

## **НОВІ НАПРЯМИ, ІННОВАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

УДК 504+ 911.5 + 631.95

**С. П. СОНЬКО**, д-р геогр. наук, проф.  
*Уманський національний університет садівництва*

**Н. В. МАКСИМЕНКО**, канд. геогр. наук, доц.  
*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

### **ЕВОЛЮЦІЯ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ, ЯК ГОЛОВНИЙ ЧИННИК ПЛАНУВАННЯ АГРОЛАНДШАФТУ (екологічні надії та розчарування)**

Розглядається історія планування агроландшафту, як наслідок еволюції механічного обробітку ґрунту. На основі глибокого літературного пошуку висвітлені ключові моменти зміни чинників формування агроландшафту. Зроблено детальний аналіз еволюції засобів обробітку ґрунту і її екологічних наслідків.

**Ключові слова:** агроландшафт, ландшафтне планування, ґрунти, механічний обробіток, землеробство, еволюція

### **Сонько С. П., Максименко Н. В. ЭВОЛЮЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ КАК ГЛАВНЫЙ ФАКТОР ПЛАНИРОВАНИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ (ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НАДЕЖДЫ И РАЗОЧАРОВАНИЯ)**

Рассматривается история планирования агроландшафта, как следствие эволюции механического возделывания почвы. На основе глубокого литературного поиска освещены ключевые моменты изменения факторов формирования агроландшафта. Сделан детальный анализ эволюции средств возделывания почвы и его экологических последствий.

**Ключевые слова:** агроландшафт, ландшафтное планирование, почва, механическое возделывание, земледелие, эволюция

### **Sonko S., Maksimenko N. EVOLUTION OF TILLAGE AS THE MAIN FACTOR AGROLANDSCAPES PLANNING (ENVIRONMENTAL HOPES AND DISAPPOINTMENTS)**

History of planning of agro-landscape is examined, as a result of evolution of mechanical till of soil. On the basis of deep literary search the key moments of change of factors of forming of agro-landscape are lighted up. The detailed analysis of evolution of facilities of till of soil and his ecological consequences is done.

**Keywords:** agro-landscape, landscape planning, soil, mechanical till, agriculture, evolution

### **ВСТУП**

*«Тремтячими руками я відвернув пробку флакону з психотропною рідиною і ледь вдихнув різкий мигдалевий запах... потім протер очі і остовпів. Прекрасний, покритий килимами зал з пальмами, із столами, заставленими кришталем, з майоліковими стінами і оркестром, під музику якого ми смакували печеню – зник. Ми сиділи в бетонованому бункері за грубим дерев'яним столом, під ногами лежала пошарпана солом'яна ряднина. Музика лунала як і раніше – але з репродуктора, який висів на іржавому дроті. Замість люстр, що виблискують кришталем - голі, запилені лампочки. Але найжахливіше перетворення сталося на столі. Білосніжна скатертина зникла; срібне блюдо із запече-*

*ною в грінках куріпкою обернулося дешевою тарілкою із сіро-коричневим місивом, яке прилипало до алюмінієвої виделки... У заціпенінні дивився я на цю гидоту, яку тільки що із задоволенням їв, насолоджуючись хрускотом підрум'яненої скориночки...*

*Гілки пальми, що стояла неподалік, виявилися мотузками від кальсонів: якийсь суб'єкт сидів в компанії трьох приятелів прямо над нами – не на антресолі, а, скоріше на полиці, настільки вона була вузька. Тиснява тут панувала неймовірна! Я боявся, що очі в мене вилізуть з орбіт, але страхітливе видіння застигло і стало знову розливатися, немовби за велінням чаклуна. Мотузки над моєю головою зазеленіли і знову покрилися*

листя, помийне відро що смердить за мило, перетворилося на різьблений квітковий вазон, брудний стіл заіскрився білосніжною скатертиною. Заблискали кришталеві чарки, сіре місиво повернуло собі витончені відтінки печені; де належить, вирости у нього ніжки і крильця; старовинним сріблом заблищав алюміній, фраки офіціантів знову замигтіли навколо. Я поглянув під ноги – солома обернулася персидським килимом, і я, знову оточений розкішшю, вступився у рум'яну грудку куріпки, важко дихаючи, не в силах забути того, що за нею ховалося...

– То що ж це за гидота?!

– Та ні, це не отрута яка-небудь. Це концентрат із трави і кормового буряка, вимочений в хлорованій воді і змішаний з рибним борошном; зазвичай туди ще додають вітаміни і кістковий клей і все це присмачують мащувальним мастилом, щоб не застрягло в горлі. Ви не відчули запаху?

– Відчув! Навіть дуже відчув!!!

– Ось бачите.

– Ради Бога, професор, відповідайте, що це? Обман? План винищення всього людства? Диявольська змова?

– Та що ви! Диявол тут ні до чого. Це просто світ, в якому живуть двадцять з гаком мільярдів людей. Звідки в ньому візьмуться куріпки та інші делікатеси? Останні куріпки вимерли чверть століття тому. Наш світ – давно вже мрець, але той, що чудово зберігся, оскільки його все майстерніше муміфікують. У маскуванні ми досягли неабияких успіхів...»

