господарств і дрібних водокористувачів, які утворилися внаслідок реформування сільськогосподарських підприємств.

У зв'язку з новими економічними стосунками, переходом на платне водокористування в зрошуваному землеробстві й інших галузях сільського господарства, широким використанням фермерських господарств особливого значення набуває достовірний водооблік води в пунктах забору з джерел зрошування і водовиділу. Облік

води у вказаних пунктах є основою правильних економічних взаємин, з одного боку, між водогосподарською експлуатаційною організацією і державою, з іншого – між цією організацією і водоспоживачем. Про що й укладається «Типовий договір» на послуги з подачі води, основний зміст якого наводиться на рис.3.

**Договір № 12**  
**про надання послуг з подачі води**  
**на полив зрошуваних земель**

“ 12 ” *березня* 2010 р. м. Ізмаїл  
(дата укладання)

**Замовник :** СХ „Житниця“  
в особі директора Іванова І.В.,  
що діє на підставі Положення,

**Виконавець I:** Одеське обласне виробниче управління по водному господарству в особі начальника Мойсеєнка Михайла Семеновича, що діє на підставі Положення,

**Виконавець II:** Ізмаїльське управління водного господарства в особі начальника Жечкова Панаса Івановича, що діє на підставі Положення

уклали цей договір про нижченаведене:

### 1. Предмет договору

1.1. Договір передбачає умови та порядок подачі води для поливу сільськогосподарських культур, проведення моніторингу меліоративного стану поливного масиву та розрахунки за надані послуги.

1.2. подача води водокористувачу здійснюється з урахуванням втрат води по тракту водоподачі та здійснення технологічних операцій на меліоративній мережі.

Замовник оплачує вартість електроенергії на подачу і транспортування води до поливного масиву та послуги з подачі води згідно з протоколом погодження договірної ціни (додаток 1).

### 2. Права й обов'язки сторін

2.1. **Виконавець I** зобов'язаний:

2.1.1. Виконувати супровід договору та виконувати роботи з переліку видів послуг згідно з додатком 2.

2.2. **Виконавець II** зобов'язаний:

2.2.1. Здійснювати подачу води згідно з планом поливу (додаток 3) та планом водокористування (додаток 4) відповідно до заявки **Замовника** (додаток 5) протягом поливного сезону 2010 року витратами, що не перевищують проектні можливості точок водовиділу, та в обсягах, забезпечених фінансуванням **Замовника** на оплату електроенергії, яка буде використана для подачі води від первинного джерела зрошення по тракту водоподачі до точки водовиділу, при умові своєчасного виконання **Замовником** зобов'язань, передбачених у пункті 2.3. цього договору.

2.2.2. Призначити своїм наказом працівника, відповідального за складання актів подачі-приймання обсягів поданої води по погодженому з **Замовником**

Рис.3 - Зразок договору на послуги з подачі води.

На гідромеліоративних системах створюються гідрометричні пости, які є пунктами водообліку. Для чіткого балансу та водорозподілу й реалізації поставлених завдань необхідна організація чіткої системи водообліку, вироблення та прийняття правильної технічної концепції подальшого використання наявних і нових методів, а також технічних засобів вимірів витрат і споживаних об'ємів води, організація й оснащення обліковими засобами гідромеліоративних систем і водогосподарських об'єктів.

Ефективність меліорації земель багато в чому визначається станом експлуатації зрошувальних систем. Сучасні системи потребують постійного і кваліфікованого нагляду, чіткого й оперативного управління процесами розподілу води по каналах міжгосподарської і внутрішньогосподарської мережі відповідно до планів водокористування, контролю за використанням води.

Спрацювання і (або) відсутність засобів водообліку, втрати на внутрішньогосподарській мережі призводять до порушення планового водокористування, збільшення непродуктивних скидів, величина яких інколи буває значною, від головного водозабору до поливного масиву.

#### **Стан використання нових технологій для водообліку .**

В умовах збільшеного навантаження на водні й наземні екосистеми, негативної зміни якісних і кількісних показників поверхневих вод, спрацювання й застарівання гідротехнічних споруд і пристроїв меліоративних систем, відсутності раціональної системи водообліку необхідна розробка й обґрунтування технічно досконалих систем, які б забезпечували розвиток обліку води та, врешті-решт, раціональне її використання.

На сучасному етапі функціонування меліоративного комплексу особливу стурбованість викликає приладний водооблік. Тому за дорученням Держводгоспу України створена програма «Водооблік 2009-2011». Згідно з програмою здійснюється придбання нових приладів водообліку, зразки яких наведено на рис.4.

На перший план прямого обліку води виходять нові прилади водообліку, похибка яких дуже низька, - вони забезпечують передавання даних за допомогою модема, що дозволяє оперативно отримувати результати витрат води посекундно, накопичувати всі дані та приймати оперативні рішення диспетчерською службою щодо розподілу води, а також більш оперативно розраховувати баланс води для водокористувачів.



Рис.4 - Прилади обліку води типу ІРКА.

Як для організацій, що подають воду, так і для водокористувачів усіх рівнів, постає необхідність розробки ГІС-системи з обліку поливної води, яка повинна в системі on-line забезпечувати передавання даних на диспетчерський пункт і самостійно розраховувати баланс води за трактами водоподачі, системами водоспоживання районів та по області. В розрахунках повинні бути враховані всі втрати води на меліоративній мережі, випаровування з відкритої мережі, з джерел водопостачання, облік води на перекачування трактами водоподачі тощо [3].

За попередніми розробками щодо створення такої системи, на першому етапі розробляються шари програмного забезпечення, на яких відображаються управління водного господарства, експлуатаційні ділянки, насосні станції, колекторно-дренажні

мережі, гідрологічні пости тощо. Також кодуються тракти водоподачі, створюється можливість заповнювати окремі комірки в програмному комплексі (приклад наведено на рис.5).

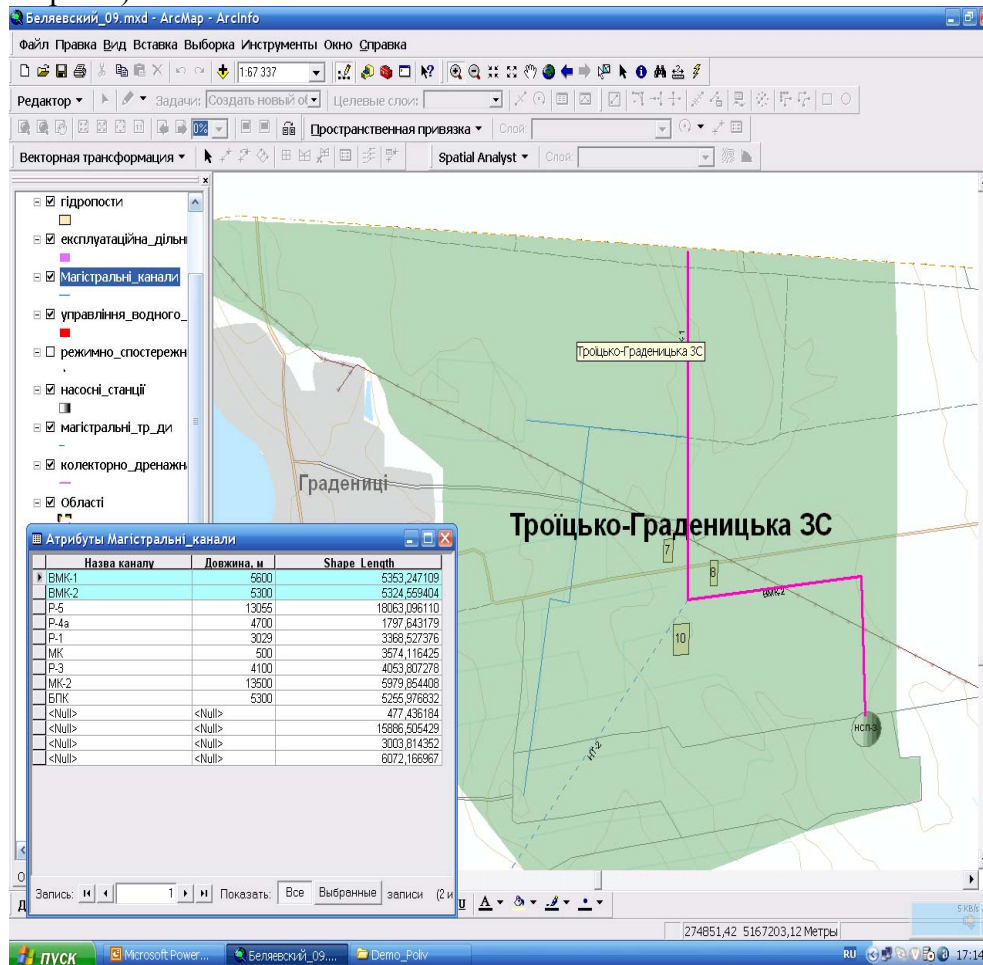


Рис.5 - Приклад вибору об'єкта для системи контролю та управління поливними системами.

**Висновки.** Сучасний стан зрошувального землеробства в Одеській області потребує розробки науково-обґрунтованих заходів по підвищенню ефективності використання поливної води, у тому числі й шляхом налагодження водообліку, що повинно позитивно відбитись на собівартості сільськогосподарської продукції.

### Список літератури

- 1.Річні звіти Одеського облводгоспу за 2008,2009 рр. Архівні матеріали. – 120 с.
- 2.Протоколи технічних нарад облводгоспу за 2009,2010 рр. Архівні матеріали.- 6 с.
- 3.Програма «Водооблік 2009-2011» Держводгоспу України та Одеського облводгоспу. Архівні матеріали. - 50 с.

#### Проблеми водоучета на водохозяйственных системах Одесщины.

И.Д.Кичук, Е.Д.Гопченко, Н.С. Кичук, В.В. Черкес.

*В статье рассматривается современное состояние водоучета на водохозяйственных системах Одесской области, перспективы развития и предложения по усовершенствованию.*

**Ключевые слова:** орошаемые земли, водоучетные приборы, ГИС- система.

**Problems of water metering in water-distribution system in Odessa region.**

Kichuk I, Gopchenko E, Kichuk N, Cherkes V.

*The article highlights the current state of water metering in water-distribution system of Odessa region, prospects and proposals for its improvement.*

**Keywords:** irrigated land, water metering devices, GIS-system



**М.В. Захарова, к.г.н., Я.С. Яров, ас.**  
Одеський державний екологічний університет

## ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД БАСЕЙНУ р. ТИСА

*В статті для визначення імовірності впливу систематичного фактору на формування хімічного складу поверхневих вод басейну р. Тиса використовується метод однофакторного дисперсійного аналізу.*

**Ключові слова:** загальна дисперсія, міжгрупова дисперсія, внутрішньогрупова дисперсія, кореляційне відношення, коефіцієнт детермінації, критерій Фішера.

**Вступ.** Відомо, що жодне явище в природі не можна вивчати ізольовано, поза зв'язком з навколишнім середовищем. Так, в екології будь-яка результативна ознака (наприклад, обсяги скидів або концентрацій хімічних речовин) зазнає впливу багатьох факторів антропогенного та природного характеру. У зв'язку з цим результативні ознаки зазнають значної міжрегіональної і внутрішньорегіональної диференціації.

Чисельна характеристика взаємозв'язків визначається в результаті розрахунків низки статистичних характеристик, що відбивають різні аспекти залежності між факторними та результативними ознаками. Для кількісної ознаки взаємозв'язків і їхньої суттєвості при незначній кількості спостережень застосовується дисперсійний аналіз.

В результаті дисперсійного аналізу одержуються дані, що характеризують загальне розсіювання, або дисперсію ознаки, обумовлену дією всіх факторів; часткову або факторну дисперсію, зумовлену впливом організованих і врахованих факторів, та залишкову дисперсію, пов'язану з випадковими і неорганізованими факторами [1].

Метою статті є виявлення впливу систематичного фактору на просторовий розподіл рядів середніх багаторічних концентрацій хімічних речовин, що формують хімічний склад поверхневих вод басейна р. Тиса, та визначення обумовленості цього розподілу випадковістю за допомогою методу однофакторного дисперсійного аналізу.

**Об'єкти та вхідні матеріали досліджень.** При виконанні цього дослідження використовувалися осереднені за періоди спостережень (табл. 1) результати вимірювання показників якісного складу вод на 50 об'єктах басейну р. Тиса.

Таблиця 1 – Об'єкти дослідження та періоди спостережень за хімічним складом

№	Річка – пост	Роки	№	Річка – пост	Роки
1	2	3	1	2	3
1	р. Уж – м. Ужгород (н)	1976-2004	12	р. Латориця – м. Чоп	1976-2004
2	р. Уж – м. Ужгород (в)	1953-2003	13	р. Віча – с. Неліпіно	1963-2004
3	р. Уж – м. Перечин (н)	1980-2004	14	р. Латориця – м. Свалява (н)	1977-2004
4	р. Уж – м. Перечин (в)	1976-2004	15	р. Латориця – м. Свалява (в)	1977-2004
5	р. Уж – с. Жорнава	1963-2003	16	р. Латориця – с. Підполоззя	1963-2004
6	р. Тур'я – с. Симер	1963-2003	17	р. Боржава – с. Шаланки	1963-2003
7	р. Люта – с. Черногорова	1963-1988	18	р. Боржава – с. Довге	1961-1985
8	р. Стара – с. Зняцеве	1963-1985	19	р. Ріка – м. Хуст	1953-2003
9	р. Латориця – м. Мукачеве (н)	1977-2004	20	р. Ріка – с. Майдан	1993-2004
10	р. Латориця – м. Мукачеве (в)	1978-2004	21	р. Ріка – смт Міжгір'я (н)	1986-2004
11	р. Латориця – м. Мукачеве	1953-1985	22	р. Ріка – смт Міжгір'я (в)	1957-2004

Продовження табл. 1

1	2	3	1	2	3
23	р. Глибокий Яр – смт Міжгір'я	1962-1981	37	р. Шопурка – с. В. Бичків (с)	1988-2004
24	р. Грабовець – смт Міжгір'я	1966-1979	38	р. Шопурка – с. В. Бичків (в)	1988-2004
25	р. Йойковець – смт Міжгір'я	1962-1981	39	р. Тиса – м. Чоп	1975-2004
26	р. Репінка – с. Репіне	1958-2004	40	р. Тиса – смт Вилок	1961-2004
27	р. Лопушна – с. Лопушне	1960-1985	41	р. Тиса – м. Хуст (в)	1965-2004
28	р. Пилипець – с. Пилипець	1960-1985	42	р. Тиса – м. Хуст (н)	1984-2004
29	р. Студений – с. Н. Студений	1958-1983	43	р. Тиса – м. Тячів (в)	1986-2004
30	р. Тересля – с. Колочава	1957-2004	44	р. Тиса – м. Тячів	1963-2003
31	р. Мокранка – с. Рус. Мокра	1963-2002	45	р. Тиса – м. Тячів (н)	1986-2004
32	р. Тересва – с. Дубове	1953-1988	46	р. Тиса – м. Рахів (н)	1949-2004
33	р. Лужанка – с. Нересниця	1963-2002	47	р. Тиса – м. Рахів (в)	1976-2004
34	р. Брустуранка – с. Лопухів	1963-2002	48	р. Тиса – с. Луги	1963-2004
35	р. Тересва – с. Нересниця	1963-2003	49	р. Тиса – с. Ясиня (с)	1963-2004
36	р. Тересва – с. Усть-Чорна	1963-1985	50	р. Тиса – с. Ясиня (в)	1986-2004

Як вхідні матеріали для розрахунків використовувалися такі групи хімічного складу природних вод, як [2, 3]: 1) фізичні показники: температура, рН, завислі речовини, сума іонів, загальна твердість; 2) розчинені гази: кисень, двоокис вуглецю; 3) головні іони (макрокомпоненти): кальцій, магній, натрій і калій, гідрокарбонати, сульфати, хлориди; 4) біогенні речовини: мінеральний і загальний фосфор, нітрити, нітрати, іони амонію, кремній, залізо; 5) органічні речовини: ХСК, перманганатна і біхроматна окислюваність, БСК<sub>5</sub>; 6) мікроелементи (мікрокомпоненти): мідь, цинк, хром, марганець, фтор, свинець, кадмій; 7) забруднювальні речовини: феноли, нафтопродукти, СПАР.

**Методи дослідження.** Дисперсійний аналіз – це математико-статистичний метод вивчення результатів спостереження, що залежать від різноманітних одночасно діючих факторів. Застосування дисперсійного методу дає можливість розв'язувати важливі завдання. Основне призначення дисперсійного аналізу – статистично виявити вплив факторів на варіацію ознак, що вивчається, визначити частку впливу різних факторів відокремлено, а також їхній сумарний вплив на мінливість ознаки.

За допомогою дисперсійного методу розв'язуються такі основні завдання: кількісне вимірювання сили впливу факторних ознак та їхніх сполучень на результативну; визначення імовірності впливу та його довірчих меж; аналіз окремих середніх та статистична оцінка їхньої різниці.

Схема дисперсійного аналізу включає такі етапи:

1) встановлення основних джерел мінливості результативної ознаки і розкладання загальної дисперсії по джерелах утворення та визначення обсягів варіації по джерелах утворення:

$$D_0 = D_M + D_G, \quad (1)$$

$$D_0 = \sum x^2 - (\sum x)^2 / N, \quad (2)$$

$$D_M = \sum (\sum x_i)^2 / n_i - (\sum x)^2 / N, \quad (3)$$

$$D_G = \sum x^2 - \sum (\sum x_i)^2 / n_i, \quad (4)$$



де  $D_0$  – загальна дисперсія (складається під впливом багатьох факторів і характеризує варіацію числових значень результативної ознаки, пов'язану з варіацією всіх факторів, що на неї впливають);

$D_M$  – міжгрупова дисперсія (характеризує варіацію групових середніх, тобто варіацію результативної ознаки, яка пов'язана з варіацією групувальної ознаки, що обумовлена дією систематичних факторів);

$D_e$  – внутрішньогрупова дисперсія (характеризує варіацію ознаки всередині конкретної групи, що обумовлена дією випадкових факторів);

$x$  – варіюючі ознаки;

$x_i$  – варіюючі ознаки  $i$ -ої групи;

$N$  – кількість об'єктів спостереження;

$n_i$  – чисельність  $i$ -ої групи.

2) визначення числа степенів вільності варіації, що відповідають компонентам загальної варіації

$$v_1 = m - 1, v_2 = N - m, \quad (5)$$

де  $v_1$  – кількість степенів вільності для міжгрупової варіації;

$m$  – кількість груп;

$v_2$  – кількість степенів вільності для залишкової варіації.

3) обчислення середніх дисперсій:

$$\sigma_0^2 = \sigma_M^2 + \sigma_e^2, \quad (6)$$

$$\sigma_0^2 = D_0 / N, \quad (7)$$

$$\sigma_e^2 = \sigma_0^2 - \sigma_M^2, \quad (8)$$

де  $\sigma_0^2$  – загальна середня дисперсія;

$\sigma_M^2$  – міжгрупова дисперсія;

$\sigma_e^2$  – внутрішньогрупова дисперсія.

4) оцінка ступеня і сили зв'язку факторних ознак з результативною ознакою здійснюється за допомогою таких показників:

$$\eta_M = \sqrt{D_M / D_0}, \eta_e = \sqrt{D_e / D_0}, \quad (9)$$

$$\eta_M^2 = D_M / D_0, \eta_e^2 = D_e / D_0, \quad (10)$$

де  $\eta_M, \eta_e$  – кореляційне відношення, що характеризує тісноту взаємодії з систематичними і випадковими факторами;

$\eta_M^2, \eta_e^2$  – коефіцієнти детермінації, що характеризують ступінь впливу систематичного і випадкового факторів на результативний.

5) оцінка достовірності одержаних результатів за допомогою  $F$ -критерію

$$F = \frac{\eta^2}{1 - \eta^2} \cdot \frac{\nu_2}{\nu_1}, \quad (11)$$

де  $F$  – дисперсійне відношення або критерій Фішера.

**Результати дослідження та їх аналіз.** Для оцінки просторових закономірностей формування хімічного складу поверхневих вод в басейні р. Тиса використовувалися середні багаторічні концентрації кожного з розглядуваних показників хімічного складу вод. Для одержаного просторового розподілу визначалися систематична і випадкова складові просторової дисперсії, кореляційні відношення  $\eta_m^2$  і  $\eta_e^2$  та оцінювалася достовірність одержаних результатів на основі  $F$ -критерію (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати дисперсійного аналізу

№	Показник	$D_0$	$D_m$	$D_e$	$\sigma_0^2$	$\sigma_m^2$	$\sigma_e^2$	$\eta_m^2$ , %	$\eta_e^2$ , %	$F$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Температура	759	715	43,9	15,2	14,3	0,90	94	6	117
2	Завислі речовини	21785	21112	672	495	480	15,3	97	3	194
3	pH	3,50	3,30	0,20	0,07	0,07	0,00	93	7	104
4	Кисень	107	105	2,40	2,27	2,22	0,05	99	1	296
5	Двоокис вуглецю	767	746	21,1	18,2	17,7	0,50	97	3	206
6	Кальцій	1795	1749	45,9	35,9	35,0	0,90	97	3	273
7	Магній	133	129	4,20	2,70	2,60	0,10	97	3	221
8	Натрій + калій	2854	2769	85,4	57,1	55,4	1,71	97	3	232
9	Гідрокарбонати	33864	31770	2094	677	635	41,9	94	6	109
10	Сульфати	3025	2935	89,7	60,5	58,7	1,80	97	3	234
11	Хлориди	2161	2090	71,3	43,2	41,8	1,40	97	3	210
12	Сума іонів	76084	73676	2408	1522	1473	48,2	97	3	219
13	Мінеральний фосфор	0,034	0,033	0,001	0,0007	0,0007	0,00	96	4	174
14	Загальний фосфор	0,125	0,119	0,007	0,002	0,002	0,00	95	5	124
15	Нітриди	0,503	0,477	0,027	0,01	0,01	0,00	95	5	128
16	Нітрати	21,2	20,1	1,10	0,42	0,40	0,02	95	5	134
17	Іон амонію	38,0	36,3	1,70	0,76	0,73	0,03	95	5	152
18	Кремній	42,3	39,4	2,90	0,92	0,86	0,06	93	7	89,7
19	Залізо	8,20	7,80	0,40	0,16	0,16	0,00	95	5	143
20	ХСК	216	204	11,4	8,99	8,51	0,48	95	5	64,5
21	Пермангантна окислюваність	191	183	7,60	4,77	4,58	0,19	96	4	133

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
22	Біхроматна окислюваність	1253	1196	56,2	25,0	23,9	1,10	95	5	153
23	БСК <sub>5</sub>	22,1	20,9	1,20	0,49	0,46	0,03	94	6	107
24	Феноли	0,022	0,021	0,001	0,00	0,00	0,00	97	3	227
25	Загальна твердість	8,20	7,80	0,40	0,17	0,17	0,00	96	4	153
26	Нафто-продукти	2,40	2,30	0,07	0,05	0,05	0,00	97	3	233
27	СПАР	0,05	0,05	0,004	0,001	0,001	0,00	94	6	106
28	Мідь	0,017	0,016	0,001	0,00	0,00	0,00	95	5	133
29	Цинк	0,007	0,007	0,0003	0,00	0,00	0,00	95	5	132
30	Хром	0,0012	0,0011	0,0001	0,00	0,00	0,00	95	5	112
31	Марганець	0,0134	0,0131	0,0003	0,00	0,00	0,00	98	2	200
32	Фтор	1,90	1,80	0,09	0,04	0,04	0,00	95	5	135
33	Свинець	0,0488	0,0487	0,0001	0,003	0,003	0,00	99	1	7799
34	Кадмій	0,00004	0,00004	0,00001	0,00	0,00	0,00	98	2	35,7

Аналіз результатів дослідження показав, що просторові закономірності формування хімічного складу вод басейну Тиси обумовлені впливом систематичного фактору, оскільки варіації групових середніх рядів багаторічних хімічних концентрацій в річкових водах коливаються в межах від 93% до 99%. Варіації за рахунок випадковості в середині груп цих концентрацій змінюються в межах від 1% до 7%.

**Висновки.** На основі однофакторного дисперсійного аналізу встановлена дисперсія просторової мінливості основних гідрохімічних показників. Показано, що просторова дисперсія усіх показників обумовлена впливом систематичного фактору, внесок якого становить 93-99%. Випадкова складова дисперсії становить всього 1-7%. Достовірність одержаних результатів підтверджується перевіркою статистичної гіпотези про незначущість різниці між просторовою та систематичною складовою дисперсії на основі критерію Фішера.

### Список літератури

1. Тарасова В.В. Екологічна статистика. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 392 с.
2. Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Загальна гідрохімія. – К.: «Либідь», 1997. – 384 с.
3. Никаноров А.М. Гидрохимия. – СПб: Гидрометеоздат, 2001. – 444 с.

**Дисперсионный анализ химического состава поверхностных вод бассейна р. Тисы. Захарова М.В., Яров Я.С.**

*В статье для определения вероятности влияния систематического фактора на формирование химического состава поверхностных вод бассейна р. Тисы используется метод однофакторного дисперсионного анализа.*

**Ключевые слова:** общая дисперсия, межгрупповая дисперсия, внутригрупповая дисперсия, корреляционное отношение, коэффициент детерминации, критерий Фишера.

**The dispersive analyze of surface water's chemical compound of basin of the river Tisa. Zakharova M., Yarov Y.**

*For definition of probability of influence of systematic factor on formation a surface water's chemical compound of basin of the river Tisa the method of the one-factorial dispersive analysis is used in this article.*

**Keywords:** general dispersion, intergroup dispersion, intragroup dispersion, cross-correlation relation, coefficient of determination, criterion of Fisher's.