Цей уривок з повісті Станіслава Лема «Футурологічний конгрес» наведена тут не випадково. Знаючи великий дар передбачення талановитого польського письменника, з жахом починаєш думати про недалеке майбутнє, адже дія повісті відбувається десь наприкінці 21 століття... Тим більше, що з першими ознаками такого «маскування» ми знайомі вже сьогодні не лише після перегляду передач типу «Ілюзія безпеки» а й з власного стану здоров'я. Нажаль, на сьогодні це наскільки очевидно і небезпечно, що робить обговорення цієї проблеми актуальним не лише з громадських а й з наукових позицій.

Проте, футурологія – наука доволі суб'єктивна, аби замінити собою наукові факти. Ці факти найшвидше можна знайти у історії – або череді здійснених подій, з яких можна вибудувати певні закономірності.

Власне, знаходження таких екологічних закономірностей формування агроландшафту на основі різного обробітку ґрунту і є **головним завданням** цієї статті.

**Постановка проблеми.** Напевне, після прочитання уривку з повісті С.Лема більшість з нас пригадають славнозвісного Томаса Роберта Мальтуса з його теорією народонаселення. Незважаючи на різне до неї ставлення, життя щодня надає нам факти її дієздатності. Нажаль, на підтвердження здогадок Мальтуса можна навести дані, перелік джерел яких займе не одну сторінку, але на одне з них пошлемося: «За 100 років (1882–1982) вміст гумусу в ґрунтах України знизився на 0,97%, при цьому майже половину його (0,44%) втрачено за 1960–1970 роки, що збігається з початком інтенсифікації землеробства. Фактичні втрати гумусу в староорних чорноземах України становлять 20–30% початкового його запасу. В слабоеродованих ґрунтах у метровому шарі рівень гумусу знижується порівняно з повнопрофільними на 10 - 20%, середньоеродованих – 20-30, а в сильноеродованих на 30–80%» [5].

Окрім негативного впливу на родючість ґрунтів на регіональному рівні, землеробству належить значний внесок в накопичення атмосферного вуглецю на глобальному. Загальна кількість його від початку неолітичної революції до наших днів оцінюється в 180 млрд. т, тоді як індустріальні викиди CO<sub>2</sub> на момент 1980 року по тих же оцінках склали 160 млрд. т вуглецю [4,7].

Глобальний парниковий ефект, до якого призводить накопичення вуглецю ще більше поглиблюється в результаті зведення лісів під сільськогосподарські землі. Закидаючи виснажені землі, древні землероби переходили на нові, браку яких в ту пору не відчувалося, а найпростішим способом розчищення землі була підсічно-вогнева технологія. Тільки до епохи промислової революції на Землі за різними оцінками було знищено від 30 до 50% лісів, ще 9% лісів, насамперед тропічних, було зведено за останні 200-300 років, і, на жаль, цей процес продовжується. Площа природних лісів продовжує скорочуватися приблизно на 1% за рік.

Враховуючи регулюючу роль лісів у фіксації атмосферного вуглецю в процесі фотосинтезу, сьогодні мова йде про нищівний внесок землеробства у руйнування або

деформацію природних екосистем (лісових, тропічних, степових, лісотундрових і так далі). Так, якщо на рубежі XIX - XX століть території з повністю зруйнованими люди-

ною екосистемами займали тільки 20% суходолу, то до кінця XX століття вони охоплювали вже 63,8% [7].

### МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для адекватної оцінки впливу різних засобів механічної обробки ґрунту на умови формування і планування агроландшафту проведено глибокий літературний пошук, аналіз і синтез отриманої інформації. Окрім того, для наукового розуміння руйнівних тенденцій в агроландшафтах використано закони термодинаміки. Саме вони можуть пояснити фізичну суть обробітку з позицій ентропії в замкнутій системі і у сукупності з ученням В. І. Вернадського про ноосферу

можуть слугувати *методологічною основою* тлумачення підйомів, спадів і застоїв в історії розвитку наукових і практичних основ механічного обробітку ґрунту [9].

Власне, екскурс у історію землеробства має посприяти розумінню цього непомітного, а тому і страшного процесу [12], а, відтак, і відповідної еволюції обробітку ґрунту – на зорі історії: від «міні» до «максі», і вже сьогодні: від «максі» до «міні».

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виникнення землеробства у його первісному вигляді більшість істориків прив'язують до неоліту – заключного етапу кам'яної доби, який розпочинається з VI тисячоліття до н.е. Дехто з істориків [15] схиляється, до думки, що землеробство стало закономірним етапом розвитку скотарства, яке зародившись ще на початку палеоліту (близько 80-120 тис. років тому) пройшло складний шлях від кочового до осілого. За даними М. І. Вавилова [2], воно виникло ще у верхньому палеоліті, тобто близько 50 тис. років тому. Перші кам'яні землеробські знаряддя, знайдені в Палестині, датовані 8-10 тисячоліттям до н.е. За іншими оцінками вік культурного землеробства нараховує від 13 до 17 тис. років [17].