**Я.С. Яров, ас.**

*Одеський державний екологічний університет*

## **ГІДРОХІМІЧНИЙ РЕЖИМ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН РІЧКИ БАРАБОЙ**

*У статті проаналізовано сучасний гідрохімічний режим та екологічний стан річки Барабой. Встановлено, що господарське освоєння істотним чином впливає на гідрохімічні показники та екологічний стан басейну річки Барабой.*

**Ключові слова:** *гідрохімічний режим, екологічний стан, гідроекологічний моніторинг.*

**Вступ.** Проблема погіршення сучасного гідроекологічного стану малих річок Одеської області під впливом господарської діяльності вже давно набула актуальності. Малі річки складають основу водно-ресурсного потенціалу регіону і є важливою умовою сталого розвитку народного господарства в окремих районах області, тому питанню дослідження їх гідроекологічного режиму приділяється велика увага.

Річка Барабой є складовою Нижньодністровської зрошувальної системи (НДЗС), в її руслі споруджено два водосховища (Барабойське і Санжейське) та ставки, які наповнюються місцевим стоком та дністровською водою для зрошення, рибориства, рекреації. Екологічний стан басейну р. Барабой визначає соціально-економічний розвиток м. Теплодар та 27 сіл Біляївського та Овідіопільського районів. Високий рівень зарегульованості, розорюваності, урбанізації, меліорації призвів до виникнення екологічних проблем, пов'язаних з якістю води, пересиханням і замуленням русла річки, підтопленням і, відповідно, з постійною необхідністю вкладати значні кошти в розчищення русла. Особливо ці проблеми загострилися останніми роками, коли спостерігаються екстремальні коливання гідрометеорологічних факторів. Вирішення цих проблем ускладнюється недостатністю інформації про режим р. Барабой. Підставою для виконання цього дослідження є необхідність оновлення вже діючої „Регіональної програми моніторингу довкілля Одеської області” (затверджена рішенням облради № 782-IV від 31.03.2006), оскільки вона розрахована на 2006-2010 рр. і вичерпує термін своєї дії.

**Аналіз досліджень та публікацій** показав, що річка Барабой є своєрідною „білою плямою” в роботах вітчизняних науковців. Досить мало опублікованих даних спостережень за сучасним режимом річки. В [1, 2] міститься опис басейну р. Барабой (станом на 1956 р.) та характеристики її режиму, визначені за річками-аналогами. Опис басейну р. Барабой станом на 1.01.1992 р. наведений в її паспорті [3], який вже застарів і потребує оновлення. Відомості про режим роботи НДЗС та водосховищ подані в [4-6]. Зокрема, в [5] наведені сучасні гідроекологічні показники Барабойського водосховища. Зараз рівневий режим р. Барабой контролюється спеціалістами Дністровського міжрайонного та Овідіопольського управлінь з водного господарства за допомогою трьох водпостів, розташованих на водосховищах, та в одному гідрохімічному створі Одеською гідролого-меліоративною експедицією (ОГГМЕ) Одеського обласного управління з водного господарства (ООУВГ); епізодично моніторинг здійснюють Біляївська та Овідіопільська районні санітарно – епідеміологічні станції, дані друкуються у відомчих щорічних звітах. Загалом моніторинг р. Барабой недостатній в просторово-часовому відношенні, відсутня ефективна координація з боку різних суб'єктів моніторингу, є матеріально-технічні труднощі забезпечення спостережень.

**Мета роботи** – узагальнення існуючих матеріалів спостережень р. Барабой та результатів власних гідрохімічних зйомок річки, виконаних на кафедрі гідроекології та водних досліджень ОДЕКУ протягом 2009-2010 рр., оцінка сучасного гідрохімічного

режиму та екологічного стану р. Барабой.

**Матеріали і методи дослідження.** На попередньому етапі було зібрано літературні та режимні характеристики річки Барабой [1-4]. Було розроблено схему станцій (місць спостережень) згідно нормативних вимог [7-9]. Головним критерієм вибору ділянок спостережень була їхня репрезентативність. Всього було обрано 20 станцій (36 точок відбору проб), з яких 9 станцій розташовані у верхній ділянці р. Барабой (на балках Барабойська, Ставкова), 3 - на Барабойському водосховищі, 7 - у середній ділянці (с. Мирне – с. Доброолександрівка), 1 - на Санжейському водосховищі, 6 - у нижній ділянці (с. Барабой – гирло). Схема розташування станцій подана на рис. 1, опис станцій наведено в табл. 1. Під час рекогносцирувальних гідрохімічних зйомок проводились: візуальне обстеження, координування в системі GPS, визначення фізико-хімічних показників води, відбір проб води, донних відкладів, їх обробка в лабораторії науково – експертного центру моніторингу та досліджень навколишнього середовища ОДЕКУ за стандартними методиками [10]. Терміни обстежень відповідали характерним гідрологічним фазам р. Барабой (літня, осіння, зимова межень, спад весняного водопілля).



Рис.1 – Схема розташування станцій гідрохімічних зйомок на р.Барабой протягом 2009-2010 рр.

Таблиця 1 – Інформація по станціях гідрохімічних зйомок р. Барабой

№ п/п	Найменування	Місцезнаходження
1	2	3
1-а	Балка Барабойська, с. Покровка	3 км нижче с. Покровка, дренажний перехід через ґрунтовий шлях
1-б	Балка Барабойська, с. Новосельці	Південна околиця селища, ставок №2, Праве примикання греблі
1-в	Балка Барабойська, с. Кам'янка	Центр селища, а/д міст шосе Одеса-Кучурган
2-а	Балка Ставкова, с. Секретарівка, ставок №2,	Центр с. Секретарівка, центр греблі
2-б	Балка Ставкова, с. Секретарівка, ставок №3	0,5 км нижче с. Секретарівка, лівий берег
2-в	Балка Ставкова, с. Миколаївка, вихід ґрунтових вод	Правий берег ставка №4, навпроти с. Миколаївка, літній табір для коней
2-г	Балка Ставкова, с. Миколаївка, ставок №4	Низовина, праве примикання греблі
2-д	Балка Ставкова, с. Василівка, ставок №5	Гребля, 50 м від зливної труби, північно-західна околиця с. Василівка
3	р. Барабой, с. Василівка	10 м нижче сполучення балок Барабойська і Ставкова
4	р. Барабой, с. Широка Балка	Гирло обвалованої ділянки річки, водопропускний отвір в захисній греблі Барабойського водосховища
5	Накопичувальний дренажний басейн біля НС-1	Водпост біля НС-1, південно-західна околиця с. Широка Балка, вище захисної греблі Барабойського водосховища
Барабойське водосховище (м. Теплодар)		
6-а	Верхів'я	Аванкамера в кінці підвідного каналу в хвості водосховища, рейковий водпост
6-б	Правий берег	Східна околиця м. Теплодар
6-в	Лівий берег	Орієнтир – церква, затока напроти
6-г	Нижня частина, гребля, 100 м від водовипуску	Проба „поверхня” (0,3 м)
		Проба „дно” (0,3 м від дна)
6-д	Барабойський підвідний канал I черги НДЗС	Зі скидних труб
7	р. Барабой, с. Мирне	Південна околиця с. Мирне, 0,6 км вище НС
8	р. Барабой, с. Петродолина,	Центр с. Петродолина, міст №3
9	Р. Барабой, с. Йосипівка	Південна околиця с. Йосипівка, міст
10	р. Барабой, с. Мар'янівка	а/д міст №2 на південній околиці с. Мар'янівка
11	р. Барабой, с. Новоградківка	а/д міст № 2 в центрі с. Новоградківка
12	р. Барабой, с. Доброолександрівка	а/д міст на північній околиці селища
13	Скид з МК-1 НДЗС	Вихід скидного каналу біля дороги

Продовження табл. 1

1	2	3
Санжейське водосховище		
4-а	Верхів'я	Ґрунтовий перехід, біля НС.
4-б	Лівий берег	650 м на північ від рибозагороджувача
4-в	Правий берег	0,5 км на північний захід від рибозагороджувача
4-г	Низовина, рибозагороджувач	Проба «поверхня» (0,3 м)
		Проба «дно» (0,3 м від дна)
15	р. Барабой, с. Барабой	0,5 км вище с. Барабой, 0,1 км вище а/д мосту шляху Одеса-Овідіопіль
16	р. Барабой, с. Богатирівка	Східна околиця селища, міст, 350 м нижче ст. Барабой
17	р. Барабой, с. Дальник	Піший місток №1 на північній околиці с. Дальник
18	Грибівський ставок №1	Південно-західна околиця с. Грибівка,
19	р. Барабой, с. Грибівка	Перед водозабірною трубою в Грибівський ставок №1, вище моста
20	р. Барабой, гирло, шлюз „Морський”	Вище містка, 100 м до моря

**Результати дослідження та їх аналіз.** В табл. 2 наведені багаторічні гідрохімічні показники р. Барабой (дані ОГГМЕ) та відповідні рибогосподарські нормативи ГДК. Дані наведені таким чином: зверху середньорічна концентрація, знизу мінімальне і максимальне значення. Вода річки Барабой належить до сульфатного класу групи натрію, за мінералізацією вода солонувата (в середньому від 1400 до 2800 мг/дм<sup>3</sup>, хоча внутрішньорічні концентрації коливаються від 700 до 3800 мг/дм<sup>3</sup>). Досить високий вміст сульфатів, хлоридів, натрію відбувається за рахунок посиленого живлення мінералізованими ґрунтовими водами та під впливом значного випаровування в теплий період року. Ґрунтові води в басейні Барабоє активно дренуються в річку протягом усього року, вони мають високу мінералізацію через те, що залягають у засолених суглинках. Це підсилюється впливом зрошувального землеробства (канали НДЗС розташовані на вододільному плато басейнів Барабоє і Дністра (ухил поверхні в бік Барабоє) в сезон поливу в каналах відбуваються великі втрати води, які поповнюють водоносні горизонти і підсилюють вимивання з них розчинних солей і забруднювальних речовин. Вміст біогенних речовин (сполук азоту, фосфатів, заліза) нестабільний, що пояснюється гідробіологічними чинниками. Високий вміст нафтопродуктів і СПАР вказує на постійне забруднення річки. Мінералізація води р. Барабой перевищує ГДК в 1-3,8 разу, кисневий режим - задовільний, в 2007–2008 рр. відзначалась нестача кисню. За вмістом кальцію, магнію, натрію перевищення ГДК спостерігаються на рівні 1,5-4 ГДК постійно, за хлоридами і сульфатами перевищення становило до 2,6 і 14,8 ГДК, відповідно. Досить помітно перевищуються ГДК за сполуками азоту (по амонію в 2,2 разу, по нітритах - у 70 разів, по нітратах - у 3,1 разу, відповідно). Вміст фосфатів не перевищував ГДК, по залізу відзначалися випадки перевищень до 5 ГДК в 2007 р., по СПАР - до 37 ГДК в 1992 р., по БСК - в 6,2 разу у 2007 р., по ХСК - в 13,7 разу у 2007 р, нафтопродукти в окремі роки перевищували ГДК в 2-2,4 разу.

Таблиця 2 – Гідрохімічні показники води річки Барабой в характерні роки (дані ОГГМЕ)

Показник	ГДК риб- госп	Створ р. Барабой – с. Барабой (станція №15)						Барабойське водосховище		Санжейське водосховище
		1992	2002	2003	2006	2007	2008	1986	2003	1986
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
рН	6,5-8,5	<u>7,8</u> 7,75-7,8	7,75	8,27	<u>7,6</u> 7,9-8,2	<u>7,8</u> 5,9-8,3	<u>7,5</u> 6,9-8	<u>7,69</u> 7,4-8,4	<u>8,31</u> 8,3-8,32	<u>7,73</u> 7,65-7,8
Мутність, мг/дм <sup>3</sup>	-	<u>3,44</u> 0,47-7,53	32	-	<u>36</u> 10-46	<u>40</u> 50,7-70	<u>54</u> 54-91	<u>69,6</u> 22,2-142	<u>64</u> 56-72	<u>226</u> 53,8-273
Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	1000	<u>1431</u> 726-3568	2638	2468	<u>2249</u> 1158-3233	<u>2451</u> 1555-3791	<u>2851</u> 2339-3238	<u>626</u> 537-837	<u>542</u> 513-572	<u>1992</u> 470-3160
Кисень, мг/дм <sup>3</sup>	≥6	<u>10,8</u> 9,8-12,5	9,94	-	<u>7,8</u> 3,1-12,7	<u>5,5</u> 2,5-8,3	<u>6,6</u> 5,8-7,5	-	-	-
Кальцій, мг/дм <sup>3</sup>	180	<u>232</u> 65-336	245	220	<u>201</u> 130-201	<u>205</u> 110-320	<u>251</u> 210-285	<u>58</u> 27,2-88	<u>57,5</u> 55-60	<u>191</u> 41,6-296
Магній, мг/дм <sup>3</sup>	40	<u>174</u> 34-302	143	137	<u>122</u> 61-188	<u>125</u> 73-182	<u>155</u> 134-182	<u>41,1</u> 26,3-73	<u>34,9</u> 30,4-39,5	<u>150</u> 19,5-214
Натрій і калій, мг/дм <sup>3</sup>	170	<u>251</u> 108-369	399	420	<u>347</u> 149-549	<u>411</u> 251-644	<u>442</u> 365-511	-	<u>63,8</u> 46,02-81,5	-
Гідрокар- бонати, мг/дм <sup>3</sup>	-	<u>272</u> 191-317	299	195	<u>247</u> 183-317	<u>237</u> 201-281	<u>278</u> 227-330	<u>193</u> 176-224	<u>140,3</u> 128-153	<u>269</u> 73,2-366
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	100	<u>910</u> 226-1488	1083	648	<u>955</u> 465-1463	<u>1017</u> 624-1753	<u>1238</u> 967-1464	<u>178</u> 127-263	<u>169</u> 156-183	<u>725</u> 189-1144
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	300	<u>473</u> 101-767	479	842	<u>386</u> 177-567	<u>457</u> 248-620	<u>483</u> 443-514	<u>85,7</u> 34,1-134	70,9	<u>432</u> 71-728
Амоній, мгN/дм <sup>3</sup>	0,39	<u>1,44</u> 0,31-2	0,31	1,9	<u>0,1</u> 0-0,2	<u>0,9</u> 0,1-2	<u>0,2</u> 0-0,7	-	<u>0,256</u> 0-0,512	-
Нітрити, мгN/дм <sup>3</sup>	0,02	<u>0,09</u> 0,06-0,13	0,098	2,5	<u>0,1</u> 0,1-0,2	<u>0,5</u> 0,1-1,4	<u>0,1</u> 0-0,2	-	<u>0,031</u> 0-0,061	-
Нітрати, мгN/дм <sup>3</sup>	9,1	<u>0,83</u> 0,54-1,16	28,2	2	<u>7</u> 2-21	<u>12,2</u> 4-28,5	<u>5,7</u> 0-19	-	<u>0,5</u> 0-0,8	-



Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>	1	<1.5	0,03	-	<u>0,3</u> 0,1-0,6	<u>0,152</u> 0,01-0,46	<u>0,09</u> 0,04-0,14	-	-	-
Залізо, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	<u>0,26</u> 0,2-0,3	0	0	<u>0,1</u> 0-0,2	<u>0,2</u> 0-0,5	<u>0,1</u> 0-0,2	-	<u>0,048</u> 0-0,095	-
СПАР, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	<u>0,18</u> 0,02-0,37	-	-	<u>0,2</u> 0,1-0,2	<u>0,163</u> 0,11-0,21	<u>0,153</u> 0,125-0,26	-	-	-
БСК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	2	<u>0,8</u> 0,45-1,05	5,14	-	<u>3,3</u> 2,5-4,8	<u>8,4</u> 2,2-12,5	<u>2,8</u> 1,2-5,6	-	<u>6,78</u> 6,39-7,17	-
ХСК, мг/дм <sup>3</sup>	20	37,7	28,4	-	<u>110</u> 67,5-188	142,7 100-224	<u>117</u> 28,8-273	-	-	-
Нафтопро- дукти, мг/дм <sup>3</sup>	0,05	<u>0,021</u> 0,01-0,03	0,08	-	0	<u>0,023</u> 0,001-0,09	<u>0,083</u> 0,026-0,119	-	-	-
Кольоро- вість, °	-	-	-	-	<u>39,4</u> 24,5-65	<u>47,2</u> 22-60	<u>16,2</u> 5-30	-	-	-

Якість води Барабойського водосховища значно краща, ніж у р. Барабой та Санжейському водосховищі. Це зумовлено тим, що Санжейське водосховище приймає в себе змив забруднень з полів та населених пунктів у р. Барабой, є акумулятором дренажних технологічних скидів з НДЗС і при цьому має невеликі розміри, а отже, обмежені можливості до самоочищення. В той же час, у досить велике Барабойське водосховище у сезон поливу (з травня по вересень) активно подається більш свіжа вода з Дністра по спеціальному Барабойському підвідному каналу (БПК).

В табл. 3 наведено строки проведення гідрохімічних зйомок окремих ділянок р.Барабой протягом 2009-2010 рр, результати наведені в табл. 4 (по станціях № 1, 4 спостереження виконувалися лише навесні, коли був стік води; сполуки азоту визначалися протягом весняного обстеження).

Таблиця 3 – Дати обстежень окремих ділянок річки Барабой

Станція №	Літо	Осінь	Зима	Весна
1	-	-	-	09.04.10
2, 3	15.06.09	04.10.09	3.02.10	11.04.10
4, 5, 6	16.06.09		28.01.10	15.04.10
7-13	17.06.09		29.01.10	17.04.10
14	18.06.09	08.10.09	1.02.10	18.04.10
15 – 20	19.06.09		2.02.10	25.04.10

Режим *верхньої ділянки* р. Барабой (станції 1-4) має особливі відмінності. Протягом року мінералізація води у ставках на балці Ставкова (точки 2 а – 2 д) змінюється від 6000 до 22000 мг/дм<sup>3</sup>, вода солонувата  $\alpha, \beta$ -мезогалінна. По балці Барабойська навесні мінералізація вод становила 7000–15000 мг/дм<sup>3</sup>. В створах р. Барабой – с. Василівка і Широка Балка мінералізація становила відповідно 11970 та 12640 мг/дм<sup>3</sup>. Це пояснюється активним ґрунтовим живленням річки протягом року, засоленістю верхніх водоносних горизонтів та антропогенним впливом. Висока мінералізація води обмежує можливості її використання. За показником рН вода в усіх точках має лужну реакцію (через вплив карбонатно-кальцієвої рівноваги й активні біологічні процеси). Прозорість води - від 7 до 45 см, в різні сезони в залежності від біологічних процесів і впливу вітрового хвилювання вода буває від дуже мутної до прозорої. Води протягом року мають високі значення кольору (за стандартною шкалою від X і вище), максимальна амплітуда (X-XVIII) у водоймах балки Ставкова. Високі значення кольоровості води свідчать про її перенасиченість забарвленими органічними сполуками. Значна мінливість вмісту завислих речовин у воді по всіх точках пояснюється особливостями гідрологічної ситуації на моменти обстежень. Так, взимку за наявності льодоставу вода у ставках відстоюється і має мінімальну мутність. В інші періоди активно впливає поверхневий стік і вітер, що призводять до зростання мутності в 4 і більше разів. Кисневий режим ділянки сприятливий (вміст кисню коливався від 8 мг/дм<sup>3</sup> і вище), лише одного разу насиченість киснем становила 60% (точка 1-в). Ця обставина пояснюється мілководністю річки і ставків, діяльністю фітопланктону, макрофітів, навіть в зимовий період. Забрудненість води органікою за величиною БСК<sub>5</sub> перевищує ГДК в 4 і більше разів у водоймах балки Ставкова (точки 2а-2-д), тобто вода досить забруднена. Вода по всіх точках дуже забруднена сполуками азоту. Нітроти навесні перевищували ГДК в 550 разів в точках 1-б,в (балка Барабойська, сс. Новоселиця і Кам'янка), в балці Ставкова перевищення ГДК становило 460 (ставок №2, с. Секретарівка). Також забруднена р. Барабой у с. Василівка (280 ГДК). Таке становище вказує на активну забрудненість з боку полів та побутових стічних вод.

Таблиця 4 – Основні гідрохімічні показники води р.Барабой в 2009-2010 рр. (дані кафедри гідроекології та водних досліджень)

№ п/п	Т води, °С	Прозорість, см	Колір за шкалою	Кольоровість, °	рН	[O <sub>2</sub> ]		БСК <sub>5</sub> , мгО/дм <sup>3</sup>	Мутність, мг/дм <sup>3</sup>	Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	[NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ], мгN/дм <sup>3</sup>	[NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ], мгN/дм <sup>3</sup>	[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ], мгN/дм <sup>3</sup>
						мг/дм <sup>3</sup>	% нас						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1-а	9,3	30	XIII	80	7,85	8,1	70	0,84	26	7390	0	32,8	11,3
1-б	14,2	22	XIII	54	8,97	18,1	176	7,66	55,1	5710	11,2	32,8	5,23
1-в	5,2	15	XIII	56	8,13	7,6	59,4	0,67	73,8	15200	11	635	13,1
2-а	11,7	37	XIII	30	8,16	13,9	128	0,7	18	6370	0,53	0	13,3
2-б	<u>14.1</u> 6,2-24,1	<u>20.8</u> 7-26	<u>XIV</u> XI-XVII	<u>62</u> 54-70	<u>8.21</u> 7,61-8,98	<u>11.9</u> 8,7-16	<u>117</u> 71-146	<u>8.12</u> 2,8-11,7	<u>29.3</u> 13,7-43,9	<u>15300</u> 11600-22400	9,21	15,7	12,6
2-в	11,2	41	б/к	14	7,81	16,5	151	2,36	18,5	13300	0	45,6	4,97
2-г	<u>14.6</u> 6,2-24,9	<u>27.5</u> 16-45	<u>XIV</u> X-XVIII	<u>38</u> 30-46	<u>8.05</u> 7,61-8,4	<u>14.8</u> 10-20	<u>143</u> 90-193	<u>7.72</u> 1,27-11,3	<u>66.7</u> 23,6-120	<u>12800</u> 10100-14600	1,31	2,61	19,5
2-д	<u>14.6</u> 6,2-24,9	<u>28</u> 12-40	<u>XIV</u> XI-XVIII	<u>31</u> 30-32	<u>8.13</u> 7,61-8,72	<u>14.6</u> 9,3-21	<u>141</u> 75-194	<u>9.94</u> 0,05-20,1	<u>35.4</u> 9-72,5	<u>15200</u> 10100-21200	0	6,68	21,9
3	10,1	31	XIII	40	7,51	9,59	85,3	1,04	22,1	12000	5,59	73,1	10,2
4	14,9	33	XV	12	8,65	17,6	175	6,17	7,1	12700	0	4,78	7,82
5	<u>10.2</u> 3,6-14,5	<u>24.7</u> 8-41	<u>XIV</u> XII-XVI	24	<u>8.1</u> 7,4-8,69	<u>13.5</u> 11-18	<u>123</u> 80-171	<u>6.89</u> 3,17-9,75	<u>16.6</u> 9,3-29,2	<u>5440</u> 1220-13900	2,98	54,8	0,89
6-а	<u>13.8</u> 3-24,6	<u>24.8</u> 15-41	<u>XVI</u> XII-XIX	<u>28</u> 26-30	<u>8.37</u> 8,13-8,65	<u>13.2</u> 9,2-19	<u>116</u> 80-160	<u>4.37</u> 1,4-6,94	<u>43.1</u> 0,5-125	<u>1910</u> 768-2950	0	0	0,89
6-б	<u>13.7</u> 4,5-23,8	<u>25.8</u> 13-40	<u>XVI</u> XIII-XIX	<u>35</u> 20-50	<u>8.48</u> 7,83-8,9	<u>13</u> 10-16	<u>112</u> 86-148	<u>4.71</u> 1,71-9,37	<u>56.9</u> 0,5-85,1	<u>1620</u> 1180-1910	0	0	0,85
6-в	<u>14.7</u> 5,2-24,8	<u>18.3</u> 12-25	<u>XVI</u> XI-XIX	<u>38.5</u> 27-50	<u>7.98</u> 7,15-8,75	<u>12.9</u> 11-16	<u>126</u> 83-152	<u>3.7</u> 1,41-8,2	<u>18.7</u> 2,4-42,6	<u>1230</u> 275-2020	0,2	0	1,3
6-Г <sub>пов</sub>	<u>14.9</u> 5,6-24	<u>35</u> 23-50	<u>XV</u> XII-XX	<u>19.5</u> 15-24	<u>8.11</u> 7,1-8,97	<u>13</u> 9,8-16	<u>134</u> 79-188	<u>3.7</u> 0,36-7,11	<u>20.9</u> 15-30,1	<u>1460</u> 428-2190	0	0	0,82
6-Г <sub>дно</sub>	<u>11.2</u> 4,4-16,3	<u>24.7</u> 7-40	<u>XIV</u> XII-XIV	<u>14.5</u> 14-15	<u>8.09</u> 7,4-8,78	<u>12.4</u> 10-16	<u>113</u> 81-154	<u>4.25</u> 0,19-7,2	<u>44.8</u> 2,3-109	<u>1910</u> 841-3450	0	8,1	2,29

Продовження табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
8	<u>12.9</u> 3,1-21	<u>26.8</u> 9-41	<u>XV</u> XI-XX	<u>35</u> 30-40	<u>7.79</u> 7,61-8,01	<u>15.2</u> 9,7-17,8	<u>123</u> 96-149	<u>8.44</u> 5,8-13	<u>70.4</u> 17,3-134	<u>2450</u> 584-4870	3,15	58,4	4,11
9	<u>10.4</u> 4,5-15	<u>32.7</u> 18-29	<u>XIV</u> XII-XVII	<u>22</u> 14-30	<u>7.99</u> 7,26-8,7	<u>13.6</u> 10,0-15,9	<u>124</u> 79-157	<u>3.27</u> 0,59-5,9	<u>31.6</u> 4,6-70	<u>2380</u> 2100-2670	1,58	50,9	4,31
10	<u>13.9</u> 5,5-20	<u>24</u> 15-37	<u>XVI</u> XII-XX	<u>26</u> 22-30	<u>7.79</u> 7,1-8,3	<u>12.8</u> 10,4-23	<u>159</u> 84-237	<u>5.55</u> 0,61-9,3	<u>58.8</u> 26-78	<u>3030</u> 2540-3770	1,98	24,7	4,85
14-а	<u>15.7</u> 3,5-21	<u>31.5</u> 10-51	<u>XIV</u> IX-XVI	<u>56</u> 44-68	<u>8.21</u> 7,95-8,6	<u>21.6</u> 14,5-34,8	<u>223</u> 157-368	<u>17</u> 10,3-33	<u>72.4</u> 14,6-126	<u>2390</u> 660-3570	0,59	6,69	5,41
14-б	<u>16.5</u> 4,2-21	<u>25.8</u> 5-51	<u>XVII</u> XI-XX	<u>46</u> 22-70	<u>8.23</u> 8,02-8,5	<u>18.9</u> 13,5-30,7	<u>191</u> 126-351	<u>13.7</u> 4,58-28	<u>85.3</u> 2,9-150	<u>2720</u> 1430-4980	0	13,8	9,29
14-в	<u>14.5</u> 4-21	<u>32</u> 10-48	<u>XV</u> XIII-XVII	32	<u>8.23</u> 7,85-8,7	<u>20</u> 13,1-32,5	<u>202</u> 136-321	<u>13.4</u> 2-31,3	<u>64.5</u> 2,5-140	<u>2330</u> 824-3250	0,53	18	4,92
14-Г <sub>пов</sub>	<u>13.8</u> 4,2-21	<u>28.8</u> 10-45	<u>XV</u> X-XVI	<u>43.5</u> 42-45	<u>8.15</u> 7,2-9	<u>17.4</u> 12,5-20,7	<u>162</u> 130-183	<u>6.81</u> 10,2-16	<u>38.9</u> 3,5-78	<u>2740</u> 1030-4390	0	1,91	4,85
14-Г <sub>дно</sub>	<u>12.2</u> 4,4-19	<u>22</u> 13-40	<u>XIV</u> X-XVII	<u>44</u> 38-50	<u>8.01</u> 7,26-8,8	<u>16.9</u> 10,8-23	<u>112</u> 116-171	<u>10.9</u> 10,3-12	<u>28.7</u> 2,9-54	<u>3230</u> 2010-3930	0	7,75	3,92
15	<u>11.9</u> 3,8-18	<u>30.3</u> 10-50	<u>XIII</u> X-XVI	<u>37.5</u> 35-40	<u>7.43</u> 6,1-8,7	<u>9.89</u> 1,52-18	<u>99.9</u> 16-188	<u>5.27</u> 0,91-10	<u>20.7</u> 3,9-46	<u>2970</u> 2090-4980	1,42	15,7	4,3
16	<u>14.3</u> 4,0-22	<u>49</u> 35-60	<u>XII</u> X-XIV	<u>21</u> 20-22	<u>7.81</u> 7,68-7,9	<u>11.2</u> 9,13-13,4	<u>119</u> 96-147	<u>4.34</u> 0,66-12	<u>16.9</u> 5-33	<u>3290</u> 2530-4110	1,37	14,8	5,48
17	<u>16.1</u> 5,7-25	<u>39.3</u> 18-51	<u>XIV</u> XI-XIX	<u>25.5</u> 15-36	<u>8.1</u> 7,82-8,2	<u>15.6</u> 11,9-18,4	<u>153</u> 94-175	<u>6.38</u> 2,66-11	<u>25.9</u> 7,5-57	<u>3070</u> 1880-4620	0,53	27,8	4,03
18	<u>15.3</u> 5,3-21	<u>8</u> 4-11	<u>XIII</u> XI-XVI	<u>48.5</u> 32-65	<u>8.34</u> 8,2-8,6	<u>14.5</u> 12,5-16,6	<u>145</u> 115-186	<u>8.95</u> 2,01-14	<u>45.1</u> 8,1-91	<u>2750</u> 1500-3880	0	26,8	2,69
19	<u>14.2</u> 5,5-21	<u>28.6</u> 7-60	<u>XIII</u> XII-XVI	30	<u>8.12</u> 7,61-8,6	<u>13.3</u> 11-14,6	<u>138</u> 88-158	<u>8.91</u> 1,63-14	<u>18.4</u> 8,4-23	<u>3860</u> 2150-3570	0	8,32	4,41
20	<u>16.6</u> 5-24	<u>25.5</u> 13-60	<u>XV</u> XIII-XVII	<u>20</u> 12-28	<u>8.14</u> 7,76-8,2	<u>15.9</u> 11,3-19,1	<u>163</u> 89-197	<u>11.9</u> 3,37-18	<u>41.1</u> 3-106	<u>5650</u> 2280-10200	0	38,5	7,1

За нітратами максимальне перевищення становило 70 ГДК в точці 1-в (балка Барабойська – с. Кам'янка), по решті точок також має місце суттєве забруднення. За вмістом амонію вода дуже забруднена (по балці Барабойська відзначено перевищення від 13 до 33 ГДК, по балці Ставкова - від 3 до 56 ГДК). Вміст сірководню у всіх точках був менше 0,25 мг/дм<sup>3</sup>. Органолептика води по всіх точках незадовільна (смак солоний до 4 балів, стійке забарвлення від жовтого до коричневого).

*Барабойське водосховище* (станції 4-6) наповнюється дністровською водою з травня по вересень, решту часу простоє. В різні сезони року гідрохімічні показники схильні до коливань. По акваторії водосховища (точки 6 а-б г) середня мінералізація змінюється від 1330 до 4930 мг/дм<sup>3</sup>, по окремих точках діапазон коливань мінералізації ще більший (точка 6Г<sub>дно</sub> - від 840 до 3450 мг/дм<sup>3</sup>). Це пояснюється тим, що мінералізація води водосховища в різні пори року визначається конкретною гідрологічною ситуацією (з травня по вересень мінералізація нижче внаслідок підкачки води з Дністра, в інший час вона зростає через накопичення ґрунтових вод). За мінералізацією вода солонувата  $\alpha$ ,  $\beta$ -мезогалінна, у 2009-2010 рр. перевищує норматив ГДК в 1,2-12 разів, що перевищує дані облводгоспу за попередні роки. Така ситуація пояснюється ускладненим водообміном у водосховищі (у 2009 році закачка води була недостатньою для забезпечення проектного водообміну). За показником рН вода має лужну реакцію в середньому в межах 7,98-8,5 (на окремих точках амплітуда коливань рН значно більша).

Прозорість води в середньому становить 22-35 см, в окремі сезони зменшується до 8 см, в зимовий період при льодоставі зростає до 40 см і більше. Колір води за шкалою протягом року змінюється від XIV до XVI, кольоровість - від 14 до 38° (по окремих точках діапазон вищий). Вміст завислих речовин складає 16 - 57 мг/дм<sup>3</sup>. На режим прозорості, мутності, кольоровості води впливають вітрове та конвекційне перемішування вод. Так, в період льодоставу зростає прозорість води, зменшується мутність, кольоровість, в інші періоди вода досить мутна і малопрозора.

Органолептика води водосховища характеризується наявністю жовтого, коричневого, зеленого забарвлення, з солоним смаком інтенсивністю до 2 балів, запахом від невизначеного до рибного інтенсивністю до 2 балів. Невисокий вміст сполук азоту вказує на добрі самоочисні можливості водної маси у водосховищі.

Кисневий режим водосховища задовільний, (вміст кисню 9-13,5 мг/дм<sup>3</sup> або 112 – 126% насичення). Взимку в окремих точках вміст кисню зменшувався до 80% насичення, але все ж був в межах ГДК. Показник БСК<sub>5</sub> був 3,7-4,7 мгО/дм<sup>3</sup>, майже завжди перевищує рибогосподарські ГДК. Вміст сірководню виявився менше за 0,25 мг/дм<sup>3</sup>. Навесні нітриту у водосховищі біля лівого берега перевищували ГДК в 10 разів, нітрати по більшості точок ледь перевищують ГДК (до 6 ГДК по станції 5). Забрудненість по амонію становила 20 ГДК на станції 5. Отож, вода Барабойського водосховища не завжди безпечна для зрошення і ведення рибництва.

Режим *середньої ділянки* р. Барабой (станції 7-12) визначається припливом дренажних інфільтраційних вод з Барабойського водосховища, ґрунтових вод, поверхневого стоку, стічних вод від населених пунктів вздовж течії річки. Водночас наявність заростей макрофітів та динаміка води сприяють деякому самоочищенню води. Так, мінералізація води на цій ділянці Барабоя зростає в середньому від 2450 до 3820 мг/дм<sup>3</sup>, зменшується вміст сполук азоту: по нітритах - від 3,15 до 1,69 мг/дм<sup>3</sup>, по нітратах - від 58,4 до 25,6 мг/дм<sup>3</sup>, по амонію навпаки відбувається зростання від 4,11 до 9,29 мг/дм<sup>3</sup>. Це вказує на певну мінералізацію сполук азоту під впливом біохімічного і динамічного чинників. Незважаючи на це, рівень забруднення сполуками азоту навесні 2010 року становив 85 - 159 ГДК по нітритах, 3-7 ГДК - по нітратах, 11-24 ГДК - по амонію. Мутність води між станціями 8-12 виявляє тенденцію до зниження (від 70,4 до 25,9 мг/дм<sup>3</sup>), але показники прозорості, кольору, кольоровості зростають. Забрудненість води органічними речовинами (за показником БСК<sub>5</sub>) зростає після кожного населеного пункту і має перевищення до 5 ГДК. Кисневий режим у середній ділянці сприятливий (вміст кисню 9,7 - 23,8 мг/дм<sup>3</sup> або 79-243% насичення). За показником рН вода характеризується як лужна.

Гідрохімічні показники *Санжейського водосховища* вказують на неоднорідність його водної маси. Прозорість води за акваторією в середньому складає від 22 до 31,5 см (межі коливань 5-51 см), колір за шкалою - XIV-XVII, кольоровість - 32-56°, рН значно більший, ніж вище за течією річки (8-8,21). Кисневий режим водосховища добрий (в окремі періоди вміст кисню становив 12,5-34,8 мг/дм<sup>3</sup> або 116-368% насичення). Саме тут відзначається максимальна забрудненість води органічними речовинами (за БСК<sub>5</sub> перевищення до 16 ГДК). З одного боку, водосховище має невелику площу водного дзеркала, добре прогрівається і має добрий водообмін, що сприяє розвитку фітопланктону, макрофітів, перемішуванню води, її аерації, біофільтрації. З іншого боку, воно приймає

стоки НДЗС, використовується як комплексне рибне господарство, у воду вноситься велика кількість кормів для риби, засобів хімічної меліорації.

Особливістю будови ложа водосховища є велика глибина всередині і біля греблі. У зимово-весняний період тут відчувається стратифікація водних мас за глибиною. Придонна вода має високу мінералізацію, вміст органічних речовин, низький вміст кисню. Скид такої води через греблю по донному водовипуску призводить до погіршення якості води нижньої ділянки Барабой (зниження температури води, кисню, забруднення органікою). Особливо це прослідковується навесні під час промивки водосховища. За сухим залишком ( $660-4390 \text{ мг/дм}^3$ ) вода у водосховищі буває від прісної до солонуватої, у весняний період 2010 року була забруднена нітритами (до 26 ГДК), нітрами (до 2 ГДК), амонієм (до 25 ГДК).

Нижня ділянка річки Барабой по середніх значеннях мінералізації води перевищує ГДК в 2-5,6 рази, загалом вода солонувата,  $\alpha, \beta$ -мезогалінна. За показником рН вода лужна. Протягом року прозорість води нестабільна і коливається від 8 до 50 см. Колір води в середньому за шкалою XII-XV, кольоровість коливається від 20 до  $48,5^\circ$ . Вміст завислих речовин в середньому коливається від 11 до  $45 \text{ мг/дм}^3$ . Вміст кисню був від 9 до  $16 \text{ мг/дм}^3$ , окрім станції №15, де мінімальне значення становило  $1,5 \text{ мг/дм}^3$  через скиди з Санжейського водосховища придонних вод, збіднених на кисень у весняний період. Насиченість киснем становить від 15,7 до 163%. БСК<sub>5</sub> зростає за течією в середньому від 5,27 до  $11,9 \text{ мгО/дм}^3$ , що в 2-5 разів перевищує рибогосподарські ГДК. Сполуки азоту по нітритах перевищували ГДК в 25-70 разів, по нітрах – в 4 рази, по амонію – в 6 - 19 разів.

**Висновки.** Річка Барабой є індикативною малою річкою Причорномор'я, яка відчуває посилений антропогенний тиск. Якість води не завжди дозволяє безпечно використовувати її для зрошення, рибництва, рекреації, що потребує посилення уваги до моніторингу стану річки з боку природоохоронних установ Одеської області. Сучасний моніторинг стану річки недостатній для отримання цілісної картини її гідроекологічного стану.

Для вирішення цієї проблеми було здійснено рекогносцирувальні щосезонні дослідження води і донних відкладів, запропоновано схему створів і програм спостережень на р. Барабой, проводиться регулярний гідроекологічний навчально-науковий моніторинг стану річки. Одержані результати дозволять запропонувати науково-обґрунтовані рекомендації щодо заходів по відновленню та підтримці у сприятливому екологічному стані річки Барабой, забезпечення раціонального використання її ресурсів, сталого розвитку регіону.

### Список літератури

1. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер и расчеты основных характеристик их режима.* – Вып.1. Западная Украина и Молдавия / Под ред. М.С. Каганера. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 498 с.
2. *Ресурсы поверхностных вод СССР.* – Т.6. Украина и Молдавия. Вып.1. Западная Украина и Молдавия / Под ред. М.С. Каганера. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 900 с.
3. *Паспорт реки Барабой.* - Одесса: Госкомводхоз Украины, 1992. – 180 с.
4. *Правила эксплуатации Барабойского водохранилища.* - Одесса: Госкомводхоз Украины, 2003. – 80 с.
5. *Пилипенко Ю.В.* Экология малых водосховищ степу України: Монографія. – Херсон: Олди-плюс, 2007. – 303 с.
6. *Кулибалин А.Г.* Экономический анализ современных проектов оптимизации водоподдачи и водораспределения в орошении. – Одесса: Консалтинг, 1997. – 97с.
7. *Єдине міжвідомче керівництво по організації та здійсненню державного моніторингу вод.* Затверджено наказом Міністерства екології та природних ресурсів України №485 від 24.12.2001 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.menr.gov.ua>.
8. *Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.* ГОСТ 17.1.3.07. – 82. – М.: Изд-во Стандартов, 1984. – 13 с.
9. *Никаноров А.М.* Гидрохимия. – С-Пб: Гидрометеиздат, 2001. – 380 с.
10. *Алексин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А.* Руководство по химическому анализу вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 280 с.

### Гидрохимический режим и экологическое состояние реки Барабой. Яров Я.С.

*В статье проанализирован современный гидрохимический режим и экологическое состояние реки Барабой. Установлено, что степень хозяйственной освоенности существенно влияет на гидрохимические показатели и экологическое состояние бассейна реки Барабой.*

**Ключевые слова:** гидрохимический режим, экологическое состояние, гидроэкологический мониторинг

### Hydrochemical mode and ecological state of Baraboy. Yarov Y.S.

*The modern hydrochemical mode and ecological state of the river Baraboy is analyzed in the article. It is set, that the modern level of economic development influences substantially on hydrochemical indexes and ecological state of basin of river Baraboy.*

**Keywords:** hydrochemical mode, ecological state, hydroecological monitoring.

УДК 504.42

**В.В. Украинский\*** к. з. н., **Н.Н. Гончаренко\*\*** к. з. н.

\* Украинский научный центр экологии моря

\*\* Одесский государственный экологический университет

## МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ В ЭВТРОФИКАЦИИ ВОД ОДЕССКОГО РЕГИОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

*На основе данных мониторинга северо-западной части Черного моря выполнена оценка межгодовых изменений степени эвтрофирования вод Одесского региона по показателю индекса E-TRIX. Отмечена тенденция к улучшению качества вод и понижению их трофности до среднего уровня. Представлены результаты межгодовых и внутригодовых изменений абиотических и биотических характеристик эвтрофикации вод исследуемого района. По отдельным зимним съемкам дана оценка пространственного распределения индекса E-TRIX.*

**Ключевые слова:** Черное море, северо-западный шельф, Одесский регион, эвтрофикация, индекс E-TRIX.

**Введение.** Развитие процесса эвтрофикации морских вод, является одним из наиболее неблагоприятных факторов антропогенного воздействия на экологическое состояние морской среды. Его следствия - "цветение" воды в результате увеличения биологической продуктивности фитопланктона, дефицит кислорода (гипоксия) под пикноклином и в придонных слоях шельфовой зоны моря, гибель (заморы) донных и придонных организмов, уменьшение прозрачности вод и др.

Уровень трофности вод Одесского региона северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) в основном формируется под влиянием биогенного загрязнения как сточных вод из береговых источников, так и речного стока. Оценки вклада различных источников биогенного загрязнения вод Одесского региона представлены в ряде работ [1,2]. Стремительное развитие процесса эвтрофикации вод северо-западного шельфа Черного моря наблюдалось в 60-80 годы прошлого столетия [3,4]. В современных условиях, на фоне уменьшения концентраций общего фосфора и значительного роста органической формы азота, отмечается стабилизация процессов эвтрофикации и слабая тенденция к их уменьшению [5].

Целью данной работы является оценка межгодовых изменений степени эвтрофикации вод Одесского региона СЗЧМ и современных тенденций в изменении качества вод на основе расчета индекса эвтрофикации.

**Метод и материалы исследований.** Для оценки уровня трофности вод использовался индекс E-TRIX [6], который является интегральным показателем, связанным с характеристиками первичной продукции фитопланктона и с пищевыми факторами (концентрацией питательных биогенных веществ). В расчетную формулу индекса E-TRIX входят следующие показатели экосистемы: концентрация хлорофилла – аналог, заменяющий показатель автотрофной биомассы фитопланктона; отклонение насыщенности кислорода от 100% - индикатор соотношения интенсивности первичной продукции органического вещества и интенсивности его биохимического окисления; концентрации общего фосфора и минерального азота – показатели наличия количества питательных веществ. Преимущество данных показателей входящих в индекс E-TRIX по сравнению с множеством других критериев оценки качества вод также рассматривалось в работе [6]. В расчетной формуле используются стандартные и наиболее часто измеряемые гидрохимические и гидробиологические характеристики морских вод:

$$E - TRIX = [\log(Ch \cdot D\%O \cdot N_M \cdot P_0) + 1,5] / 1,2$$

где Ch – концентрация хлорофилла «а», мкг/л; D%O – отклонение в абсолютных значениях растворенного кислорода от 100% насыщения; N<sub>м</sub> – концентрация растворенных форм минерального азота, мкг/л; P<sub>0</sub> – концентрация общего фосфора, мкг/л.

Индекс E-TRIX изменяется в соответствии с уровнем трофности вод в пределах от 0 до 10, а оценка категорий трофности и состояния качества вод осуществляется по величине индекса (табл. 1).

Таблица 1 – Категории трофности, состояния качества вод и их характеристика в зависимости от значений индекса E-TRIX

Значение E-TRIX	Уровень трофности	Качество вод	Характеристика качества вод
<4	Низкий	Высокое	Высокая прозрачность вод, отсутствие аномалий цвета воды, отсутствие пресыщения и недосыщения растворенного кислорода.
4-5	Средний	Хорошее	Эпизодические случаи уменьшения прозрачности вод, аномалий цвета воды, гипоксии придонных вод.
5-6	Высокий	Посредственное	Низкая прозрачность вод, аномалии цвета воды, гипоксия придонных вод и эпизодические случаи аноксии.
>6	Очень высокий	Плохое	Высокая мутность вод, обширные аномалии цвета воды, регулярная гипоксия на больших пространствах и частая аноксия придонных вод, гибель бентосных организмов.

Для расчета индекса E-TRIX и оценки уровня трофности вод Одесского региона СЗЧМ использовались данные экологического мониторинга, проводимого Украинским научным центром экологии моря (УкрНЦЭМ) в период 1995-2009 гг., исключая 1997 г., в котором наблюдения в данном регионе не проводились. Исследования охватывают область прибрежных вод от порта Южный до порта Ильичевск (рис.1).

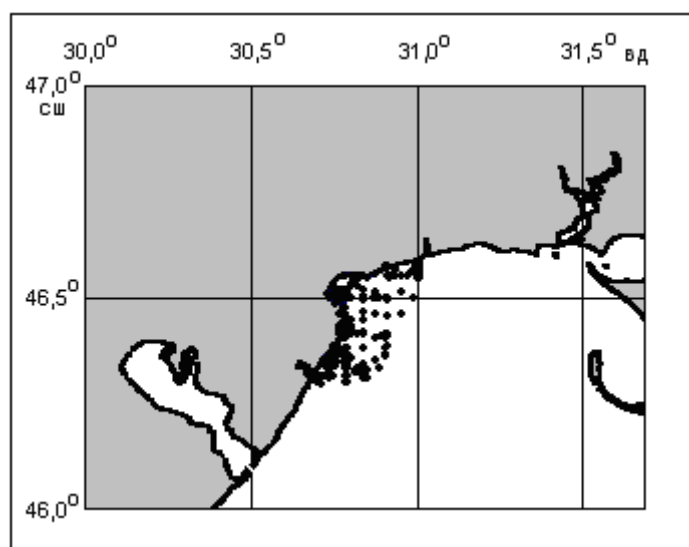


Рис. 1 - Схема района исследований и расположения экологических станций.



Объем наблюдений за указанный период в поверхностном слое составил для кислорода - 992 значения, для общего фосфора - 854 и суммы растворенных минеральных форм азота - 716. Количество наблюдений в отдельные годы изменялось от 10 (1998 г.) до 96 (2008 г.). В годовом цикле максимум наблюдений приходится на теплый период: май-октябрь. После 2000 г. в пространственном распределении преобладали наблюдения на прибрежных экологических станциях. В связи с этим, по данным наблюдений 1995-2000 гг. была выполнена оценка средних характеристик экологического состояния прибрежных вод и более мористых (табл.2).

Таблица 2 – Средние значения химических характеристик вод поверхностного слоя Одесского региона СЗЧМ по данным наблюдений 1995-2000 гг.

Элемент	Ед. измер.	Прибрежные станции	Морские станции	Разность $\Delta$	$ \Delta $ (%)
O <sub>2</sub>	мл/л	6,87	6,77	0,1	1,4
O <sub>2</sub>	%	111,6	110,7	0,9	0,8
pH	ед. pH	8,37	8,41	-0,04	0,5
PO <sub>4</sub>	мкг/л	15,8	13,3	2,5	15,8
P <sub>общ</sub>	мкг/л	47,7	45,6	2,1	4,4
NO <sub>2</sub>	мкг/л	2,3	2,2	0,1	4,3
NO <sub>3</sub>	мкг/л	64,3	48,3	16,0	24,9
NH <sub>4</sub>	мкг/л	55,9	60,4	-4,5	7,4
N <sub>мин.</sub>	мкг/л	122,5	110,9	11,6	9,4
N <sub>общ.</sub>	мкг/л	434	426	8,0	1,8

Наибольшие различия в характеристиках прибрежных и более мористых вод наблюдаются в концентрациях фосфатов и нитратного азота. В прибрежной полосе отмечается относительно повышенное содержание фосфатов и нитратов. Некоторое уменьшение содержания аммонийного азота объясняется повышенной концентрацией фитопланктона и соответственно повышенным потреблением аммония, как более легко усваиваемой растениями формы азота. Для суммы минеральных форм азота и общего фосфора разница не превышает 10% абсолютной величины. Значения концентрации хлорофилла «а» по исследуемому району СЗЧМ определялись по данным спутниковых наблюдений (SeaWiFS 1998-2008 гг., Modis 2002-2009 гг.) с пространственным разрешением 9 км. Значения хлорофилла «а» относились ко всем станциям, соответствующим области квадрата разрешения спутниковых данных.

Предварительно была выполнена проверка применимости индекса E-TRIX для Одесского региона СЗЧМ, которая заключалась в определении диапазона изменчивости биохимических характеристик, входящих в расчетную формулу.

Таблица 3 – Диапазон изменений химико-биологических характеристик вод Одесского региона и диапазон принятый при выводе формулы E-TRIX [6]

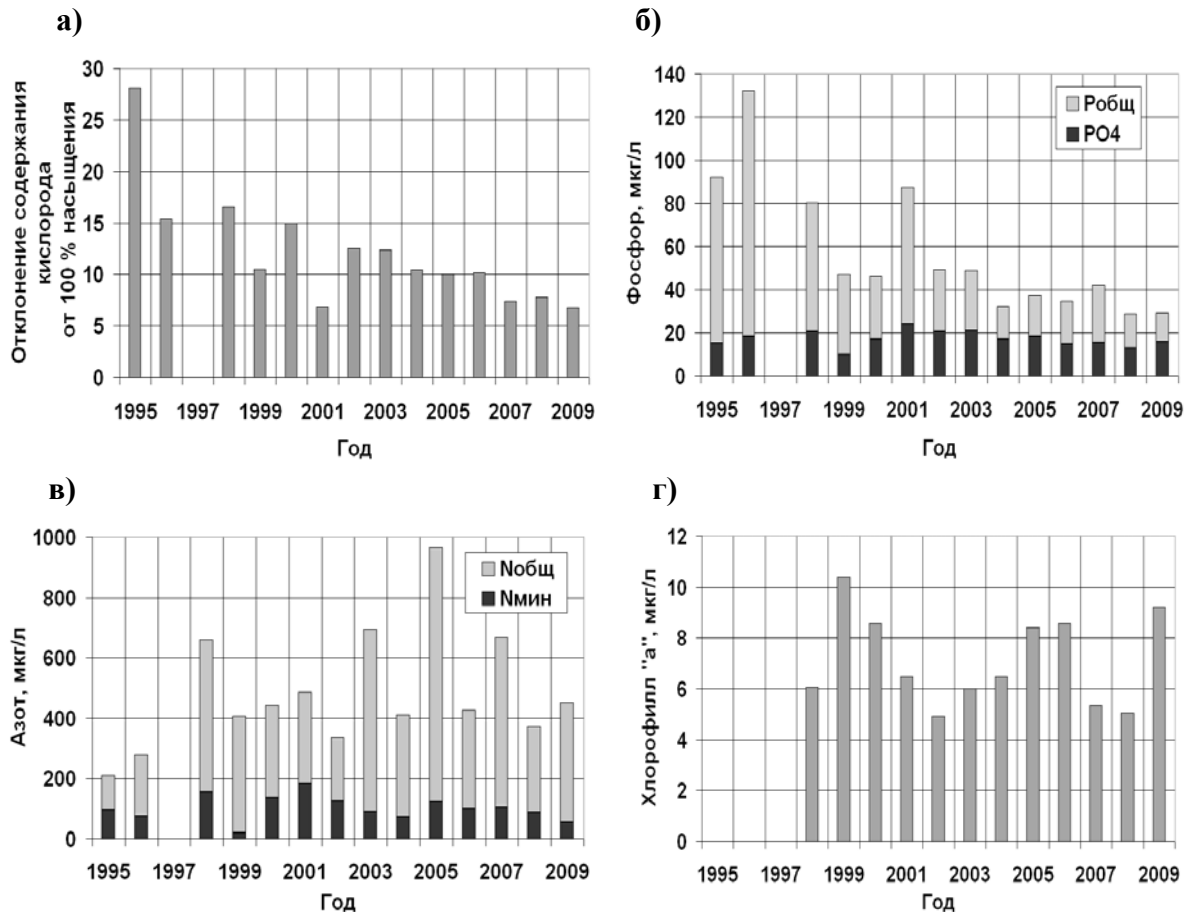
Элемент	Одесский регион					Северо-запад Адриатического моря [6]				
	min	max	log min	log max	$\Delta$ log	min	max	log min	log max	$\Delta$ log
Ch	0,36	46,0	-0,4	1,7	2,1	0,32	316	-0,5	2,5	3,0
D%O	0,1	76,1	-1,0	1,9	2,9	0,1	100	-1,0	2,0	3,0
N <sub>м</sub>	3,5	701	0,5	2,8	2,3	3,2	3160	0,5	3,5	3,0
P <sub>о</sub>	3,0	324	0,5	2,5	2,0	0,32	316	-0,5	2,5	3,0

В целом диапазон изменений ( $\Delta = \log \max - \log \min$ ) характеристик вод для Одесского региона не превышает диапазона принятого в работе [6] и, соответственно, формула с приведенными коэффициентами применима для исследуемого района.

В результате предварительно проведенных методических исследований было установлено, что расчеты индекса E-TRIX выполненные по значениям осредненных характеристик ( $Ch, D\%O, N_m, P_\theta$ ) в среднем на 8 % от абсолютной величины завышают значения индекса, относительно расчетов выполненных по исходным данным с последующим осреднением индекса.

Индексы E-TRIX рассчитывались по данным каждой отдельной экологической станции, далее производилось усреднение индекса по годам и району исследований.

**Результаты исследований и их анализ.** Динамика индивидуальных показателей, определяющих уровень трофности вод Одесского региона СЗЧМ за 15 летний период, представлена на рис.2. Содержание растворенного в воде кислорода и его изменения являются одними из определяющих показателей состояния экосистемы моря.



а – отклонение содержания кислорода от 100 % насыщения; б – минеральный и общий фосфор; в – минеральный и общий азот; г – хлорофилл «а».

Рис. 2 - Динамика средних годовых характеристик состояния вод Одесского региона.

В межгодовых изменениях содержания кислорода наблюдается явно выраженная тенденция к уменьшению его отклонений относительно 100 % насыщения. В последние три года наблюдается и стабилизация средней годовой характеристики  $D\%O$  на уровне 6,7-7,8 %. Отмечается и уменьшение размаха колебаний относительного содержания кислорода, которые в 1995 г. составляли 111 %, а в 2009 г. – 55 %, что характеризует тенденцию к улучшению его режима в поверхностных водах Одесского региона СЗЧМ. Среднее квадратическое отклонение насыщения вод кислородом в 1995-1998 гг. находилось в пределах 16,3-22,7 %, а в 2007-2009 гг. уменьшилось до уровня 8,8-9,9 %.

Наблюдается также и тенденция к уменьшению концентраций общего фосфора, за счет его органической формы. В 90-х годах среднее годовое отношение органической и минеральной формы фосфора изменялось в пределах 2,9-6,1. В современный период с начала 2000 г. отношение органической и минеральной формы фосфора в среднем составляло 1,4. В 2004 и 2009 гг. отмечалось преобладание минеральной формы фосфора над его органической формой, при отношении  $P_{орг}/P_{мин}$  0,9.

В межгодовом ходе общего азота до 2005 г. наблюдалась тенденция увеличения концентраций за счет его органической формы. В последние годы средние концентрации общего азота не превышали среднего многолетнего значения 480 мкг/л. В содержании растворенной минеральной формы азота, начиная с 2001 г., также отмечается тенденция уменьшения его средних концентраций от 183 до 56 мкг/л.

В изменчивости концентрации хлорофилла «а» выраженного тренда не наблюдается, отмечаются колебания с периодом 4-5 лет. Некоторая связь межгодовых изменений концентрации хлорофилла «а» в Одесском регионе СЗШ проявляется со стоком Днепра, при коэффициенте корреляции 0,69 и 5 % -ом уровне значимости 0,50.

Результаты расчета и динамика изменений средних годовых значений индекса E-TRIX представлены на рис. 3.

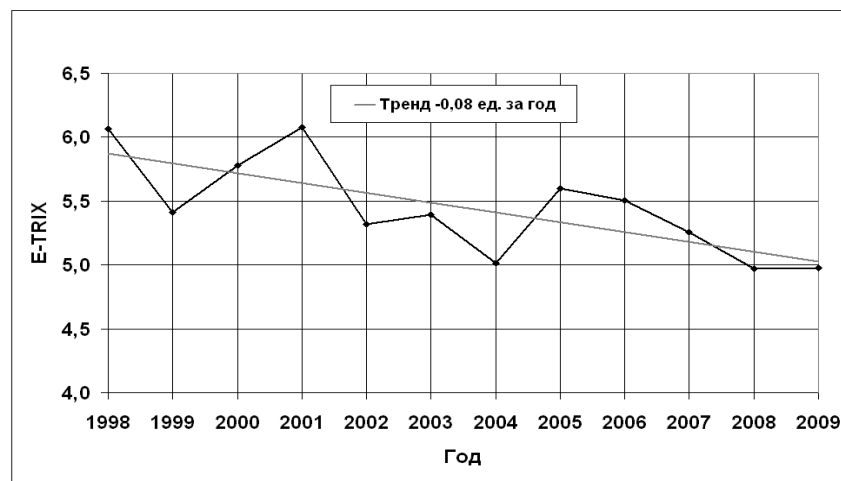


Рис. 3 - Динамика средних годовых характеристик состояния вод Одесского региона.

Очень высокий уровень трофности вод Одесского региона, при значениях индекса  $>6$ , приходится на конец прошлого и начало современного столетия. Эти результаты хорошо совпадают с выполненными ранее оценками по данным экологического мониторинга ОФ ИнБЮМ 1988-1999 гг. [7]. В зависимости от сезона, средние многолетние показатели индекса в этот период изменялись в пределах 5,8-6,2. В современных условиях в Одесском регионе отмечается тенденция к улучшению

качества вод. Так в 2008 и в 2009 гг. средние годовые значения индекса не превышали 5,0, что соответствует «среднему» уровню трофности вод (см. табл.1).

Внутригодовые средние многолетние (2003-2009 гг.) изменения индекса E-TRIX представлены на рис. 4. В годовом цикле уровень трофности вод повышается от зимнего к осеннему периоду года, при среднем значении (2003-2009 гг.) 5,18. На фоне общей тенденции выделяются четыре максимума, которые приходятся на март, май, август и ноябрь. Эти максимумы связаны с периодами активного развития фитопланктона. Повышенные значения численности фитопланктона наблюдаются в марте, мае, июне и ноябре (табл. 4), максимум биомассы фитопланктона (11000 мг/м<sup>3</sup>), в среднем многолетнем (2003-2009 гг.) приходится на август. В годовом ходе характеристики D%O также отмечаются четыре максимума в марте, мае, августе и декабре, что связано с циклами первичной продукции органического вещества. В годовом ходе минеральных форм азота максимумы приходятся на осенне-зимней период (ноябрь-февраль), в результате ослабления процессов развития фитопланктона.

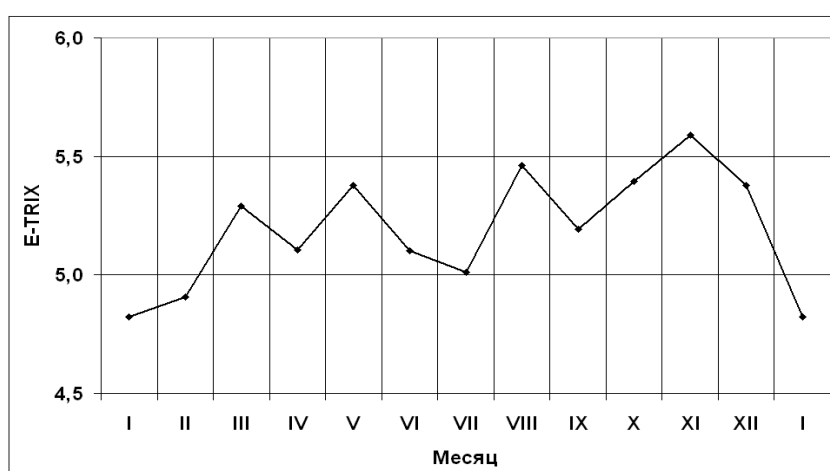


Рис. 4 - Внутригодовые изменения уровня трофности вод Одесского региона (2003-2009 гг.)

Таблица 4 – Внутригодовые изменения средних (2003-2009 гг.) химико-биологических характеристик вод Одесского региона

Элемент	Ед. измерения	Месяц												Год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Сh	мкг/л	3,7	3,8	6,38	9,5	10,4	9,0	6,1	7,6	6,9	8,1	8,1	4,1	7,0
D%O	%	3,5	5,2	10,1	8,1	13,0	9,3	9,7	13,6	9,4	8,1	6,9	8,8	8,8
N <sub>м</sub>	мкг/л	116	101	88,9	56,5	52,6	58,9	71,8	78,2	84,5	82,8	110	105	83,8
P <sub>о</sub>	мкг/л	38,7	32,2	37,0	30,2	32,7	28,4	30,0	34,8	32,3	38,0	52,6	50,2	36,1
Fp	млн. кл./м <sup>3</sup>	1284	1787	5259	4817	6001	2550	4616	2765	2515	1074	1686	462	2900

Примечание: Fp – фитопланктон (численность, миллион клеток/м<sup>3</sup>).

Минимум соответствует периоду максимального потребления растворенных минеральных форм азота и наблюдается в мае.

В среднем, изменения концентраций питательных биогенных веществ ( $N_m$ ,  $P_o$ ) зависят от интенсивности их усвоения фитопланктоном и происходят в противофазе относительно изменения концентрации хлорофилла и численности фитопланктона. Коэффициент корреляции годового хода средних месячных значений  $N_m$  и  $Ch$  составляет  $-0,79$  при  $5\%$  уровне значимости  $0,5$ . Максимум концентрации общего фосфора приходится на период осенне-зимней конвекции вод (ноябрь-декабрь) в результате вовлечения придонных слоев с повышенным содержанием  $P_o$  в процессы вертикального обмена вод. Минимум наблюдается в июне, после весеннего периода развития фитопланктона и интенсивного потребления фосфора.

Выполненные оценки относительного вклада индивидуальных характеристик, входящих в расчетную формулу E-TRIX, показали, что в среднем многолетнем (2003-2009 гг.) для вод Одесского региона основной вклад приходится на сумму минеральных форм азота ( $38\%$ ) и общего фосфора ( $32\%$ ). Относительный вклад показателей  $D\%O$  и  $Ch$  равнозначный и составляет  $15\%$ . Следовательно, основным, определяющим уровень эвтрофикации вод, здесь является абиотический фактор - концентрация биогенных веществ, формирующаяся под влиянием речного стока и антропогенных прибрежных источников загрязнения. Во внутригодовом ходе вклад биотических факторов повышается от зимнего к летнему периоду с максимумом  $18-19\%$  в мае (рис. 5). В отдельные годы (2008, 2009 гг.) в мае относительный вклад биотических факторов повышается до  $25-27\%$  и соизмерим с вкладом биогенных веществ. Внутригодовые изменения относительного вклада абиотических факторов естественно происходят в противофазе, максимум  $38-44\%$  приходится на зимний период.

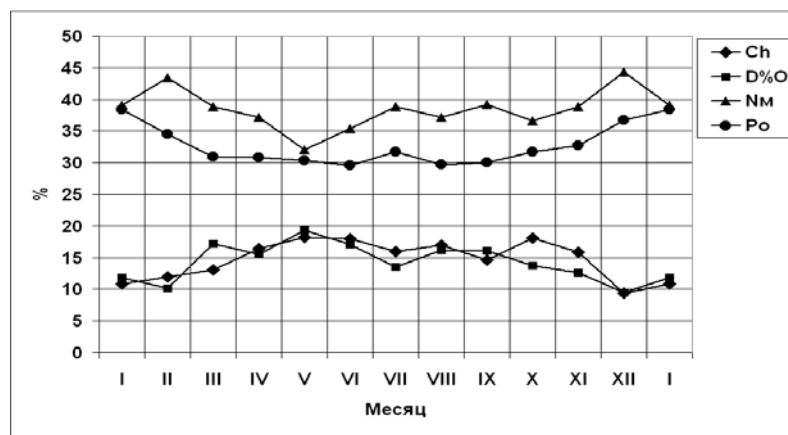


Рис. 5 - Внутригодовые изменения относительного вклада характеристик, определяющих величину E-TRIX для вод Одесского региона (2003-2009 гг.).

Выполненные УкрНЦЭМ в зимний период 2000 г. (15-24 декабря) и 2005 г. (4-13 января) экологические съемки позволяют оценить степень эвтрофикации вод северо-западного шельфа Черного моря и Одесского региона по показателю E-TRIX. Концентрации хлорофилла «а» определялись по спутниковым данным в координатах соответствующих экологическим станциям. Результаты расчетов индекса E-TRIX представлены на рис. 6.

Высокий уровень эвтрофирования вод ( $E-TRIX > 5$ ) наблюдается в приустьевых зонах рек и районе Одесского мегаполиса, что связано с поступлением биогенных веществ с речным стоком и стоком прибрежных антропогенных источников. В Одесском регионе максимальный уровень эвтрофирования вод наблюдается в прибрежной зоне, что указывает на значительный вклад в эвтрофирование вод в этот период антропогенных прибрежных источников. В 2000 г. по степени эвтрофирования

воды Одесского региона СЗЧМ уступали лишь водам приустьевой зоны Дуная, которые характеризовались очень высоким уровнем трофности с индексом E-TRIX > 6.

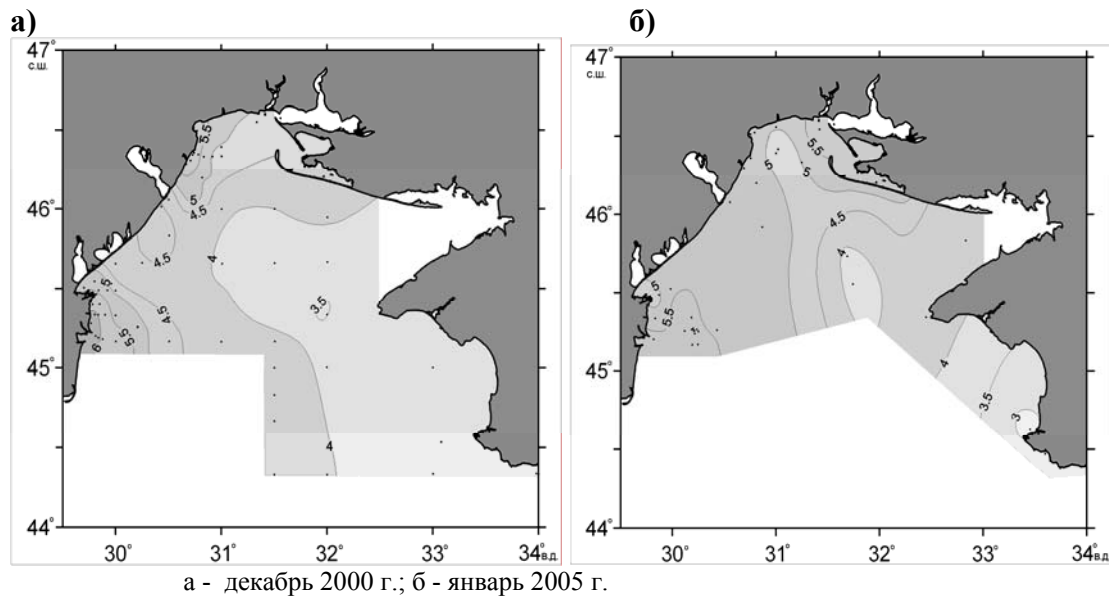


Рис. 6 - Уровень эвтрофирования вод северо-западного шельфа Черного моря по показателю E-TRIX:

Средний и высокий уровень эвтрофирования вод отмечался в западной части шельфа. Воды с индексом E-TRIX > 4 охватывали всю северную и западную область шельфа от Тендровской косы до взморья Дуная. В южной части, в зоне влияния Дуная, эти воды распространялись к востоку до 32° в.д. Воды восточной части шельфа характеризовались низким уровнем трофности (E-TRIX < 4). Относительный минимум индекса трофности вод при значении 3,5 наблюдался западнее полуострова Тарханкут. Для данного района СЗЧМ характерна и относительно высокая прозрачность вод 8-10 м [8].

В 2005 г. отмечается незначительное понижение уровня трофности вод Одесского региона при среднем значении E-TRIX 5,3, относительно 2000 г. (E-TRIX 5,7). Отмечается также понижение уровня трофности вод Дунайского взморья, где индекс E-TRIX в январе 2005 г. не превышал значения 6,0. Однако в восточной части северо-западного шельфа воды с характеристикой среднего уровня трофности (E-TRIX 4-4,5) занимали всю северо-восточную часть и примыкали к полуострову Тарханкут. Наиболее низкий уровень трофности вод СЗЧМ (индекс 2,8) наблюдается на Севастопольском взморье, несмотря на значительное количество в этом районе антропогенных источников загрязнения вод [9].

В целом, общая пространственная структура распределения показателя трофности вод на северо-западном шельфе не изменяется. Уровень трофности вод от «высокого» и «очень высокого» понижается с запада на восток до «среднего» и «низкого» при удалении от устьевых зон рек, сток которых является основным источником эвтрофирования вод северо-западного шельфа Черного моря. В среднем по СЗЧМ показатель трофности вод находится на границе «высокого» и «среднего» уровня (E-TRIX 5,0).

**Выводы.** Межгодовые изменения индекса эвтрофикации E-TRIX, рассчитанные на основе данных многолетнего экологического мониторинга Одесского региона СЗЧМ, свидетельствуют о современной тенденции к понижению трофности вод исследуемой акватории от уровня «очень высокий» до «среднего».

Отмечается тенденция уменьшения концентраций общего фосфора, за счет его органической формы, суммы минеральных форм азота и уменьшения размаха внутригодовых колебаний относительного содержания кислорода.

Во внутригодовом ходе индекс трофности вод повышается от зимнего периода к осеннему, с относительными максимумами, соответствующими максимуму численности фитопланктона (март, май, июль-август, ноябрь). Изменения абиотических и биотических факторов во внутригодовом ходе

происходят в противофазе, что связано с повышенным потреблением биогенных веществ в период интенсивного развития фитопланктона.

Уровень трофности вод западной и восточной части северо-западного шельфа Черного моря значительно отличается. Уровень трофности вод понижается с запада на восток от «очень высокого» до «среднего» и «низкого», по мере удаления от основных источников биогенного загрязнения - устьевых зон крупных рек. Наиболее низкий уровень трофности вод на северо-западном шельфе Черного моря (индекс E-TRIX 2,8) наблюдается в районе Севастопольского взморья.

Несмотря на понижение уровня трофности вод Одесского региона до «среднего», здесь сохраняются условия эпизодического цветения вод, уменьшения их прозрачности и развития процессов гипоксии под пикноклином. В современных условиях массовое цветение синезеленой водоросли *Nodularia spumigena*, при биомассе 200-400 мг/л, и уменьшение прозрачности вод до 0,5 м в прибрежной зоне Одессы наблюдалось в июле 2010 г. [10].

### Список литературы

1. Тучковенко Ю.С., Сапко О.Ю. Оценка вклада антропогенных источников Одесского региона в загрязнение морской среды // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2003. - № 47. – С. 130-139.
2. Тучковенко Ю.С., Сапко О.Ю. Оценка вклада речного стока и совокупности антропогенных источников в загрязнение морской среды Одесского региона // Зб. Матеріалів до 5-го Міжнар. Симпозіуму, 30-31 жовтня 2003 р., Одеса / ОЦНТІ, Одеса.- 2003. – С.360-365.
3. Зайцев Ю.П. Самое синее в мире / Нью-Йорк: ООН, 1998. – 142 с.
4. Орлова И.Г., Белевич Р.Р., Попов Ю.И., Украинский В.В., Бондарь С.Б. Динамика гипоксических процессов в придонных водах северо-западного шельфа Черного моря // Океанология. – 1999. – 39(4). – С. 548-554.
5. Лосва І.Д., Орлова І.Г., Павленко М.Ю., Український В.В., Попов Ю.І., Деньга Ю.М. Сучасний екологічний стан Чорного та Азовського морів / Причорноморський екологічний бюлетень. – грудень 2008. - № 4 (30). – С. 26-36.
6. Vollenweider R.A., Giovanardi F., Montanari G., Rinaldi A. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index // *Enviromentrics*. – 1998. - № 9. – P. 329-357.
7. Тучковенко Ю.С., Сапко О.Ю. Оценка эвтрофикации вод Одесского региона северо-западной части Черного моря // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2006. – вип. 2. – С. 224-227.
8. Орлова И.Г., Павленко Н.Е., Украинский В.В., Попов Ю.И. Современное состояние эвтрофированности вод северо-западной части Черного моря по результатам многолетнего комплексного мониторинга // Екологічна безпека прибережної і шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу/ Сб. наук. праць. Вип. 15. НАН України МГІ, ІГН, ОФ ІнБПМ. – Севастополь, 2007. – С. 32-43.
9. Иванов В.А., Овсяный Е.И., Репетин Л.Н., Романов А.С., Игнатьева О.Г. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов. - Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006.- 90 с.
10. Украинский В.В., Ковалишина С.П., Борулько В.И., Сытов В.Н., Неверовский И.П., Грандова М.А., Калошина Н.С. Цветение синезеленых водорослей в Одесском прибрежье (июль 2010 г.)// Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. – 2010. - № 1(11) – С. 109-115.

### Міжрічні зміни і тенденції у евтрофікації вод Одеського регіону північно-західної частини Чорного моря. Український В.В., Гончаренко Н.М.

На підставі даних моніторингу північно-західної частини Чорного моря виконана оцінка міжрічних змін ступеню евтрофування вод Одеського регіону за показником індексу E-TRIX. Визначена тенденція до поліпшення якості вод і знижки їх трофності до середнього рівня. Наведені результати міжрічних і внутрішньорічних змін абіотичних і біотичних характеристик евтрофікації вод району досліджень. За окремими зимовими зйомками надана оцінка просторового розподілу індексу E-TRIX.

**Ключові слова:** Чорне море, північно-західний шельф, Одеський регіон, евтрофікація, індекс E-TRIX.

### Interannual changes and trends in the eutrophication of waters of the Odessa region of northwestern part of Black Sea. Ukrayinsky V.V., Goncharenko N.N.

Based on monitoring of the north-western Black Sea the estimation of interannual variations in the degree of eutrophication of the Odessa region in terms of index E-TRIX. Tended to improve water quality and lowering their trophic to the average level. The results of interannual and intra changes in abiotic and biotic characteristics of water eutrophication of the area studied. For some winter shooting assess the spatial distribution of index E-TRIX.

**Key words:** Black Sea, north-western shelf, the Odessa region, eutrophication, the index E-TRIX.

**В.Н. Большаков, к.г.н., М.В. Большаков**

*Одесский филиал института биологии южных морей*

*Беляевский нотариальный округ Одесской области, г.Беляевка*

## **ПОТОКИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ПОВЕРХНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ РАЗНОЙ ОРИЕНТАЦИИ**

*Представлен инструмент для расчета потоков солнечной энергии на надводные и подводные части гидротехнических сооружений. Дискретность расчетов по времени одна минута для конкретных суток года и одни сутки для года в целом. Входные параметры: дата, широта места, ориентация поверхности по азимуту и наклону к горизонту, которые могут быть любыми. Учитывается преломление и отражение солнечных лучей на границе воздух–вода, ослабление потока за счет длины пути в атмосфере с учетом ее прозрачности, а также облачность, общая и нижнего яруса.*

**Ключевые слова:** *поток энергии, надводная поверхность, подводная поверхность, ослабление, отражение, преломление, прозрачность, облачность.*

**Вступление.** Целью, решаемой в настоящей статье задачи было стремления расширить круг абиотических факторов, учитываемых при изучении автотрофного звена экосистем в Одесском филиале института биологии южных морей. Сначала для оценки влияния освещенности на обрастание водной растительностью выполнялись ее прямые измерения с солнечной и теневой сторон гидротехнических сооружений, под водной поверхностью и над ней. Однако они дали положительный результат лишь в частных случаях однородной десятибалльной облачности и практически полного ее отсутствия. В общем же случае, отдельные облака, закрывая или открывая солнечный диск, меняли освещенность в несколько, иногда до 6 раз, причем за 1 – 2 минуты при практически неизменных параметрах облачности и положении Солнца. Это делало невозможным поставить освещенность во взаимно-однозначное соответствие с определяющими ее факторами. Вследствие этого возникла идея использовать вместо измеренной освещенности расчетные потоки солнечной энергии.

**Объекты и выходные материалы исследования.** Исследуется изменчивость потоков солнечной энергии на надводные и подводные части гидротехнических сооружений. Эта изменчивость определяется многими факторами. Прежде всего это непрерывно меняющиеся в течение светового дня высота и азимут Солнца, которые в свою очередь зависят от широты места, от календарной даты и времени суток.

Во-вторых, это факторы, ослабляющие потоки энергии на пути от верхней границы атмосферы до поверхностей гидротехнических сооружений. Для надводных частей этих поверхностей необходимо реально оценить прозрачность атмосферы, а поскольку она не идеально прозрачна, то учесть также непрерывно меняющуюся в течение дня длину пути лучей Солнца через слой воздуха. Для подводных частей гидротехнических сооружений необходимо дополнительно учесть по меньшей мере отражение лучей от водной поверхности и изменение направления их распространения в результате преломления при ее пересечении. Особенно интересен учет такого фактора как облачность, поскольку именно она создает различия между пунктами, расположенными на одной широте, и между одинаковыми календарными отрезками времени разных лет в одном пункте.

В-третьих, конечный результат, а именно: суммарный поток энергии за выбранный отрезок времени, сильно зависит как от ориентации самих поверхностей



гидротехнических сооружений относительно сторон света, так и от их наклона к горизонту.

**Метод исследования.** Решение поставленной задачи осуществляется разработкой собственной модели, учитывающей перечисленные выше факторы, ее компьютерной реализацией и расчетами, результаты которых должны логично согласовываться с изменением астрономических и метеорологических факторов, а там, где это возможно, сопоставляться с результатами наблюдений. Представление метода исследования составляет основное содержание и цель настоящей работы.

Если потоки на горизонтальные поверхности рассчитываются элементарно, а на вертикальные – достаточно просто, то решение в общем виде для произвольно ориентированных поверхностей далеко не очевидно.

1. Введем следующие обозначения:

$\varphi$  – географическая широта ( $\varphi \in [-\pi/2; +\pi/2]$ , знак “+” обозначает северную широту, знак “–” – южную);

$\lambda$  – географическая долгота ( $\lambda \in [-\pi; +\pi]$ , знак “+” обозначает восточную долготу, знак “–” – западную);

$\theta = \frac{23,45}{180} \pi$ , рад – угол наклона земной оси;

$N = 365,2422$  – количество суток в году.

$\omega = \frac{2\pi}{86400} \cdot \frac{N+1}{N}$ , рад·с<sup>-1</sup> – угловая скорость суточного вращения Земли вокруг своей оси (относительно звёзд);

$\Omega = \frac{\omega}{N+1} = \frac{2\pi}{86400} \cdot \frac{1}{N}$  рад·с<sup>-1</sup> – угловая скорость годового обращения Земли вокруг Солнца;

$L_0 = 1367$  Вт·м<sup>-2</sup> – солнечная постоянная (суммарный поток солнечного излучения, проходящий за единицу времени через единичную площадку, ориентированную перпендикулярно потоку, на расстоянии одной астрономической единицы (а.е.) от Солнца и вне земной атмосферы).

За начальный момент времени  $t = 0$  принимаем 12:00 GMT дня летнего солнцестояния.

2. Введем геоцентрическую декартову систему координат  $Ox_1y_1z_1$ , в которой видимые суточное и годовое движения Солнца описывается наиболее просто:

единица расстояния – 1 а. е.;

начало координат  $O$  совпадает с центром Земли;

плоскость  $Ox_1y_1$  совпадает с плоскостью эклиптики;

ось  $Oy_1$  направлена так, что в день летнего солнцестояния указывает на Солнце;

ось  $Ox_1$ , если смотреть на нее с положительного конца оси  $Oz_1$ , направлена вправо от оси  $Oy_1$  так, что поворот от оси  $Ox_1$  к оси  $Oy_1$  происходит против часовой стрелки.

3. Радиус-вектор Солнца в этой системе координат имеет вид:

$$\vec{r}_1(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ y_1(t) \\ z_1(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \Omega t \\ \cos \Omega t \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

4. Вычисляем координаты Солнца относительно наблюдателя, находящегося в определённой точке на поверхности вращающейся Земли. Поскольку радиус Земли много меньше принятой единицы расстояния, то для перехода к системе координат (Oxyz), связанной с наблюдателем, исходную систему координат перемещать не надо, а достаточно только трижды повернуть (табл.1):

Таблица 1 - Преобразование системы координат, связанной с центром Земли, в систему координат, связанную с наблюдателем

№ поворота	Исходная система координат	Ось, вокруг которой осуществляется поворот	Угол поворота	Результирующая система координат
1	Ox <sub>1</sub> y <sub>1</sub> z <sub>1</sub>	Ox <sub>1</sub>	θ <sub>1</sub> = -θ	Ox <sub>2</sub> y <sub>2</sub> z <sub>2</sub>
2	Ox <sub>2</sub> y <sub>2</sub> z <sub>2</sub>	Oz <sub>2</sub>	θ <sub>2</sub> (t) = ωt + λ	Ox <sub>3</sub> y <sub>3</sub> z <sub>3</sub>
3	Ox <sub>3</sub> y <sub>3</sub> z <sub>3</sub>	Ox <sub>3</sub>	θ <sub>3</sub> = φ - π/2	Oxyz

Радиус-вектор Солнца при поворотах системы координат изменяется следующим образом:

- 1)  $\vec{r}_2(t) = M_x(\theta_1) \times \vec{r}_1(t)$ ;
- 2)  $\vec{r}_3(t) = M_z(\theta_2(t)) \times \vec{r}_2(t)$ ;
- 3)  $\vec{r}(t) = M_x(\theta_3) \times \vec{r}_3(t)$ ,

или в один приём

$$\vec{r}(t) = M_x(\theta_3) \times M_z(\theta_2(t)) \times M_x(\theta_1) \times \vec{r}_1(t), \quad (2)$$

где

$$M_x(\theta) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{vmatrix} \text{ – матрица поворота вокруг оси Ox};$$

$$M_z(\theta) = \begin{vmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \text{ – матрица поворота вокруг оси Oz}.$$

Перемножая матрицы:

$$M_x(\theta_3) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varphi - \pi/2) & \sin(\varphi - \pi/2) \\ 0 & -\sin(\varphi - \pi/2) & \cos(\varphi - \pi/2) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\pi/2 - \varphi) & -\sin(\pi/2 - \varphi) \\ 0 & \sin(\pi/2 - \varphi) & \cos(\pi/2 - \varphi) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \varphi & -\cos \varphi \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \end{vmatrix},$$

$$M_x(\theta_2(t)) = \begin{vmatrix} \cos(\omega t + \lambda) & \sin(\omega t + \lambda) & 0 \\ -\sin(\omega t + \lambda) & \cos(\omega t + \lambda) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

$$M_x(\theta_1) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\theta) & \sin(-\theta) \\ 0 & -\sin(-\theta) & \cos(-\theta) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{vmatrix},$$

получаем

$$M(t) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \varphi & -\cos \varphi \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \cos(\omega t + \lambda) & \sin(\omega t + \lambda) & 0 \\ -\sin(\omega t + \lambda) & \cos(\omega t + \lambda) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} \cos(\omega t + \lambda) & \sin(\omega t + \lambda) & 0 \\ -\sin \varphi \sin(\omega t + \lambda) & \sin \varphi \cos(\omega t + \lambda) & -\cos \varphi \\ -\cos \varphi \sin(\omega t + \lambda) & \cos \varphi \cos(\omega t + \lambda) & \sin \varphi \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} \cos(\omega t + \lambda) & \cos \theta \sin(\omega t + \lambda) & -\sin \theta \sin(\omega t + \lambda) \\ -\sin \varphi \sin(\omega t + \lambda) & \sin \varphi \cos \theta \cos(\omega t + \lambda) - \cos \varphi \sin \theta & -\sin \varphi \sin \theta \cos(\omega t + \lambda) - \cos \varphi \cos \theta \\ -\cos \varphi \sin(\omega t + \lambda) & \cos \varphi \cos \theta \cos(\omega t + \lambda) + \sin \varphi \sin \theta & -\cos \varphi \sin \theta \cos(\omega t + \lambda) + \sin \varphi \cos \theta \end{vmatrix}.$$

Теперь, умножив  $M(t)$  на исходный радиус-вектор, получим

$$\vec{r}(t) = \begin{vmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\sin \Omega t \cos(\omega t + \lambda) + \cos \theta \cos \Omega t \sin(\omega t + \lambda) \\ \sin \varphi \cos \theta \cos \Omega t \cos(\omega t + \lambda) + \sin \varphi \sin \Omega t \sin(\omega t + \lambda) - \cos \varphi \sin \theta \cos \Omega t \\ \cos \varphi \cos \theta \cos \Omega t \cos(\omega t + \lambda) + \cos \varphi \sin \Omega t \sin(\omega t + \lambda) + \sin \varphi \sin \theta \cos \Omega t \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Из декартовых координат Солнца можно получить угловые – высоту и азимут:

$$B(t) = \arcsin(z(t)), \quad (4)$$

$$A(t) = \arctg(x(t)/y(t)) \quad . \quad (5)$$

5. Упрощения. Во-первых, поскольку в течение суток положение Солнца на небесном своде относительно звезд меняется незначительно, то будем считать, что фаза годового вращения в течение дня неизменна и равна фазе в полдень:

$$\Omega t \approx \Phi_n = \frac{(2n+1)\pi}{86400N},$$

где  $n$  – номер дня в году (считая день летнего солнцестояния днём номер 0).

Таким образом, в формуле (3) для  $\vec{r}(t)$  будет  $\sin \Omega t = \sin \Phi_n = \text{const}$  и  $\cos \Omega t = \cos \Phi_n = \text{const}$ .

Во-вторых, так как в дальнейшем нас будут интересовать потоки энергии за целые сутки, а результат интегрирования  $\sin$  и  $\cos$  за полный период не зависит от начальной фазы, то можно в формуле  $\vec{r}(t)$  положить  $\lambda = 0$ .

Тогда для дня номер  $n$  получаем

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \Phi_n \cos \omega t + \cos \theta \cos \Phi_n \sin \omega t \\ \sin \varphi \cos \theta \cos \Phi_n \cos \omega t + \sin \varphi \sin \Phi_n \sin \omega t - \cos \varphi \sin \theta \cos \Phi_n \\ \cos \varphi \cos \theta \cos \Phi_n \cos \omega t + \cos \varphi \sin \Phi_n \sin \omega t + \sin \varphi \sin \theta \cos \Phi_n \end{pmatrix}. \quad (6)$$

6. Моменты восхода и захода Солнца над горизонтом – суть решения уравнения  $z(t) = 0$ :

$$\cos \varphi \cos \theta \cos \Phi_n \cos \omega t + \cos \varphi \sin \Phi_n \sin \omega t + \sin \varphi \sin \theta \cos \Phi_n = 0$$

или, разделив на  $\cos \varphi$ , получим

$$\cos \theta \cos \Phi_n \cos \omega t + \sin \Phi_n \sin \omega t + \operatorname{tg} \varphi \sin \theta \cos \Phi_n = 0. \quad (7)$$

В общем виде уравнение вида (7)

$$A \cos x + B \sin x + C = 0$$

решается так:

$$\begin{aligned} \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}} \cos x + \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2}} \sin x &= \frac{-C}{\sqrt{A^2 + B^2}}, \\ \cos\left(\operatorname{arctg} \frac{B}{A}\right) \cos x + \sin\left(\operatorname{arctg} \frac{B}{A}\right) \sin x &= \frac{-C}{\sqrt{A^2 + B^2}}, \\ \cos\left(x - \operatorname{arctg} \frac{B}{A}\right) &= \frac{-C}{\sqrt{A^2 + B^2}}, \\ x = \operatorname{arctg} \frac{B}{A} \pm \arccos \frac{-C}{\sqrt{A^2 + B^2}} + 2\pi k, &\quad \text{где } k \in N. \end{aligned}$$

Подставляя сюда из (7)

$$\begin{aligned} A &= \cos \theta \cos \Phi_n, \\ B &= \sin \Phi_n, \\ C &= \operatorname{tg} \varphi \sin \theta \cos \Phi_n, \end{aligned}$$

берём решение только с  $k = 0$ , так как восходы и заходы при других  $n$  приходятся на другие дни, и получаем

$$t = \frac{1}{\omega} \left( \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \Phi_n}{\cos \theta} \pm \arccos \frac{-\operatorname{tg} \varphi \sin \theta \cos \Phi_n}{\sqrt{\cos^2 \theta \cos^2 \Phi_n + \sin^2 \Phi_n}} \right). \quad (8)$$

Первое слагаемое в (8) определяет момент  $n$ -го астрономического полдня, так как на момент  $t = \frac{1}{\omega} \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \Phi_n}{\cos \theta}$  приходится максимум  $z(t)$  (6). Из (8) также видно, что (при принятых упрощениях) моменты восхода и захода симметричны относительно астрономического полдня.

Таким образом:

$R_n = \frac{1}{\omega} \left( \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \Phi_n}{\cos \theta} - \arccos \frac{-\operatorname{tg} \varphi \sin \theta \cos \Phi_n}{\sqrt{\cos^2 \theta \cos^2 \Phi_n + \sin^2 \Phi_n}} \right)$  – момент восхода Солнца над горизонтом;

$$S_n = \frac{1}{\omega} \left( \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \Phi_n}{\cos \theta} + \operatorname{arccos} \frac{-\operatorname{tg} \varphi \sin \theta \cos \Phi_n}{\sqrt{\cos^2 \theta \cos^2 \Phi_n + \sin^2 \Phi_n}} \right) - \text{ момент захода Солнца за горизонт.}$$

Примечание: условие  $|C| > \sqrt{A^2 + B^2}$ , при котором решений нет, может выполняться только на широтах выше полярного круга.

7. Поток солнечного излучения  $L(t)$ , приходящийся на единицу площади произвольно ориентированной поверхности.

Поверхность зададим её нормальным вектором:

$$\vec{n} = \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \alpha \\ \cos \beta \sin \alpha \\ \sin \beta \end{pmatrix},$$

где:  $\alpha$  – азимут нормали (0 – нормаль обращена на юг,  $+\pi/2$  – на восток);

$\beta$  – угол наклона нормали (0 – нормаль горизонтальна, а поверхность, соответственно, вертикальна).

Поток  $L(t)$  вычисляется как произведение солнечной постоянной на косинус угла падения лучей (угла между лучами и нормалью к поверхности). Для краткости обозначим  $\cos \angle(\vec{r}(t), \vec{n})$  через  $f(t)$ . Тогда

$$L(t) = \begin{cases} L_0 \cdot f(t), & z(t) > 0 \wedge f(t) > 0 \\ 0, & z(t) \leq 0 \vee f(t) \leq 0. \end{cases} \quad (9)$$

Здесь условие  $z(t) > 0$  обозначает «Солнце вошло над горизонтом», а условие  $f(t) > 0$  – «Солнце вошло над рассматриваемой поверхностью».

Используя то, что  $|\vec{n}| = 1$  по определению, а  $|\vec{r}(t)| = 1$  в силу того, что вращение вектора  $\vec{r}(t)$  не изменяет его длины, можем записать

$$f(t) = \cos \angle(\vec{r}(t), \vec{n}) = \frac{(\vec{r}(t) \cdot \vec{n})}{|\vec{r}(t)| \cdot |\vec{n}|} = (\vec{r}(t) \cdot \vec{n}).$$

Используем координатную запись скалярного произведения векторов

$$\begin{aligned} f(t) &= \cos \beta \sin \alpha \cdot x(t) + \cos \beta \cos \alpha \cdot y(t) + \sin \beta \cdot z(t) = \\ &= \cos \beta \sin \alpha (-\sin \Phi_n \cos \omega t + \cos \theta \cos \Phi_n \sin \omega t) + \cos \beta \cos \alpha (\sin \varphi \cos \theta \cos \Phi_n \cos \omega t + \sin \varphi \sin \Phi_n \sin \omega t - \\ &- \cos \varphi \sin \theta \cos \Phi_n) + \sin \beta (\cos \varphi \cos \theta \cos \Phi_n \cos \omega t + \cos \varphi \sin \Phi_n \sin \omega t + \sin \varphi \sin \theta \cos \Phi_n). \end{aligned}$$

Окончательно

$$\begin{aligned} f(t) &= (-\cos \beta \sin \alpha \sin \Phi_n + \cos \beta \cos \alpha \sin \varphi \cos \theta \cos \Phi_n + \sin \beta \cos \varphi \cos \theta \cos \Phi_n) \cos \omega t + \\ &+ (\cos \beta \sin \alpha \cos \theta \cos \Phi_n + \cos \beta \cos \alpha \sin \varphi \sin \Phi_n + \sin \beta \cos \varphi \sin \Phi_n) \sin \omega t + \\ &+ (-\cos \beta \cos \alpha \cos \varphi \sin \theta \cos \Phi_n + \sin \beta \sin \varphi \sin \theta \cos \Phi_n). \end{aligned} \quad (10)$$

8. Моменты восхода и захода Солнца над произвольно ориентированной поверхностью.

Чтобы найти их, нужно решить уравнение  $f(t) = 0$ . Оно имеет вид  $A \cos x + B \sin x + C = 0$  и решается аналогично уравнению  $z(t) = 0$  (7) для моментов восхода Солнца над горизонтом. При подстановке:

$$A' = -\cos\beta \sin\alpha \sin\Phi_n + \cos\beta \cos\alpha \sin\varphi \cos\theta \cos\Phi_n + \sin\beta \cos\varphi \cos\theta \cos\Phi_n,$$

$$B' = \cos\beta \sin\alpha \cos\theta \cos\Phi_n + \cos\beta \cos\alpha \sin\varphi \sin\Phi_n + \sin\beta \cos\varphi \sin\Phi_n,$$

$$C' = -\cos\beta \cos\alpha \cos\varphi \sin\theta \cos\Phi_n + \sin\beta \sin\varphi \sin\theta \cos\Phi_n$$

в формулу

$$t = \frac{1}{\omega} \left( \arctg \frac{B'}{A'} \pm \arccos \frac{C'}{\sqrt{A'^2 + B'^2}} \right) \quad (11)$$

получаем

$$R'_{n,k} = \frac{1}{\omega} \left( \arctg \frac{B'}{A'} - \arccos \frac{C'}{\sqrt{A'^2 + B'^2}} \right) + 2\pi k, \quad \text{где } k \in N - \text{ моменты восхода над}$$

поверхностью;

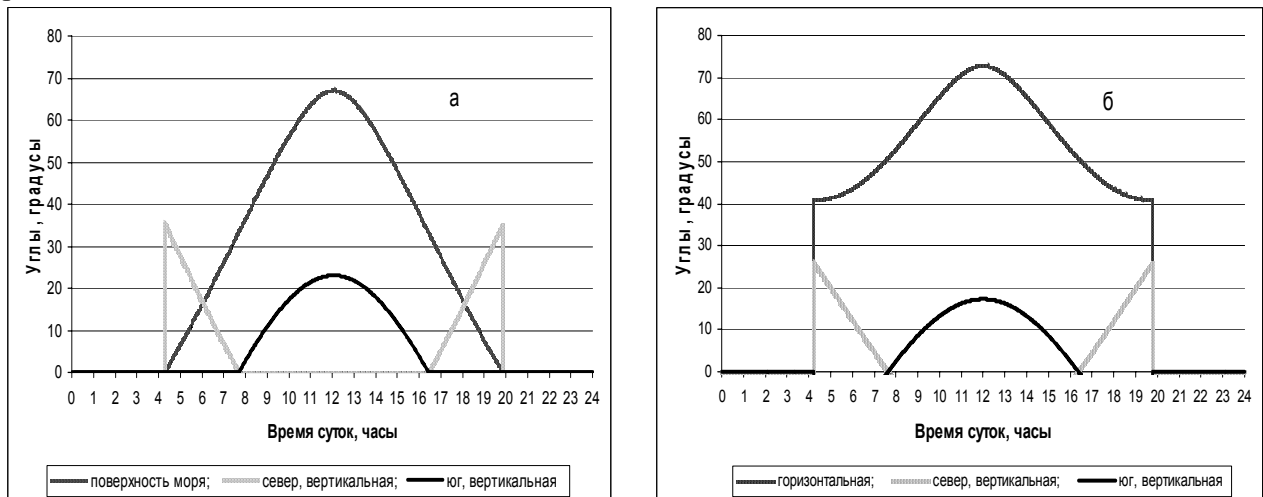
$$S'_{n,k} = \frac{1}{\omega} \left( \arctg \frac{B'}{A'} + \arccos \frac{C'}{\sqrt{A'^2 + B'^2}} \right) + 2\pi k, \quad \text{где } k \in N - \text{ моменты захода над}$$

поверхностью.

Примечание: вновь отметим, что если  $|C'| > \sqrt{A'^2 + B'^2}$ , то решений нет, и это означает, что Солнце над поверхностью в данные сутки не восходит.

В отличие от случая восхода и захода Солнца над горизонтом (пункт б), здесь в выражениях для  $R'_{n,k}$  и  $S'_{n,k}$  слагаемые  $2\pi k$  оставлены не случайно, поскольку в  $n$ -е сутки могут попасть не только  $R'_{n,0}$  и  $S'_{n,0}$ , но также  $R'_{n,-1} = R'_{n,0} - 2\pi$ ,  $S'_{n,-1} = S'_{n,0} - 2\pi$ ,  $R'_{n,1} = R'_{n,0} + 2\pi$  и  $S'_{n,1} = S'_{n,0} + 2\pi$ . Не все их сочетания возможны, но нас интересует только качественное отличие: один ли отрезок времени в сутках, когда поверхность освещена, или таких отрезков два.

Пример рассчитанных указанным способом углов, под которыми солнечные лучи падают на некоторые поверхности условных гидротехнических сооружений, приведены на рис. 1а.



а – для надводных поверхностей, б – для подводных поверхностей

Рис.1 - Изменения углов между солнечными лучами и некоторыми поверхностями гидротехнических сооружений в течение дня летнего солнцестояния.

9. Чтобы найти суммарный поток солнечной энергии за сутки, нужно вычислить интеграл

$$D_n = \int_{z(t)>0 \wedge f(t)>0} f(t) \cdot dt. \quad (12)$$

Как было установлено ранее:  $z(t) > 0$  эквивалентно  $t \in [R_n, S_n]$ , а  $f(t) > 0$  эквивалентно  $t \in [R_{n,-1}, S_{n,-1}] \cup [R_{n,0}, S_{n,0}] \cup [R_{n,1}, S_{n,1}]$ .

Поэтому интеграл в (12) удобнее записать в виде суммы:

$$D_n = D_{n,-1} + D_{n,0} + D_{n,+1},$$

где:

$$D_{n,k} = \begin{cases} \int_{\max(R_n, R'_{n,k})}^{\min(S_n, S'_{n,k})} f(t) \cdot dt, & \min(S_n, S'_{n,k}) > \max(R_n, R'_{n,k}) \\ 0, & \min(S_n, S'_{n,k}) \leq \max(R_n, R'_{n,k}) \end{cases}$$

или:

$$D_{n,k} = \begin{cases} F(\max(R_n, R'_{n,k})) - F(\min(S_n, S'_{n,k})), & \min(S_n, S'_{n,k}) > \max(R_n, R'_{n,k}) \\ 0, & \min(S_n, S'_{n,k}) \leq \max(R_n, R'_{n,k}). \end{cases}$$

Здесь через  $F(t)$  обозначена первообразная  $f(t)$

$$F(t) = \frac{1}{\omega} [(-\cos\beta \sin\alpha \sin\Phi_n + \cos\beta \cos\alpha \sin\varphi \cos\theta \cos\Phi_n + \sin\beta \cos\varphi \cos\theta \cos\Phi_n) \sin\omega t + (\cos\beta \sin\alpha \cos\theta \cos\Phi_n + \cos\beta \cos\alpha \sin\varphi \sin\Phi_n + \sin\beta \cos\varphi \sin\Phi_n)(-\cos\omega t) + (-\cos\beta \cos\alpha \cos\varphi \sin\theta \cos\Phi_n + \sin\beta \sin\varphi \sin\theta \cos\Phi_n)\omega t].$$

Кроме этого, из (11) следует, что решений  $R'_{n,k}$  и  $S'_{n,k}$ , т.е. моментов восхода и захода Солнца над произвольно ориентированной поверхностью, вообще может не быть. Это означает, что Солнце либо круглые сутки находится под ней (не восходит и, следовательно, не заходит), либо круглые сутки находится над ней. В первом случае интеграл, естественно, равен 0, а во втором случае из данных суток выбирается лишь то время, когда Солнце находится не только над поверхностью, но и над плоскостью горизонта, т.е.  $t \in [R_n, S_n]$ .

10. Суммарный поток излучения за год определяется как сумма потоков излучения за каждые сутки. Было бы хорошо усреднить результаты четырех лет подряд с тем, чтобы в осреднение вошел високосный год, но, учитывая сделанные упрощения (и то, что в задаче не учтены эксцентриситет орбиты Земли, рефракция и другие тонкости), отличием високосного года от не високосного можно пренебречь.

11. Учет преломления лучей на границе воздух-вода.

Выше получены декартовы координаты Солнца (6):

$$x(t) = -\sin\Phi_n \cos\omega t + \cos\theta \cos\Phi_n \sin\omega t,$$

$$y(t) = \sin\varphi \cos\theta \cos\Phi_n \cos\omega t + \sin\varphi \sin\Phi_n \sin\omega t - \cos\varphi \sin\theta \cos\Phi_n,$$

$$z(t) = \cos\varphi \cos\theta \cos\Phi_n \cos\omega t + \cos\varphi \sin\Phi_n \sin\omega t + \sin\varphi \sin\theta \cos\Phi_n.$$

Им соответствуют угловые:

$$A(t) = \arctg \frac{x(t)}{y(t)},$$

$$B(t) = \arcsin z(t).$$

Если смотреть на Солнце из-под горизонтальной поверхности воды, то его фиктивные угловые координаты будут:

$$A'(t) = A(t),$$

$$B'(t) = \arccos \frac{\cos B(t)}{\mu},$$

где  $\mu$  – коэффициент преломления света на границе воздух – вода, равный 1,32.

Так как угловая координата Солнца “высота” отсчитывается от горизонтальной поверхности, а не от нормали к ней, то в формуле для  $B'(t)$  фигурирует не синус, а косинус.

Эти новые угловые координаты можно по обычным правилам снова пересчитать в декартовы:

$$x'(t) = \cos B'(t) \sin A'(t),$$

$$y'(t) = \cos B'(t) \cos A'(t),$$

$$z'(t) = \sin B'(t),$$

а затем вычислить скалярное произведение нормали к поверхности с новым радиус-вектором Солнца

$$f'(t) = \cos \beta \sin \alpha \cdot x'(t) + \cos \beta \cos \alpha \cdot y'(t) + \sin \beta \cdot z'(t) =$$

$$= \cos \beta \sin \alpha \cos B'(t) \sin A'(t) + \cos \beta \cos \alpha \cos B'(t) \cos A'(t) + \sin \beta \sin B'(t). \quad (13)$$

Чтобы получить суммарную освещённость за сутки, надо  $f'(t)$ , умноженную на солнечную постоянную, проинтегрировать в тех же пределах, в каких, в предположении об отсутствии воды, интегрировалась  $f(t)$ .

При сравнении рис. 1а и 1б обращают на себя внимание следующие факты: во-первых, поскольку лучи, пересекая границу «воздух – вода», отклоняются вниз, то углы между лучами и вертикальными поверхностями уменьшаются, а между лучами и горизонтальной поверхностью увеличиваются;

во-вторых, углы между лучами и северной поверхностью на восходе Солнца и перед закатом больше, чем углы между лучами и южной поверхностью даже в полуденное время.

## 12. Учет длины пути солнечных лучей в атмосфере.

Для учета ослабления потоков солнечной энергии в атмосфере за счет поглощения и рассеяния представим интегральный по всем длинам волн в видимом диапазоне световой поток  $S$  в виде:

$$S = S_0 P^m, \quad (14)$$

где  $S_0$  – солнечная постоянная,

$P$  – коэффициент прозрачности,

$m$  – относительная масса атмосферы, пронизываемая солнечными лучами.

При Солнце в зените, его лучи пронизывают минимальный слой воздуха, относительная масса которого принимается за единицу,  $m=1$ . Именно с этим единичным слоем сравниваются толщии воздуха, через которые солнечные лучи проходят при других высотах Солнца. Из (14) следует, что коэффициент прозрачности показывает, какая часть солнечной энергии, приходящей на верхнюю границу атмосферы при Солнце в зените, доходит до поверхности земли.

Коэффициент прозрачности атмосферы меняется в пределах от 0,55 во влажном экваториальном воздухе до 0,95 в воздухе центральных районов Антарктиды [1], а при средней замутненности атмосферы он равен 0,8 [2].



Показатель степени в (14) зависит от пронизываемой солнечными лучами толщи атмосферы, а она, в свою очередь, – от высоты Солнца. Толща атмосферы измеряется количеством единичных слоев. Ее расчеты для различных зенитных расстояний Солнца,  $z$ , были выполнены Бемпорадом. Один из наиболее употребительных полиномов, используемый для этой же цели имеет вид:

$$m(z) = \sec z - 0.0018167 \cdot (\sec z - 1) - 0.002875 \cdot (\sec z - 1)^2 - 0.0008083 \cdot (\sec z - 1)^3. \quad (15)$$

Расчет по этой формуле дает, что при высоте Солнца  $30^\circ$   $m=2$ ; при  $10^\circ$   $m=5,6$ ; при  $5^\circ$   $m=10,4$ , а при  $0^\circ$   $m=35,4$ .

Суммарная радиация, приходящая на горизонтальную поверхность – это единственная стандартная наблюдаемая характеристика, с которой можно сравнить наши расчетные величины солнечной энергии, приходящие на надводную, тоже горизонтальную поверхность. Такое сравнение было произведено [3]. Наилучшее согласие расчетных и наблюдаемых среднемесячных значений суммарной радиации (коэффициент корреляции 0,996) было получено, когда в расчеты закладывался коэффициент прозрачности атмосферы 0,75.

### 13. Учет отражения водной поверхности.

Частичное отражение солнечной энергии поверхностью моря это еще один механизм ослабления потока энергии, проникающего в воду. Примем во внимание только один, но основной фактор, от которого зависит отражение прямых солнечных лучей от водной поверхности, а именно: высоту Солнца. Расщепление падающего на поверхность моря потока солнечной энергии  $I_0$ , на отраженный  $I_{om}$  и преломленный  $I_{np}$  описывается формулами Френеля [4]. Воспользуемся первой из них:

$$I_{om} = \frac{1 \sin^2(\varphi - \psi)}{2 \sin^2(\varphi + \psi)} \left[ 1 + \frac{\cos^2(\varphi + \psi)}{\cos^2(\varphi - \psi)} \right], \quad (16)$$

где  $\varphi$  и  $\psi$  углы падения и преломления солнечных лучей, соответственно.

Эти углы связаны между собой через коэффициент преломления  $\mu$  соотношением:  $\sin\varphi / \sin\psi = \mu$ . Для границы раздела воздух-вода  $\mu = 1,32$ .

### 14. Облачность.

Описанный выше метод расчета дает одинаковые результаты для всех точек, находящихся на одной географической широте. Индивидуальность потокам в разных точках главным образом придает разная облачность и в некоторой степени может придать разная в разных точках прозрачность атмосферы.

Учет облачности осуществляется путем введения дополнительных коэффициентов, показывающих, какая часть солнечной энергии в одних и тех же астрономических условиях доходит до поверхности Земли при наблюдаемом количестве облаков по сравнению с безоблачным небом. По своему физическому смыслу эти коэффициенты можно назвать облачными коэффициентами пропускания.

Их значения берутся из таблиц работы Егорова [5]. Они представляют собой табулированную функцию  $Q/Q_0 = f(N, N_h, h)$ , где  $Q, Q_0$  – потоки суммарной, то есть суммы прямой и рассеянной, радиации на горизонтальную поверхность при облачном и безоблачном небе, соответственно;  $N$  – количество общей, а  $N_h$  – количество нижней облачности в баллах,  $h$  – высота Солнца в полдень дня наблюдений. Статистическая связь

между указанными параметрами установлена на обнове более 30 тысяч одновременных наблюдений над суммарной радиацией и облачностью на научно-исследовательских судах в Атлантическом Тихом и Индийском океанах.

**Результаты исследования и их анализ.** В табл. 2 содержится пример расчетных потоков солнечной энергии на некоторые поверхности в тот же день летнего солнцестояния 2008 г., что и на рис. 1. Из первой строки видно, что без учета ослабляющих факторов в разгар лета горизонтальные поверхности получали бы намного больше энергии, чем вертикальные. Во-вторых, согласно пункту 11 модели, горизонтальная подводная поверхность получала бы больше энергии, чем горизонтальная надводная, а подводные вертикальные, напротив, меньше, чем вертикальные надводные. В третьих, вертикальная северная поверхность получала бы больше энергии, чем вертикальная южная, так как углы падения солнечных лучей на первую больше чем на вторую (рис.1). Каждая из этих шести максимальных величин потоков принята за 100 %.

Следующие ниже относительные величины ослабленных разными факторами потоков указывают на то, что толща пронизываемой лучами атмосферы сильнее всего сказывается на северных, надводной и подводной, поверхностях (потери 80 – 81 %), поскольку на них приходят потоки только от низкого утреннего и низкого вечернего Солнца, а меньше всего – на южных поверхностях (29 %), поскольку на них падают лучи от Солнца, поднявшегося над горизонтом уже на 30 – 67 ° (рис.1). Горизонтальные поверхности принимают потоки от Солнца во всем диапазоне его высот, поэтому ослабление толщей воздуха имеет промежуточные значения (36 – 44 %).

Таблица 2 - Абсолютные и относительные величины потоков солнечной энергии на подводные и надводные части гидротехнических сооружений с учетом некоторых факторов их ослабления (Одесса, 22 июня 2008 г., средняя за день облачность: 6,7 балла, С<sub>и</sub>)

Потоки солнечной энергии	Положение и ориентация поверхностей:					
	над водой			под водой		
	горизонтальная	северная	южная	горизонтальная	северная	южная
без ослабления, МДж·м <sup>-2</sup> ·сут. <sup>-1</sup>	44	10	11	62	7	8
без ослабления, %	100	100	100	100	100	100
Части потоков (%) остающиеся после учета основных ослабляющих факторов:						
длины пути в атмосфере	64	19	71	56	20	71
отражения на поверхности				53	16	69
облачности	56	17	62	46	14	60

Отражение солнечных лучей от поверхности моря не влияет на потоки энергии, падающие на надводные части гидротехнических сооружений и не имеет большого значения для подводных, поскольку хорошо отражаются потоки от низкого Солнца, но они сильно ослаблены толщей воздуха, а отражение мощных потоков от высокого Солнца измеряется несколькими процентами. В итоге, ослабление за счет отражения 2 – 4 %.

Плотная 10-балльная облачность может, согласно [5], уменьшить потоки солнечной энергии, доходящие до поверхности земли в три раза, но кучевая облачность менее 7 баллов, которая наблюдалась в этот день, уменьшила потоки в среднем по шести поверхностям только на 13 %.

**Выводы.** Приведенный пример расчетов для одного летнего дня и шести поверхностей, а также очень хорошее совпадение расчетных потоков на горизонтальную надводную поверхность с наблюдаемой суммарной радиацией [3] подтверждают работоспособность предложенной модели.

Модель уже сейчас широко используется в научных исследованиях ОФ ИнБЮМ. Многократно выполненные расчеты для поверхностей самых разных ориентаций и отрезков времени от суток до года неизменно демонстрировали физически оправданное и легко интерпретируемое распределение потоков солнечной энергии.

### Список литературы

1. Хромов С.П., Петросяню М.А. Метеорология и климатология. 4-е изд. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994.– 455 с.
2. Зверева С.В. В мире солнечного света. - Л., Гидрометеиздат, 1988.– 160 с.
3. Большаков В.Н., Сытов В.Н. Прозрачность атмосферы над Одессой// Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей.- 2009, -№1 (9).- С.40-45.
4. Шулейкин В.В. Физика моря. - М., Наука, 1968.– 1083 с.
5. Егоров Б.Н. Учет влияния облачности различных ярусов на суммарную радиацию, приходящую к поверхности океана// Тр. ГГО.- 1973.- Вып. 297.- С. 118 – 123.

#### **Потоки сонячної енергії на поверхні гідротехнічних споруджень різної орієнтації**

**Большаков В.М., Большаков М.В.**

*Представлений інструмент для розрахунків потоків сонячної енергії на надводні й підводні частини гідротехнічних споруджень. Дискретність розрахунків за часом одна хвилина для конкретної доби року й одна доба для року в цілому. Вхідні параметри: дата, широта місця, орієнтація поверхні по азимуту й нахилу до горизонтальної площини, які можуть бути будь-якими. Ураховується заломлення й віддзеркалення сонячних променів на границі повітря–вода, ослаблення потоку за рахунок довжини шляху в атмосфері з урахуванням її прозорості, а також хмарність, загальна й нижнього ярусу.*

**Ключові слова:** потік енергії, надводна й підводна поверхні, ослаблення, віддзеркалення, заломлення, прозорість, хмарність.

#### **The streams of solar energy for different orientated surfaces of hydrotechnical constructions.**

**Bolshakov V.N., Bolshakov M.V.**

*A tool for calculation of streams of solar energy for overwater and underwater parts of hydrotechnical constructions is presented. Temporal discreteness of calculations is one minute for a concrete day of the year and one day for whole year. Entrance data: date, latitude, orientation of the surface according to any azimuth and any declination to the horizon. The refraction and reflection of solar beams at the air–water boundary, the beam deamplification due to the path length in the atmosphere according to its not ideal transparency is taken into account. A method of the account of cloudiness is shown.*

**Keywords:** stream of energy, overwater and underwater surfaces, deamplification, reflection, refraction, transparency, cloudiness.

УДК 551.46(262.5)

С.А.Доценко, к.г.н.

Одесский филиал Института биологии южных морей НАН Украины

## ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДЕССКОГО РЕГИОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

*Статья представляет собой обзор основных результатов работ отечественных ученых по изучению временной изменчивости гидрометеорологических характеристик Одесского региона северо-западной части Черного моря.*

**Ключевые слова:** температура воды, соленость, уровень моря, сток рек.

**Вступление.** Пристальное изучение временной изменчивости гидрометеорологических характеристик как глобального, так и регионального масштаба приобрело особую актуальность в связи с наблюдающимися в последнее время тенденциями изменения климата. Настоящая статья заканчивает обзор работ по изучению влияния солнечной активности на циркуляцию атмосферы и временную изменчивость некоторых гидрометеорологических характеристик бассейна Черного моря. Здесь рассмотрены работы, посвященные изучению колебаний гидрометеорологических характеристик в регионе Одессы.

**Обзор результатов исследований.** В работе В.Н. Бортника и др. проанализирована межгодовая изменчивость температуры воздуха и воды для станции Одесса-порт за период 1945–1975 гг. Средняя многолетняя температура воздуха составила 10,4 °С, а воды 11,1 °С. В межгодовой изменчивости наблюдался согласованный ход среднегодовых значений исследуемых параметров. Отмечено существование прямой зависимости среднегодовых характеристик термического режима от суровости зим. В большей части аномально-холодных лет предшествующий зимний период отличался особой суровостью и продолжительностью [1].

В работе Э.Н. Альтмана и др. анализировались среднегодовые значения температуры воды в Одессе за период 1945–1980 гг. Значимые тренды выявлены не были. В этой же работе рассматривалась связь температуры воды с некоторыми метеозементами. В спектрах метеозементах по Одессе (1966–1980 гг.) были выделены следующие пики колебаний. Общая облачность: 90; 45; 22,5; 12; 9,5; 6; 5,5; 4 месяца. Нижняя облачность: 180; 22,5; 12; 9,5; 6; 5,5; 4 месяца. Дефицит влажности: 99; 45; 25,7; 13,8; 12; 9,5; 6,9; 6; 3,7 месяца. Упругость водяного пара: 180; 25,7; 12; 6; 3,7; 2,5 месяца. На основании этого сделан вывод о наличии кроме годовых, колебаний с периодами 9,5, 6 и 3,7 месяца [2].

В следующей работе Э.Н. Альтмана и др. проведена оценка реакции поля солёности Черного моря на многолетние изменения стока рек. В частности выделена приустьевая область Днепровского лимана. Проанализированы данные измерений солёности на станции Одесса-порт в 1948–1982 гг. для отдельных месяцев (февраль, май, август и ноябрь) и средние годовые значения. Привлечены также эпизодические наблюдения в районе, ограниченном с юга параллелью 46° с.ш. (помесячно осредненные значения солёности для мая и августа). Предварительно выполнен статистический анализ многолетней изменчивости стока Дуная и Днепра за этот же период. Линейные тренды рассчитывались методом наименьших квадратов. Статистическая достоверность присутствия линейного тренда оценивалась с помощью F-критерия Фишера. Показано, что в рассматриваемый период антропогенное уменьшение стока Дуная и Днепра полностью затушевывалось климатическим ростом водности рек. Заметно изменилось внутригодовое распределение стока Днепра,

связанное с его зарегулированием. В зимний период сток значительно увеличился (статистически значимый линейный тренд для февраля характеризуется угловым коэффициентом тренда  $0,09 \text{ км}^3/\text{год}$  и размахом колебаний  $3,2 \text{ км}^3$ ), в весенне-летний несколько уменьшился. Изменения среднего годового стока Днестра при этом можно считать квазистационарными. В колебаниях среднего годового стока Дуная присутствовала значительная положительная тенденция, размах которой за рассматриваемый период составил  $66,2 \text{ км}^3$ , а угловой коэффициент  $1,95 \text{ км}^3/\text{год}$ . Анализ многолетних изменений солёности вод в Одессе показал на присутствие отрицательных тенденций для отдельных месяцев и для средних годовых значений (статистически значимые отрицательные линейные тренды обнаружены для февральского, августовского и среднего годового рядов солёности), что объяснено ростом стока Дуная. Оценка корреляции годовых стоков Дуная и Днестра со средними годовыми значениями солёности вод в Одессе показали значимую парную связь. Коэффициент корреляции солёности вод со стоком Днестра равен  $-0,75$ , со стоком Дуная  $-0,62$ . Уравнение синхронной линейной множественной регрессии имеет вид  $S_{\text{Од}} = 18,25 - 0,046Q_{\text{Дун}} - 0,08Q_{\text{Дн}}$ . Коэффициент множественной корреляции равен  $0,84$ . Отрицательная тенденция в многолетних изменениях солёности выявлена и для поверхностного слоя в центре северо-западной части и центральной части Черного моря [3].

Далее в этой же работе дана критика полученных в работах А.С. Блатова и др. и Фащука Д.Я. положительных тенденций солёности для северо-западной части Черного моря [4, 5]. Показано, что из приведенных в этих работах линейных трендов только один (для Днепроовского приустьевового района на ряде в 16 лет) имеет угловой коэффициент более  $0,05 \text{ ‰}/\text{год}$ . Достоверно выделяются только линейные тренды с коэффициентами более  $0,05 \text{ ‰}/\text{год}$ . Однако этот результат также ошибочен из-за ошибки в использовании данных о минимальном значении солёности в 1960 г. в Одессе. В заключение работы приведены многолетние тенденции в поле температуры воды. Для августа отмечены отрицательные тенденции в Одессе (за период 1951–1980 гг. угловой коэффициент тренда составил  $-0,07 \text{ °C}/\text{год}$ , размах колебаний  $-2,0 \text{ °C}$ ) и в центре северо-западной части моря на поверхности (за период 1957–1980 гг. соответственно  $-0,068 \text{ °C}/\text{год}$  и  $-2,0 \text{ °C}$ ) [3].

В работе А.Н. Демидова, посвященной условиям формирования и изменчивости температуры и солёности вод в прибрежных районах Черного моря, рассматривается внутригодовая и многолетняя изменчивость этих параметров по результатам наблюдений сети прибрежных ГМС. Анализ многолетней изменчивости, трендов и флюктуаций рядов выполнен по средним месячным и средним годовым значениям температуры воды. Для Одессы анализ проведен за период 1923–1985 гг. Применен метод наименьших квадратов, достоверность результатов оценивалась по критерию Фишера, рассматривались только тренды, у которых нуль-гипотеза для углового коэффициента отвергается на 95 %-ном уровне значимости. Анализ средних годовых значений температуры воды не выявил значимых тенденций, что объяснено отсутствием за этот период однонаправленных климатических и антропогенных влияний. Анализ средних месячных значений температуры воды выявил для Одессы положительный тренд в январе ( $+1,4 \text{ °C}$ ) и отрицательные тренды в мае ( $-1,9 \text{ °C}$ ) и июне ( $-1,7 \text{ °C}$ ). Аналогичный анализ проведен для температуры воздуха. В декабре наблюдается положительная тенденция ( $+2,1 \text{ °C}$ ), а в июне и октябре отрицательная ( $-2,0 \text{ °C}$  и  $-1,8 \text{ °C}$  соответственно). Таким образом, сделан вывод о наличии общего потепления зимой и похолодания летом, т.е. тенденции температуры поверхностного слоя воды и воздуха климатически обусловлены. Наличие разнонаправленных тенденций зимой и летом приводит к тому, что по рядам среднегодовой температуры

воды тенденций не обнаруживается. Зарегулирование речного стока и изменение его гидрографа способствовали появлению отрицательного весеннего тренда температуры воды в северо-западной части моря. Корреляционное отношение температуры воды и воздуха для Одессы 0,86, т.е. в данном масштабе изменения температуры воды определяются колебаниями климата. По графику многолетнего хода средних годовых значений температуры воды и воздуха в отклонениях от среднего нельзя сделать вывод о полицикличности колебаний, поэтому было проведено разложение суммарных колебаний на элементарные путем параметрического оценивания. Для Одессы получены периоды колебаний температуры воды в 2,3; 2,9; 4,0; 7,4; 13,3; 33,3 года. Сделан вывод об определяющей роли в изменчивости климата над Черным морем крупномасштабных процессов атмосферной циркуляции, вызывающих термические аномалии одного знака и порядка на большой территории [6].

В этой же работе приводится количественная зависимость между средней месячной соленостью и средним месячным объемом стока Днепра, полученная путем совместного анализа колебаний этих параметров. Уравнение регрессии имеет вид:  $S_{Od} = 19,67(Q_{Dn} + 1)^{-0,169} e^{-0,01(Q_{Dn} + 1)}$ . Корреляционное отношение связи 0,78. Уравнение можно применять при значении стока Днепра менее 19 км<sup>3</sup>/мес. Отношение СКО (среднеквадратического отклонения) разности фактических и рассчитанных данных по выведенному уравнению к СКО рядов наблюдений за соленостью составляет 0,18. Отмечено, что в Одессе наибольшее влияние паводка проявляется несколько позднее, чем в других районах северо-западной части моря, т.е. в мае. Здесь соленость 50 %-ой обеспеченности равна 12,5 ‰. Скорость осолонения вод после прохождения паводка в Одессе выше, чем в Приморском [6].

По данным 1950–1984 гг. для Одессы выявлен отрицательный тренд (–1,69 ‰) средних годовых значений солености, для которых нуль-гипотеза для углового коэффициента отвергается на 95 %-ном уровне значимости. Это объясняется климатическим ростом стока Дуная, превышающим антропогенные изъятия его вод. Результаты вычисления многолетних изменений солености по средним месячным значениям выявили для Одессы значительные отрицательные тенденции в декабре (–1,91 ‰), феврале (–3,37 ‰) и марте (–3,74 ‰), и положительные в мае (3,15 ‰) и июне (2,85 ‰), что связывается с изменением зарегулированного гидрографа стока Днепра, коэффициент неравномерности внутригодового распределения которого снизился почти в 2 раза. Периодичность колебаний солености не выявлена из-за непродолжительности рядов средних годовых значений [6].

В работе Р.Р. Белевича и И.Г. Орловой обобщены сведения о наблюдаемых трендах некоторых гидролого-гидрохимических характеристик, характере их межгодовых колебаний, выявлены особенности и величины этих возмущений. Авторы проанализировали за период 1948–1994 гг. непрерывные ряды средних годовых значений температуры воздуха, воды и солености по ГМС Одесса-порт, также ряды среднегодовых расходов воды рек Дунай и Днепр. В ряду межгодовой изменчивости среднегодовых значений температуры воздуха долгопериодный тренд не выявлен. Наблюдалось устойчивое сохранение средней многолетней температуры воздуха близкое к климатической норме (9,9 °С), прослеживались возмущения на периодах 2–3, 4–5, 7–10 лет (при сглаженном 5-ти летнем скользящем осреднении). Анализ вековых (1894–1994 гг.) среднезимних (декабрь, январь и февраль) и среднелетних (июнь, июль и август) рядов температуры воздуха выявил хорошо выраженный положительный тренд в зимнем ряду с начала 30-х до 80-х гг. и отрицательный в летнем с конца 30-х до 80-х гг. Средняя зимняя температура воздуха повысилась более чем на 2,5 °С и положительный тренд в течение этого периода составил +0,055 °С/год, а средняя летняя температура воздуха понизилась на 1,23 °С и отрицательный тренд составил –

0,03 °C/год, что свидетельствует о потеплении зимнего и похолодании летнего сезона в этот период. На основании этих результатов сделан вывод о том, что в последние десятилетия климат северо-западного региона становился менее континентальным. Однако с начала 80-х гг. произошли изменения. В летнем ряду отрицательный тренд сменился положительным, в зимнем ряду на смену положительной тенденции появилась долгопериодная (8-летняя) волна. Помимо упомянутых выше трендов в колебаниях температуры воздуха хорошо проявлялись возмущения на периодах 2–5, 10–14, 18–22 и 28 лет. Возможны ее долгопериодные колебания на масштабах, близких к 50, 80 и 100 годам [7].

В ряду среднегодовых значений температуры воды за 1950–1994 гг. авторы выделили 2–3, 5–6, и 8–9-летние доминирующие возмущения. С середины 60-х и до середины 80-х гг. прослеживался также слабо выраженный отрицательный тренд. В межгодовой изменчивости температуры воды летнего ряда с начала 70-х и до середины 80-х гг. наблюдался хорошо выраженный отрицательный тренд (угловой коэффициент  $-0,156$  °C/год). Средняя летняя температура воды в 1963–1972 гг. была равна  $20,54$  °C, а в 1976–1985 гг.  $18,51$  °C. В последующее десятилетие (1985–1994 гг.) отрицательный тренд в летнем ряду сменился на положительный. В то же время в межгодовой изменчивости температуры воды зимнего ряда за весь рассматриваемый период (1962–1994 гг.) положительный тренд не прослеживался [7].

Анализ межгодового хода среднегодовых значений солености воды по данным за 1948–1994 гг. показал наличие отрицательной тенденции до начала 80-х гг. Среднее, сглаженное за пятилетие, значение солености в 1950 г. составляло  $15,3$  ‰, в 1982 г.  $13,5$  ‰, т.е. наблюдался отрицательный тренд с угловым коэффициентом солености в этот период на уровне  $-0,06$  ‰ в год. С 1982 по 1986 г. отмечен заметный рост значений солености (в среднем примерно до  $15$  ‰), а в течение последующих 7 лет колебания стабилизировались и сохранялись на уровне  $14,4$ – $16,0$  ‰. Отрицательный тренд до начала 80-х гг. связывается с ростом стока Дуная в этот период, так как тренда в стоке Днепра не наблюдалось. В 1980–1993 гг. величина стока обеих рек довольно активно волнообразно понижалась. Помимо долгопериодных тенденций в изменении солености на станции Одесса-порт наблюдались энергоемкие возмущения на периодах равных 2; 4–6; 9–12 и 16 годам [7].

Работа А.Б. Полонского посвящена изучению изменчивости полей температуры и солености воды в верхнем слое северо-западной части Черного моря. В этой работе особое внимание уделено приустьевому району Днепра, в который входит и Одесский регион. Это исследование является до настоящего времени единственной работой, в которой рассматривается изменчивость гидрологических параметров интересующего нас региона в зависимости от крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана. Поэтому остановимся на ней подробнее. В работе анализировались среднемесячные данные о температуре и солености воды на горизонтах 0 и 20 м с 1955 по 1994 г. за месяцы, наиболее полно охваченные наблюдениями. Значения параметров осреднялись в пределах 40-мильных квадратов и проводились статистические расчеты. Анализировалась также низкочастотная изменчивость стратификации температуры, солености и плотности для каждого месяца в квадрате 1 (приустьевой район Днепра). Кроме того, были проанализированы: среднемесячные значения расходов Дуная, Днепра, Днестра и Южного Буга с 1921 по 1992 г. и среднегодовые значения расходов Дуная и Днепра с 1855 по 1994 г.; ежемесячные значения индекса Южного колебания (нормированной разности давления на о. Таити и в Дарвине) и индекса Россби (разности давления в азорском максимуме и исландском минимуме) с 1891 по 1990 г.; ежемесячные данные о траекториях циклонов в Северном полушарии в 80-е гг. XX

века; среднемесячные данные о температуре поверхности океана в Северной Атлантике с 1957 по 1990 г. Основные результаты исследования следующие [8].

Максимальные дисперсии (среднеквадратические отклонения) наблюдаются в мае, в приустьевых районах превышая 3 °С и 4 ‰, соответственно для температуры и солености, а дисперсии, обусловленные низкочастотной изменчивостью, достигают значений 2 °С и 3 ‰. Таким образом, низкочастотная изменчивость обуславливает не менее 50 % дисперсии, оставшейся после удаления годового хода. Изменчивость поля плотности и стратификации полностью определяется изменчивостью поля солености в поверхностном слое. Во временном масштабе выделяются два периода низкочастотной изменчивости гидрологических характеристик: 2-5 и 10-20 лет. Коспектры расходов Днепра и Дуная с соленостью поверхностного слоя моря в приустьевых районах указывают на присутствие трех значимых пиков вблизи периодов 2,5; 4 и 15 лет. Значимые тренды в полях солености, температуры и временной изменчивости параметров стратификации вод северо-западной части Черного моря не выявлены. Изменчивость с периодами 2-5 и 10-20 лет выделяется и на периодограммах расходов рек. Кроме того, выделяется и более низкочастотная изменчивость с периодом 40-60 лет. Отмечается отрицательный линейный тренд в рядах ежемесячных расходов Днепра в апреле и мае с 1921 по 1992 г. и положительный тренд в расходах Дуная, Днестра и Южного Буга в летний период. В результате суммарный сток в северо-западную часть моря не обнаружил значимых трендов. Объяснением изменчивости с периодом 2-5 лет может служить глобальная климатическая изменчивость, которая определяется периодичностью явления Эль-Ниньо в Тихом океане. В годы с Эль-Ниньо зональная циркуляция над Северной Атлантикой интенсифицируется, происходит смещение центров действия атмосферы (увеличиваются среднегодовые значения индекса Россби) и, следовательно, происходит смещение траекторий циклонов над Европой зимой к северо-востоку. Это приводит к уменьшению осадков над площадью водосбора, уменьшению расходов рек и повышению солености поверхностного слоя. Однако отмечены случаи, когда влияние Эль-Ниньо не прослеживалось в аномалиях солености в квадрате 1. 40-60-летние колебания в системе океан-атмосфера вызываются низкочастотной изменчивостью меридиональной адвекции тепла в Северной Атлантике. Похолодание Северной Атлантики сопровождается ростом давления в азорском максимуме, одновременно происходит смещение его к юго-западу. В конечном итоге, как и при Эль-Ниньо, происходит увеличение расходов рек и соленость понижается. При временных масштабах изменчивости 10-15 лет также наблюдаются значимые корреляционные связи положения центров действия атмосферы, температуры поверхностного слоя в Северной Атлантике и расходов рек [8].

В работе Ю.Н. Горячкина и В.А. Иванова проанализированы среднемесячные и срочные данные уровня Черного моря по 43 пунктам наблюдений. Отмечен за последние 50 лет положительный тренд с угловым коэффициентом в среднем около 0,25 см/год, что дало повышение уровня на 12 см. Это связывается авторами с общим повышением уровня Мирового океана. Наибольший размах колебаний уровня наблюдается у Одессы (до 2,5-3 м), что объясняется сгонно-нагонными явлениями. Максимальный нагон у Одессы отмечен в октябре (100 см), максимальный сгон в ноябре (182 см). Для межгодовых изменений экстремальных характеристик уровня в целом характерны те же особенности, что и для среднего уровня. Коэффициент корреляции между максимумами и средними величинами для Одессы составил 0,82, между минимумами и средними 0,68. Это свидетельствует о более значительном вкладе в средний уровень моря (наряду с компонентами водного баланса) нагонных процессов [9].



В работе В.В. Адобовского и др. рассмотрены тенденции межгодовой изменчивости температуры и солёности воды в прибрежной зоне Одесского региона по наблюдениям на ГФЛ ОГЭКУ (до 2000 г. ГФЛ ОГМИ) за период 1986–1998 гг. Анализировались средние годовые и средние месячные величины температуры и солёности воды и их аномалии. В ряду средних годовых значений температуры на фоне положительного тренда прослеживаются 3-х и 5-ти летние циклы. Отмечена также смена знака в долгопериодной изменчивости температуры воды на уровне 1989 г., когда на смену понижения установилась тенденция к повышению. Интегральная кривая среднемесячной солёности показала на фоне 8-ми летнего периода цикла, соответствующие 19–22 месяцам. Циклы солёности характеризуются асимметрией, т.е. фаза понижения солёности протекает в более сжатые сроки, чем фаза ее повышения. Отмечено понижение солёности, характерное для цикла большой продолжительности. В изменчивости температуры и солёности в период 1986–1991 гг. отмечалась положительная  $T,S$  – корреляция, а начиная с 1992 г. – отрицательная. На основании проведенного анализа сделан вывод о том, что в начале 90-х гг. наметилась смена тенденций климатического изменения температуры воды, что обусловлено достижением в это время суммарной солнечной радиации своего минимума, после чего наблюдался ее рост. Наметившаяся тенденция понижения солёности обусловлена ожидавшейся в конце 80-х-начале 90-х гг. сменой многолетнего климатического периода, характеризуемого преобладанием меридионального переноса, на период с преобладанием зонального переноса. Увеличение количества осадков в этот период и явилось причиной наметившейся тенденции понижения солёности воды [10].

В работе С.А. Доценко и И.Г. Рубана продолжено изучение особенностей многолетней изменчивости температуры и солёности воды в Одесском регионе. Проанализированы средние годовые значения температуры воды, солёности и количества осадков по результатам наблюдений на ГФЛ ОГЭКУ за период 1979–1999 гг., а также данные о температуре и солёности воды, полученные во время съёмок в акватории Одесского региона за период 1988–1999 гг. Рассчитаны средние значения по акватории для поверхностного и придонного горизонта. Анализ показал, что в поверхностном и придонном горизонте в указанный период наблюдалась общая тенденция повышения температуры и понижения солёности. Выделение сезонных рядов значений позволило установить в начале 90-х гг. смену отрицательной тенденции на положительную - для температуры воды, и положительной на отрицательную - для солёности, что хорошо совпало с тенденциями, выявленными на графиках средних годовых значений температуры и солёности воды по данным ГФЛ ОГЭКУ. Таким образом, сделан вывод о том, что климатические изменения глобального масштаба, в частности, смена климатических эпох и, как следствие, повышение водности рек, вызвали наметившийся с начала 90-х гг. рост в Одесском регионе температуры воды и одновременное понижение солёности. В работе сделан прогноз длительности этого периода и величины трендов. Длительность периода определена в 25–30 лет. За это время температура воды в регионе возрастет в среднем на 1,5–2 °С, а солёность понизится на 1–1,5 ‰ [11].

В работе С.А. Доценко проанализированы ряды среднегодовых значений температуры и солёности воды по данным станции Одесса-порт и ГФЛ ОГЭКУ за период 1950–2001 гг. Показано, что с начала 50-х до середины 60-х гг. температура воды имела тенденцию к росту, затем до начала 90-х гг. наблюдалось ее понижение, после чего снова наметилась фаза роста. Солёность с начала 50-х гг. до начала 80-х гг. понижалась, с начала 80-х гг. до середины 90-х гг. повышалась, а затем до настоящего времени имеет тенденцию к уменьшению. Такая внутривековая изменчивость солёности объясняется соответствующими внутривековыми колебаниями годового

стока Дуная в рассматриваемый период. Наметившаяся тенденция роста годового стока Дуная и Днестра в конце 90-х гг. будет способствовать дальнейшему понижению солености у берегов Одессы [12].

В работе С.А. Доценко и др. показаны основные тенденции изменения среднегодовых значений температуры и солености воды в прибрежной зоне Одесского региона северо-западной части Черного моря в последние 20 лет. Установлено, что до начала 90-х гг. температура воды понижалась, а после этого начала расти. Соленость до начала 90-х гг. повышалась, а после этого устойчиво понижается [13].

В работе Ю.Н. Горячкина приведен годовой ход среднемноголетнего количества сгонно-нагонных колебаний уровня по данным МГС Одессы (1923–2001 гг.). В зимний период в Одессе наблюдается в среднем два-три сгона в месяц, в летний период их повторяемость в Одессе составляет около одного случая в месяц. В межгодовой изменчивости количества случаев сгонно-нагонных явлений преобладают колебания с периодом 2-5 лет. Аппроксимация кривых полиномом 5-ой степени показала, что в Одессе до конца 60-х гг. прошлого столетия наблюдалась тенденция к увеличению повторяемости сгонно-нагонных колебаний уровня, которая сменилась устойчивой тенденцией к их уменьшению. В целом за весь период наблюдается крайне малый отрицательный тренд, который объясняется отрицательной тенденцией в межгодовой изменчивости скорости ветра в течение второй половины XX в. (с 4,5 до 3,5 м/с). В работе сделан вывод, что вклад межгодовых изменений сгонно-нагонных колебаний уровня в формировании климатического сигнала изменчивости уровня отрицательный и он не может быть ответственным за наблюдаемое в последние 70 лет повышение уровня Черного моря [14].

**Выводы.** Атмосфера, океаны и моря характеризуются неправильными и сложными короткопериодными, многомесячными, многолетними и вековыми изменениями всех своих характеристик. Солнечная активность, движение Земли вокруг Солнца, Луны вокруг Земли, а также вращение Земли, характеризующееся неправильными изменениями скорости и нутацией оси, вносят свой вклад в общие, охватывающие всю планету изменения атмосферы и океана. Таким образом, формируется сложная картина короткопериодных и многолетних колебаний состояния атмосферы и океана. Такие же колебания находят отклик на региональном уровне. Поэтому изучение временной изменчивости гидрометеорологических характеристик регионального масштаба необходимо и, несомненно, будет продолжаться.

### Список литературы

1. Бортник В.Н., Владимирцев Ю.А., Косарев А.Н. О связи межгодовых колебаний температуры воздуха и воды на южных морях СССР // Экспресс информация ВНИИГМИ-МЦД, Океанология. – 1977. – Вып.2(42). – С. 6–12.
2. Альтман Э.Н., Прасолов Р.С., Урюжников Е.П., Яценко А.В. Временная изменчивость температуры воды прибрежной части Черного моря // Труды ГОИН. – 1986. – Вып.168. – С. 16–19.
3. Альтман Э.Н., Гертман И.Ф., Голубева З.А. Многолетние тенденции солености и температуры вод Черного моря в связи с изменением стока рек (по данным натуральных наблюдений) // Труды ГОИН. – 1988. – Вып.189. – С. 39–53.
4. *Изменчивость гидрофизических полей Черного моря* / Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А. и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 240 с.
5. Фащук Д.Я. Гидрологические предпосылки заморных явлений в Тендровском заливе (Черное море) // Эколого-физиологические основы аквакультуры на Черном море. – М.: ВНИРО, 1981. – С. 120–125.

6. Демидов А.Н. Температура воды и соленость // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, том IV Черное море, Выпуск 1 Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеоздат, 1991. – С. 373–397.
7. Белевич Р.Р., Орлова И.Г. Особенности межгодовой изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик вод на северо-западном шельфе Черного моря в последние десятилетия (60-90-е годы) // Морской гидрофизический журнал. – 1996. – №2. – С. 62–73.
8. Полонский А.Б. Изменчивость гидрологических характеристик северо-западной части Черного моря, вызванная крупномасштабными процессами // Метеорология и гидрология. – 1997. – №3. – С. 59–70.
9. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Пространственно-временное распределение экстремальных значений уровня в Черном море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: 2000. – С. 72–78.
10. Адобовский В.В., Доценко С.А., Михалечко Ю.Е. Особенности термохалинной изменчивости вод в прибрежной зоне Одесского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: 2000. – С. 127–132.
11. Доценко С.А., Рубан И.Г. Многолетняя и внутривековая изменчивость температуры и солености воды у берегов Одессы // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – Одеса: 2002. – Вип.46 – С. 332–337.
12. Доценко С.А. Изменчивость термохалинной структуры и циркуляции вод в Одесском регионе // Тези міжнародної конференції «Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища-2002». – Одеса: 2002. – С. 248–249.
13. Доценко С.А., Адобовский В.В., Никаноров В.А. Современные тенденции изменения температуры и солености воды в прибрежной зоне Одесского региона Черного моря // Сборник научных трудов «Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа». – Севастополь: 2009. – Вып.20. – С. 180–184.
14. Горячкин Ю.Н. Основные тенденции многолетней изменчивости сгонно-нагонных колебаний уровня в Черном море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2007. – Вып. 15. – С. 28–31.

**Часова мінливість гідрометеорологічних характеристик Одеського регіону південно-західної частини Чорного моря. Доценко С.А.**

*Стаття є огляд головних результатів робіт вітчизняних вчених по вивченню часової мінливості гідрометеорологічних характеристик Одеського регіону південно-західної частини Чорного моря.*

**Ключеві слова:** температура води, солоність, рівень моря, сток річок.

**Temporal variability of hydro-meteorological characteristics of Odessa-region of north-west path of Black-sea. Dotsenko S.A.**

*The article is a review of basic performances of jobs of domestic authors on the study of hydro-meteorological characteristics of Odessa-region of north-west path of Black sea.*

**Key words:** waters temperature, salinity, seas level, rivers flow.

## ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОВ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КРУПНОМАСШТАБНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ДИНАМИКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ПЛАНЕТЫ, В ПЕРИОД С 1950 ПО 2009 гг.

*Изучены зависимости от времени года периодов наиболее мощных мод спектров межгодовой изменчивости значений важнейших климатических индексов. Выявлены отличия общих особенностей спектров крупномасштабных процессов в Северо-Атлантическом регионе по отношению к процессам в Тихоокеанском регионе и связанным с феноменом Эль Ниньо - Южное колебание.*

**Ключевые слова:** спектр, временной ряд, климатический индекс, период моды, моделирование.

**Введение.** Крупномасштабные процессы в климатической системе планеты [1-9] являются значимыми факторами изменения состояний всех компонентов ее ландшафтной оболочки, в том числе и ее водных ресурсов [10, 11, 12, 13]. Поэтому совершенствование методов их прогнозирования, является актуальной проблемой физической географии.

Наибольший интерес решение данной проблемы представляет для процессов, происходящих в период, начавшийся со второй половины XX века, в начале которого глобальный климата был относительно стабильным, а после 1979 года имели место его современные изменения [14, 15, 16]. Именно в эти годы произошли существенные изменения распределений по поверхности материков планеты атмосферных осадков [16], что повлияло на водные балансы большинства их водных объектов [17]. Это в свою очередь вызвало ощутимые изменения среднегодовых расходов рек, уровней и площадей поверхности озер, а в регионах Умеренных климатических поясов - также характеристик образующегося в них снежного покрова, изучению которых посвящены работы как отечественных авторов Вишневого В.И. [12], Тимченко З.В. [20], так и зарубежных - Джамалова Р.Г. [18, 19], Кравцовой В. И. [21], Шикломанова И.А., Георгиевского В.Ю. [22-24], Семенова В.А., Алексеевой А.К., Дегтяренко Т.И. [25].

Согласно современным представлениям о количественных характеристиках состояния упомянутых крупномасштабных процессов [1-9], к числу наиболее информативных относятся соответствующие климатические индексы. Определения месячных значений большинства из них начались с января 1948 года и продолжают ныне. Полученная при этом информация представлена на сайтах NCAR и NOAA [26-32], в виде непрерывных временных рядов.

Общим свойством упомянутых рядов является их сложно осциллирующий характер, что подтверждает присутствие в их спектрах как минимум нескольких составляющих и свидетельствует о целесообразности применения при их прогнозировании аддитивных математических моделей [33, 34, 35].

Особенности их динамики, проявившиеся в период современных изменений климата, свидетельствуют о целесообразности рассмотрения данных процессов как нестационарных, для которых распределение их мощности по частоте может характеризоваться соответствующим спектром мод.

Определение параметров подобных спектров для каждого из рассматриваемых процессов с использованием методик [36, 37, 38] позволило бы учесть их при прогнозировании их динамики.

Вместе с тем причинные связи, порождающие изменения климатических индексов, а также обуславливающие особенности их модовых спектров, характерные в период современного потепления климата, ныне изучены недостаточно. Вследствие чего при описании динамики рассматриваемых процессов принято использовать лишь простейшие авторегрессионные модели [39, 40, 41].

**Объект и исходные данные.** Учитывая выше изложенное, объектом данного исследования были выбраны изменения важнейших климатических индексов. Предметом исследования являлись особенности сезонных изменений периодов наиболее мощных мод, присутствующих в спектрах изучаемых процессов, проявившиеся за период с 1950 по 2009 гг.

Целью работы являлось изучение сезонной динамики периодов наиболее мощных мод межгодовых изменения важнейших климатических индексов за указанный период.

**Методы исследования.** Поскольку причинные связи, порождающие изменения упомянутых климатических индексов, ныне изучены недостаточно, разработка их моделей осуществлялась в классе авторегрессионных алгоритмов.

Одним из подходов к разработке подобных моделей, позволяющим осуществить их идентификацию, если рассматриваемые процессы могут быть многомодовыми и нестационарными, является метод нестационарных мод [42, 43].

В соответствии с ним, для описания динамики таких процессов использовалась модели, вида:

$$X(t) = Tx(t) + K(t) + n(t),$$

где  $Tx(t)$  - линейный тренд рассматриваемого процесса;

$n(t)$  - стационарный белый гауссовый шум измерения с нулевым средним;

$K(t)$  - коррелированная нестационарная составляющая с нулевым средним, зависящая от предыстории процесса  $x(t)$

$$K(t) = \sum_{k=1}^N A_k(t) \sin[\omega_k(t) + \varphi_k],$$

здесь:  $A_k(t)$  - мгновенная амплитуда  $k$ -моды процесса ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ):

$$A_k(t) = \sum_{i=0}^{M_a} a_{ki} \cdot t^i,$$

$\omega_k(t)$  - ее текущая фаза, являющаяся нелинейной функцией времени:

$$\omega_k(t) = \sum_{i=0}^{M_\omega} \omega_{ki} \cdot t^i,$$

$M_a$  и  $M_\omega$  - целые положительные константы;

$a_{ki}$  и  $w_{ki}$  - действительные числа, зависящие от предыстории изучаемого процесса и номера его моды  $k$ ;

$\varphi_k$  - начальная фаза моды  $k$ , которая является действительной константой.

Для идентификации параметров использовалась предложенная [44] численная оптимизационная процедура, включающая четыре стадии.

На первой стадии, с помощью, впервые разработанного в 1959 году Л. А. Растригиным [45], метода случайного поиска определялись неизвестные

параметры  $\phi k$ ,  $a_{ki}$  та  $w_{ki}$  математических моделей всех возможных мод процесса  $K(t)$ . При этом в качестве целевой функции [46] использовалось значение коэффициента корреляции изучаемого процесса и рассматриваемой его моды.

На второй стадии осуществлялась предварительная селекция мод, при которой из их набора исключались моды, значения коэффициент корреляции с изучаемым процессом не превышали 95% порога по критерию Стьюдента.

На третьей стадии из набора оставшихся мод исключались моды, существенно коррелированные с наиболее мощными.

На четвертой стадии методом полного перебора определялся комплект мод, обеспечивающий максимальную точность моделирования  $K(t)$  на рассматриваемом отрезке его предыстории.

Для достижения цели, поставленной в данной работе, для каждого изучаемого временного ряда определялись значения начальных периодов всех мод, входящих в подобный комплект мод, а также изучалось влияние на них сезонного фактора.

Исследования проводились для всех климатических индексов, мониторинг которых начал осуществляться не позднее 1951 года и без перерывов продолжается до настоящего времени. К ним относятся: индекс Арктического колебание (АО) [27]; индекс Атлантической меридиональной моды (Amm) [4]; многодекадный Атлантический индекс (Amon.us)[5]; индекс Эль-Ниньо - Южное колебание (BEST: Bivariate enso timeseries) [28]; мультивариативный индекс Эль-Ниньо - Южное колебание (MEI) [6]; индекс Восточно-тихоокеанского колебания (EPO) [27]; индекс Североатлантического колебания (NAO) [31]; индекс осцилляции Юго-Восточной части Тихого океана в районе (0-10S, 90W-80W) (Nina-1) [31]; индекс осцилляции Западной части Тихого океана в районе (5N-5S, 150W-90W) (Nina-3) [31]; индекс осцилляции Центральной части Тихого океана в районе (5N-5S, 160E-150W) (Nina-4) [31]; индекс осцилляции Востока Центральной части Тихого океана в районе (5N-5S, 170E-120W) (Nina-34) [31]; северо-тропический Атлантический индекс (NTA) [7]; океанический индекс Эль-Ниньо (ONI) [29]; тихоокеанский Северо-Американский индекс (PNA) [27]; индекс тропической зоны Тихого океана (eof) [31]; индекс состояния солнечной активности (поток радиоизлучения Солнца с длиной волны 10.7 см) (SOLAR) [30]; индекс средней интенсивности атмосферных осадков в зоне Сахель (swmnsoon) [31]; тропический Североатлантический индекс (TNA)[8]; индекс Транс-Ниньо (TNI) [32]; южно-тропический Атлантический индекс (TSA) [8]; индекс теплой области на поверхности океана в Западном полушарии (WHWP) [26]; Западно-Тихоокеанский индекс (WP) [9].

Изучавшиеся временные ряды всех перечисленных характеристик, представленные в [4-9, 26-32] содержат данные об их среднемесячных значениях за каждый месяц с января 1950 по декабрь 2009 г.

#### **Результаты исследования и их анализ.**

В соответствии с рассмотренной методикой были для каждого месяца определены значения начальных периодов наиболее мощных мод всех изучавшихся крупномасштабных процессов. Полученные при этом результаты, соответствующие зимним месяцам (декабрь – март) приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, для спектров межгодовых изменений большинства климатических индексов в зимние месяцы характерно присутствие мод с начальными периодами 2-3 года.

В спектрах индексов, характеризующих процессы, происходящие в Атлантическом регионе (АО, Amm, Amon.us, NAO, NTA, TNA), неизменно присутствуют также значимые составляющие с периодами 10 и 11 лет, что не является

Таблица 1 - Значения начальных периодов наиболее мощных мод спектров межгодовых изменений климатических индексов в зимние месяцы.

индекс	декабрь	Январь	февраль
АО	2, 3, 11	2, 6, 11	3, 6, 11
Amm	4, 10, 14, 15	2, 3, 7, 10,	2, 4, 10
Amon.us	3, 4, 11	2, 4, 11	2, 11
BEST	2, 5, 6, 13	2, 3, 5, 9, 13,	2, 4, 6, 15
Epo	2, 5, 6, 13	4, 10	2, 3, 7, 14, 15,
MEI	2, 5, 9, 13	4, 6, 13, 15	4, 5, 9, 13,
NAO	2, 6, 11	2, 3, 5, 6, 10, 11	3, 4, 12
Nina-1	3, 7, 15	2, 3, 4	3, 4, 6, 15
Nina-3	2, 5, 8	4, 6, 13	3 4, 5, 6
Nina-4	2, 5, 9, 13	2, 9, 13	2, 7, 13
Nina-34	2, 5, 9, 13	5, 6, 13	4, 6, 15
NTA	3, 5, 7, 10,	2, 4, 10,	2, 3, 10,
ONI	5, 6, 13	2, 13	2, 13
pacwarm	2, 3, 7, 10, 14,	2, 3, 11, 14	3, 11, 14,
PNA	3, 4, 10	2, 5, 6, 7 14, 15	3, 14
SOI	2, 9, 14,	2, 4, 5, 6, 13,	2, 4, 6, 14
solar	4, 13,	2, 12,	2, 4, 13,
swmnssoon	2, 15	2, 7, 13	4, 6, 13
TNA	3, 5, 7, 11,14,	2, 10	2, 3, 4, 10
TNI	2, 7, 13,	2, 7, 13	2, 9, 13
TSA	3, 4, 9, 15	4, 6, 10, 15,	4, 15
WHWP	2, 8, 11, 13	2, 13, 14	2, 9, 13
WP	2, 11	2, 3, 7	3, 6, 7

прямым следствием влияния на них солнечной активности, в спектре изменчивости которой период основной моды составлял 12 лет.

Для спектров изменчивости на протяжении большинства зимних месяцев индексов, связанных с явлением Эль Ниньо - Южное колебание, (BEST, Epo, MEI, Nina-1, Nina-4, Nina- 34, Nina-3, pacwarm, swmnssoon, WHWP, ONI, TNI) свойственно присутствие мод с начальными периодами 13-15 лет.

Присутствие мод с начальными периодами 5-6 лет во все зимние месяцы типично для изменчивости таких индексов как BEST, MEI, Nina-34, Nina-3.

В табл. 2 приведены установленные в результате расчетов значения начальных периодов наиболее мощных мод спектров межгодовых изменений климатических индексов в весенние месяцы.

Как следует из табл. 2, для месяцев относящихся к весеннему периоду, 2-3 летние моды, как и в зимние месяцы, присутствуют в спектрах изменчивости большинства климатических индексов.

Моды с начальными периодами 10-11 лет присутствуют в спектрах изменчивости всех «атлантических» индексов (АО, Amm, Amon.us, NAO, NTA, TNA) лишь в марте. В апреле и мае их не выявлено для таких важнейших индексов, как АО, NAO, TNA, NTA. Вместо них, как и в спектрах изменчивости индексов «Ниньо» (BEST, Epo, MEI, Nina-1, Nina-4, Nina- 34, Nina-3, pacwarm, swmnssoon, WHWP, ONI, TNI), в состав мод указанных процессов входят составляющие с начальными периодами 13 -15лет.

13-летняя мода является доминирующей также в спектре изменений солнечной активности. Выявленные особенности позволяют предполагать, что влияние этой моды, по мере приближения к лету, усиливается.

Таблица 2 - Значения начальных периодов наиболее мощных мод спектров межгодовых изменений климатических индексов в весенние месяцы

Индекс	Март	Апрель	Май
АО	4, 5, 11	4, 8	2, 3, 8, 9, 13
Amm	2, 11	2, 3, 11	2, 3, 11
Amon.us	2, 3, 11	3, 6, 11, 14, 15	2, 9, 4, 10
BEST	2, 4, 6, 15	2, 3, 4, 13,	7, 13
Epo	2, 9, 4, 7, 13	2, 10	2, 5, 9, 13, 15
MEI	4, 6, 13, 15	2, 3, 5, 6, 9, 15	2, 9, 15
NAO	2, 4, 5, 11, 14	2, 8	2, 4, 6, 15
Nina-1	2, 3, 5, 13	2, 10, 11, 15	2, 10
Nina-3	2, 5, 6	2, 6, 8	4, 13
Nina-4	2, 13	2, 5, 9, 13	2, 5, 6, 13
Nina-34	4, 5, 6, 9, 13	2, 13	4, 13
NTA	2, 10, 13	2, 13	2, 9, 13
ONI	2, 13	2, 13	2, 6, 13
Расwarm	2, 12, 14	3, 5, 11, 14	2, 14
PNA	2, 15	3, 5, 10, 14	3, 15,
SOI	2, 4, 9, 14	2, 4, 6, 8, 13,	7, 13
Solar	2, 4, 13	4, 13	2, 4, 13
swmnssoon	2, 3, 4, 5, 6, 10	2, 3, 4, 15	3, 10, 15
TNA	2, 5, 10,	3, 9, 13,	3, 9, 13
TNI	2, 5, 13	2, 5, 14	5, 14
TSA	4, 5, 15	2, 4, 5, 7, 15	3, 6, 14, 15
WHWP	3, 5, 10, 13	2, 8, 5, 9, 15	2, 5, 8
WP	2, 3, 13	6, 9, 8	4, 12

Для всех весенних месяцев спектры изменчивости таких индексов, как TNI, TSA, WHWP содержат значимые 5-6 летние моды.

В табл. 3 представлены результаты оценки начальных периодов наиболее мощных мод спектров межгодовых изменений климатических индексов в летние месяцы.

Из табл. 3 видно, что, как и в предыдущие сезоны, летом моды с начальными периодами 2-3 года преобладают в спектрах практически всех изучаемых индексов.

К числу наиболее часто встречающихся относятся также моды с периодами 13-15 лет. Не выявлены эти моды лишь для таких процессов как TNI) и solar (во все месяцы), а также:

АО, NTA, PNA и TNA - в июне;

SOI, Nina-3, NAO – в июле;

АО, Amon.us, Nina-1, Nina-34, ONI, PNA, SOI, WP в августе.

Значение начального периода наиболее мощной моды в спектре временных рядов межгодовой изменчивости солнечной активности (solar) для всех летних месяцев составляет 12 лет.



Таблица 3 - Значения начальных периодов наиболее мощных мод спектров межгодовых изменений климатических индексов в летние месяцы

Индекс	Июнь	Июль	Август
АО	2, 9	3, 15	2, 3, 8, 9, 11,
Amm	3, 13	3, 14,	4, 14,
Amon.us	4, 9, 10, 14	2, 4, 6, 7, 11, 15	2, 3, 6, 7, 11
BEST	2, 4, 8, 9, 13, 15	2, 5, 6, 7, 15	2, 4, 6, 13, 15
Epo	2, 3, 4, 11, 14	2, 4, 14	2, 15
MEI	6, 13, 15	2, 6, 15	2, 6, 15
NAO	3, 5, 8, 11, 14	2, 5	7, 8, 9, 10, 12, 14
Nina-1	2, 3, 5, 10, 13	3, 10, 14, 15	3, 5, 10
Nina-3	4, 13	2, 5, 6,	2, 6, 13
Nina-4	2, 9, 13,	2, 4, 7, 15,	2, 5, 6, 7, 15
Nina-34	2, 9, 13,	2, 5, 6, 15	2, 5, 6,
NTA	2, 9,	2, 9, 14	4, 8, 9, 14
ONI	2, 13,	2, 5, 9, 13, 14	2, 4
pacwarm	2, 9, 10, 13, 14,	2, 14	4, 7, 14
PNA	6, 8, 11	3, 4, 7, 13	3, 7, 11
SOI	2, 4, 5, 8, 14	2, 5	2, 4
Solar	4, 12	2, 12	2, 12
swmnsoon	6, 10, 15	3, 8, 14	2, 3, 6, 7, 8, 10, 15,
TNA	3, 9	9, 3, 9, 11, 14, 15	4, 6, 7, 11, 15
TNI	3, 5, 11	3, 5, 11	3, 6, 11
TSA	3, 14	2, 3, 4, 15	2, 4, 6, 14
WHWP	2, 15	2, 4, 15	3, 4, 10, 15
WP	2, 3, 8, 9, 10, 15	2, 8, 15	3, 6, 12

Моды с начальным периодом 10-11 лет на протяжении всех летних месяцев присутствуют в спектрах изменчивости таких индексов, как TNI, Nina-1, Amon.us. Число индексов, для которых данные моды выявлены в августе больше (9), чем в июне (8) и чем в июле (4). Последнее позволяет предполагать, что по мере приближения к осени процессы в климатической системе, порождающие данные моды усиливаются.

Моды с периодами 5, 6 лет на протяжении всех летних месяцев выявлены во временных рядах соответствующих таким индексам, как TNI, MEI.

Результаты расчетов начальных периодов наиболее мощных мод спектров межгодовых изменений климатических индексов в осенние месяцы приведены в табл. 4.

Воспользовавшись табл. 1-4, построены графика отображающие зависимости от номера месяца количества индексов, спектры изменчивости которых содержат моды с теми или иными значениями начальных периодов, приведенные на рис. 1.

Из рис.1 следует, что все рассматриваемые характеристики климатической системы существенно зависят номера месяца. Максимальные количества индексов, в спектрах которых содержатся моды с начальными периодами 2-3 года, имеет место в январе, апреле и июле, а их минимальные количества – в октябре. Более всего индексов, в спектрах которых содержатся моды с периодами 4-5 лет, 6-7 лет и 8-9 лет, приходится на март, август и июнь соответственно.

Таблица 4 - Значения начальных периодов наиболее мощных мод спектров межгодовых изменений климатических индексов в осенние месяцы

индекс	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
AO	3, 6, 11	4, 11, 15	3, 6, 10,
Amm	4, 6, 9, 11, 14	4, 11	3, 4, 6, 8, 10
Amon.us	2, 3, 7, 11	2, 4, 8, 11	2, 4, 8, 11
BEST	4, 6, 13, 15	2, 9, 13	2, 6, 9, 11, 13,
Epo	2, 3, 4, 11, 15	2, 3, 6, 8, 12	2, 3, 4, 13
MEI	4, 6, 15	4, 5, 6, 13, 15	2, 5, 9, 13, 15
NAO	3, 6, 7, 10, 11, 15	3, 4, 9, 12	2, 7, 15
Nina-1	2, 13	2, 7	2, 11
Nina-3	2, 8	2, 8	2, 5, 8
Nina-4	2, 13, 15	2, 9, 13, 15	2, 6, 9, 13, 15
Nina-34	4, 8	4, 8	4, 5, 8
NTA	2, 4, 5, 8, 10, 14	2, 9, 14	5, 7, 9, 10, 14
ONI	5, 6, 13	5, 7, 13	5, 9, 13
pacwarm	2, 6, 14	3, 7, 14	3, 4, 7, 11, 14
PNA	2, 3, 9, 12	2, 4, 15	2, 4, 8,
SOI	2, 3, 13	2, 6, 14	2, 6, 13
solar	2, 4, 12	4, 13	2, 12
swmnsoon	2, 9, 14	3, 15	2, 14
TNA	4, 5, 7, 11, 13, 15	2, 4, 14	2, 5, 7, 10
TNI	2, 11	6, 11	2, 7, 11
TSA	2, 7, 10, 13, 14	2, 6, 14	2, 3
WHWP	2, 4, 8, 9, 15	2, 7, 15	2, 11, 15
WP	2, 5, 14	2, 11	2, 3

Практически противофазно изменяются в зависимости от месяца количества климатических индексов, в спектрах изменчивости которых, присутствуют моды с периодами 10-11 и 13-15 лет.

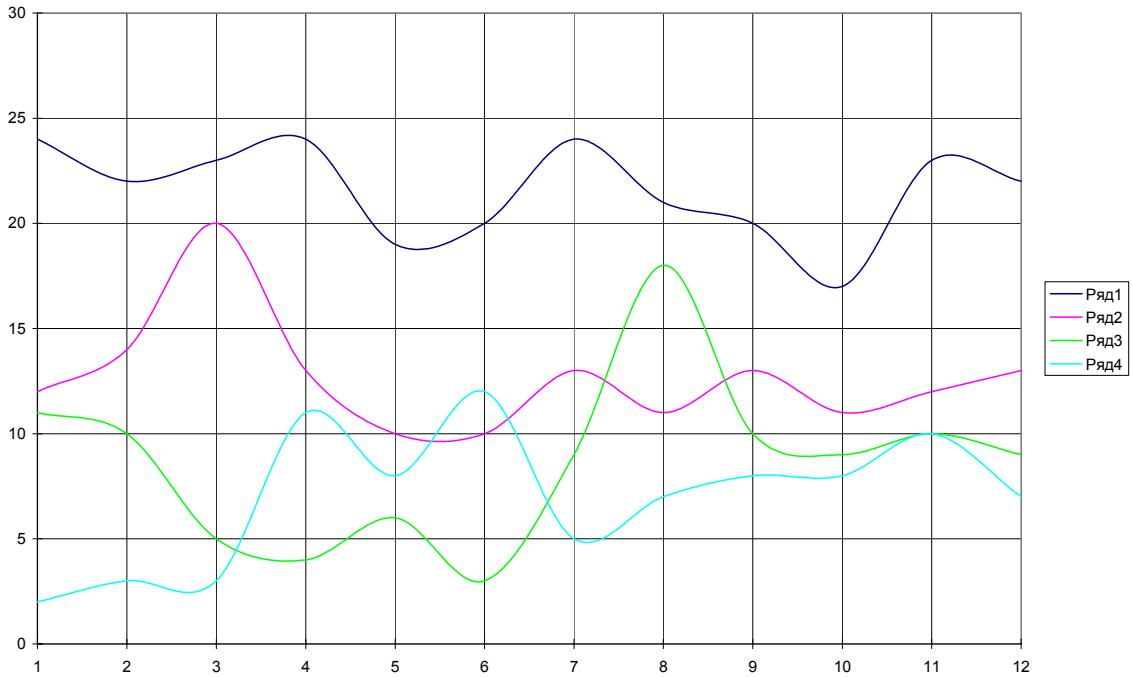
Поскольку при построении рассматриваемых графиков учитывались важнейшие крупномасштабные процессы в обоих полушариях планеты, выявленные особенности свидетельствуют о том, что характеристикам динамики всей ее климатической системы свойственна существенная сезонная изменчивость, обусловленная сезонными изменениями потока поступающей на нашу планету солнечной радиации и асимметричностью распределения по ее поверхности материков и океанов.

#### **Выводы**

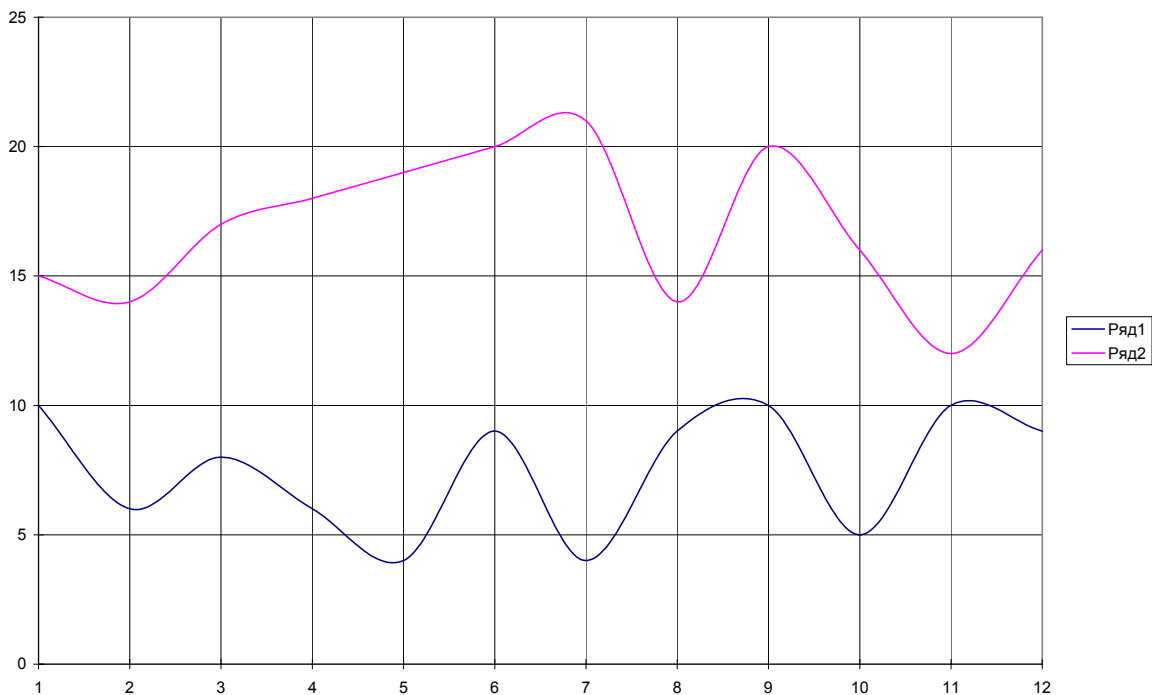
1. Спектры межгодовой изменчивости состояний важнейших крупномасштабных процессов в климатической системе планеты, оцененные за период с 1950 по 2008 г.г. для различных месяцев являются мультимодальными, что свидетельствует о возможности использования при оценке их параметров метода нестационарных мод.

2. Периоды наиболее мощных мод этих процессов существенно зависят от времени года. Эти зависимости для каждого рассматриваемого процесса уникальны. Тем не менее, их общей закономерностью является присутствие в спектрах всех рассматривавшихся процессов мод с периодами 2-3 года.

3. Для процессов, происходящих в Северо-Атлантическом регионе (включая тропическую зону Атлантики), свойственна общая закономерность: повторяемость в спектрах их межгодовой изменчивости мод с периодом 10-11 лет в месяцы с ноября по январь возрастает, а в апреле- мае – снижается.



А) моды с начальными периодами 2-3 года (ряд 1), 4-5 лет (ряд 2), 6-7 лет (ряд 3), и 8-9 лет (ряд4).



Б) моды с начальными периодами 10-11 лет (ряд 1), 13-15 лет.

Рис. 1- Зависимость от номера месяца количества климатических индексов в спектрах изменчивости которых, присутствуют моды с теми или иными начальными периодами.

4. Общей особенностью процессов, существующих в Тихоокеанском регионе, а также связанных с феноменом Эль-Ниньо Южное колебание, является наличие в спектрах их межгодовой изменчивости практически в любые месяцы мод с периодами 13-15 лет, повторяемость которых максимальна в июле, июне и сентябре.

5. Выявленные особенности спектров крупномасштабных процессов в климатической системе планеты свидетельствуют о том, что аналогичные свойства могут быть присущи изменениям характеристик режимов увлажнения территорий ее водных бассейнов, что целесообразно учитывать при моделировании и прогнозировании динамики ее водных ресурсов.

### Список литературы

1. *Барабанов В.С.* Глобальная и региональная климатическая изменчивость. // Развитие морских наук и технологий в Морском гидрофизическом институте за 75 лет. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004. – С.442 – 468.
2. *Полонский А.Б.* Влияние крупномасштабных процессов в системе океан- атмосфера на изменения Черноморского климата. // Международная научная конференция «Геополитические и географические проблемы Крыма в многовекторном измерении Украины»: сб. науч. тр. – Севастополь, 2004. – С.248 – 249.
3. *Воскресенская Е.Н.* Влияние крупномасштабных атмосферных процессов на формирование гидрофизических и гидробиологических условий северо-западной части Черного моря в зимний период. // Морской гидрофизический журнал. – 2004. – № 6. – С.29 – 36.
4. *Chiang, J. C. H., and Vimont D. J.:* Analogous meridional modes of atmosphere-ocean variability in the tropical Pacific and tropical Atlantic. *J. Climate*, 17(21), 2004. – 4143-4158 pp.
5. *Enfield D.B., Mestas-Nunez A. M. and Trimble P.J.:* The Atlantic multidecadal oscillation and it's relation to rainfall and river flows in the continental U.S.. *Geophysical Research Letters*, Vol. 28, 2001. -2077-2080 pp.
6. *Wolter, K., and Timlin M.S.:* Measuring the strength of ENSO - how does 1997/98 rank? *Weather*, Vol. 53, 1998. - 315-324pp.
7. *Penland, C., and Matrosova L.,* "Prediction of tropical Atlantic sea surface temperatures using Linear Inverse Modeling," *J. Climate*, 1998, March, 483-496 pp.
8. *Enfield, D.B., Mestas A.M., Mayer D.A., and Cid-Serrano L.,* 1999: How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures? *JGR-O*, 104, 7841-7848.
9. *Wang, C., and D.B. Enfield,* 2001: The tropical Western Hemisphere warm pool, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1635-1638.
10. *Мильков Ф.Н.* Ландшафтная сфера Земли. – М. : Мысль, 1970. – 207 с.
11. *Будыко М.И.* Глобальное потепление и его последствия // *Метеорология и гидрология*. – 1991. – № 12. – С.5 – 10.
12. *Вишневецький В.І.* Вплив кліматичних змін і господарської діяльності на термічний і льодовий режими річок/ В.І. Вишневецький // *Наук. праці УкрНДГМІ*. – 2002. – Вип. 250. – С.121 – 137.
13. *Волощук В.М.* Глобальне потепління і клімат України: регіональні екологічні та соціально-економічні аспекти. – К.: ВПЦ Київський університет. 2002. – 115 с.
14. *Кондратьев К.Я.* Глобальные изменения климата и круговорот углерода. // *Изв. РГО*. – 2001. – Т.132. – Вып.4. – С.4 – 20.
15. *Джоунс Ф.Д.* Тенденции глобального потепления // *В мире науки*. – 1990. – № 10. – С.62 – 70.
16. *Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assesment Report Four of the Intergovernmental Panes of Climate Change (IPCC).* Cambridge Unsversity Press. – Cambridge. UK, 2007.– 973 p.
17. *World water resources at the beginning of the 21st century.* Progett of IHP UNESCO./Ed. Shiklomanjv I. A. St Peterburg. 1999. – 395p.
18. *Джамалов Р. Г.* Изменение многолетних характеристик подземного стока под влиянием климата и антропогенных воздействий. // *Водные ресурсы*. 2008. т. 35. №1. – с.17-24.
19. *Джамалов Р.Г.* Изменение многолетних характеристик стока рек ЕТ России в начале XXI века. // Сборник трудов Всеукраинской конференции «Стратегические проблемы водопользования России». М. – Азов. -2008. –С. 333-344.
20. *Тимченко З.В.* Синхронность колебаний среднегодовых расходов воды на реках Крыма. // Тематический сборник научных трудов «Экосистемы Крыма, их оптимизация и охрана». 2006. – С. 157-160.
21. *Кравцова В.И.* Изменение размеров термокарстовых озер в различных районах России за последние 30 лет. // *Криосфера Земли*. 2009. т. XIII - №2. - С.16-26.
22. *Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю.* Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата. - Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда, секция 3, часть II. -Москва, Метеоагентство Росгидромета, 2008, с.159-163.

23. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Влияние изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек России. - В кн. «Гидрологические последствия изменения климата», Новосибирск, 2007, 192-204.
24. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю., Балонишников Ж.А. Влияние изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы и социально-экономические последствия, проблемы адаптации и снижения негативных последствий. - Метеоспектр, Вопросы специализированного гидрометеорологического обеспечения, 2007, №2 с.46-69.
25. Семенов В.А., Алексеева А.К., Дегтяренко Т.И. Изменения стока рек России и прилегающих территорий в XX столетии // Метеорология и гидрология. 1994. № 2. С.76-83.
26. <http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/>
27. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/index.shtml>
28. [http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/from NOAA/ESRL PSD](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/from%20NOAA/ESRL%20PSD)
29. [http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)
30. [http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/results?op\\_0=eq&v\\_0=Penticton\\_Observed&t=102827&s=4&d=8&d=22&d=9](http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/results?op_0=eq&v_0=Penticton_Observed&t=102827&s=4&d=8&d=22&d=9) For NGDC.
31. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>
32. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/Pressure/TimeSeries/TNI/>
33. Норман Дрейпер, Гарри Смит. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия = Applied Regression Analysis. — 3-е изд. — М.: «Диалектика», 2007. — 912с.
34. Чавкин А.М. Методы и модели рационального управления в рыночной экономике.- М.: Финансы и статистика, 2001. — 320 с.
35. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии/ А.В. Рождественский, А.И. Чеботарев — Л.: Гидрометеоздат, 1974. — 424 с.
36. Дженкинс Г. Спектральный анализ и его приложения. — М.: Мир, 1971 — Т. 1. — 316 с.; 1972. — Т. 2. — 288 с.
37. Бриллинджер Д. Временные ряды. Обработка данных и теория. — М.: Мир, 1980.- 536 с.
38. Жубренко И.Г. Спектральный анализ временных рядов. М.: Изд-во МГУ. — 1982. — 168с.
39. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. — М.: Физматлит, 2006. — 816 с.
40. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ / Т. Андерсон. — М. : Физматгиз, 1963. — 560 с.
41. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс; пер. с англ. Л.Л. Левшина; под ред. В.Ф. Писаренко— М. : Мир, 1974. — 197 с.
43. Холопцев О. В. Аналіз та прогноз природних складових сучасної просторово-часової мінливості ландшафтних комплексів рівнинної України. // Автореферат на здобуття вченого ступеня доктора географічних наук. ОНУ ім.І.І. Мечнікова. Одеса. — 2010. — 43с.
44. Холопцев А.В. Особенности энергетических спектров межгодовой изменчивости общего содержания озона над территорией Украины в период с 1979 по 2006 г. // Причерноморский экологический бюллетень. — Одесса. — 2009. — №1(31). — С.186 — 197.
45. Расстригин Л. А. Способ автоматической настройки многопараметрических систем автоматического управления и регулирования на заданные условия. АС СССР №129701 (Заявлено 17 августа 1959 г.), класс G05d 27/00.
46. Чипига А.Ф., Колков Д.А. Анализ методов случайного поиска глобальных экстремумов многомерных функций // Фундаментальные исследования. — 2006. — № 2 — С. 24-26

**Особливості спектрів міжрічних мінливостей великомасштабних кліматичних чинників динаміки водних ресурсів планети в період з 1950 по 2009 рр. Холопцев О.В., Некос С.В.**

*Досліджені залежності від пори року періодів найбільш потужних мод спектрів міжрічної мінливості значень найважливіших кліматичних індексів. Визначені відміни загальних особливостей спектрів великомасштабних процесів, що відбуваються у Північно-Атлантичному регіоні, по відношенню до процесів у Тихоокеанському регіоні та пов'язаних з феноменом Ель Ніньо - Південне коливання.*

**Ключові слова:** спектр, часовий ряд, кліматичний індекс, період моди, моделювання.

**Features of spectrums of interannual changes of large-scale climatic factors of dynamics of aquatic resources of planet, in a period from 1950 to 2009. Holopsev A.V., Nekos S.V.**

*Dependences are studied on the season of periods of the most powerful fashions of spectrums of interannual changeability of values of major climatic indexes. The differences of general features of spectrums of large-scale processes are educed in the Северо-атлантическом region in relation to processes in the Pacific region and by El Niño related to the phenomenon – South oscillation.*

**Keywords:** spectrum, temporal row, climatic index, period of fashion, design.