Власне, землеробство поставило жирну крапку на складному і довготривалому шляху людства у напрямку осілості. Поява цих двох видів господарської діяльності знаменувала перехід людини від привласнюючих форм, при яких вона користувалася лише тим, що надавала природа, до відтворюючого господарства, в умовах якого людство вирощувало продукти землеробства не тільки для харчування, але й для обміну. Ці події стали настільки значними в історії виду *Homo Sapiens*, що отримали назву неолітичної революції і дали право видатному мислителю В. І. Вернадському називати цей звитязний вид у своїх роботах *Homo Sapiens Faber*, або людиною, озброєною знаряддями праці.

Таким чином, озброєна знаряддями праці людина, розпочала складний і довготривалий процес формування агроландшаф-

ту, який на перших етапах свого існування майже не використовував елементів планування і був за своєю суттю стихійним.

Подальший розвиток, особливо землеробства і осілого скотарства, приводить до поступового «закріплення» людей до певної території. Землеробські поселення виникають насамперед поблизу річок, біля яких земельні ділянки зберігали більше вологи, та рибалити було зручніше. З зернових культур вирощували пшеницю, ячмінь, жито, овес, просо, які потрапили до Європи з Близького Сходу. В порівнянні з сучасними сортами пшениці, неолітична пшениця, хоча і давала набагато менше врожаю, зате росла на засушливих і навіть кам'янистих ґрунтах, була більш стійкою до всляких захворювань [23].

Застосування людиною обробітку ґрунту за допомогою «землекопальної палиці» з метою вирощування придатних для харчування рослин, історична наука так само датує епохою неоліту на різних його етапах, залежно від регіональних особливостей природних умов. Ефективність землеробської діяльності первісної людини помітно зросла, коли на зміну «землекопальної палиці» прийшло більш досконале знаряддя для обробітку ґрунту – мотика. Первісна доба – найтриваліша в історії людства. Вона тривала з появи перших людей (за різними оцінками від 5 до 3 млн. років тому) до виникнення стародавніх цивілізацій (IV- III тис. до н.е).

Удосконаленню засобів і знарядь обробітку ґрунту посприяв розвиток так званих «гідралічних» цивілізацій, основою землеробства у яких було зрошення. Так, на висо-

коврожайних, поливних землях долини річки Ніл єгиптяни винайшли *соху*, навчилися виливати з міді ножі, сокири, наконечники стріл, посуд. Проте найбільшим їхнім господарським досягненням стала зрошувальна система землеробства, яка перетворила Єгипет у могутню централізовану державу, квітучий оазис світу.

Саме поливне землеробство зумовило появу в процесі формування агроландшафту перших спроб планування, оскільки створення штучних оазисів потребувало певних наукових знань і вміння їх застосування на практиці.

Іншим прикладом планування агроландшафту у давніх цивілізаціях є Месопотамія. У долинах річок Тигр і Євфрат місцеві жителі також успішно займалися землеробством, зводили греблі, канали, інші іригаційні споруди. Найпоширенішими сільськогосподарськими культурами тут були ячмінь, просо, льон, горох, цибуля, часник, огірки, виноград, яблуні.

Аналогічним типом планування агроландшафту є зрошувальне землеробство в долинах річок Інд і Ганг в Індії та Хуанхе і Янцзи у Китаї, яке зародилося вже у IV тис. до н.е. На високоврожайних полях землероби збирали по два урожаї в рік бавовни, цукрової тростини, рису, пшениці, проса, льону та інших культур [19].

Наступним етапом в історії планування агроландшафту стала епоха феодалізму (V-VI ст. н.е.). Для неї характерною особливістю є широке використання у виробничих процесах природних енергетичних ресурсів – вітрових і водних. Вітрові і водні двигуни вперше були використані в млинах, на мануфактурах. Роль тягової сили в господарських процесах виконують воли, коні, інші домашні тварини. Власне, зародження сучасного землеробства, як самостійної і згодом механізованої галузі відтворювального господарства, доречніше прив'язувати не до освоєння людиною мотикового обробітку ґрунту та вирощування окремих злакових і зернобобових культур, а до обробітку ґрунту першими елементарними знаряддями, в які впрягли одомашнену худобу – волів, коней, буйволів. Це була важлива технологічна революція в історії людства. Сучасні експерименти з археологічними моделями примітивних дерев'яних

плугів засвідчили підвищення продуктивності праці порівняно з мотичним обробітком у 50 разів. Це було основною передумовою переходу від привласнювальної до виробничої діяльності людства [14].

Населення Київської Русі вже володіло прийомами орного землеробства. Насамперед за це говорять мовні дані, зокрема, такі слова як «орати», «рало», «плуг» є загальнослов'янськими, так само, як слова «яр» і «ярина», «озим» і «озимина». А це свідчить про те, що орна техніка була відома слов'янам. Про поширення орного землеробства говорить також і те, що лемеші знайдені в об'єктах археологічного дослідження тих слов'янських племен, які не можна було причислити до найбільш розвинутих з суспільно-економічного погляду. Зокрема Б. О.Рібакову [11] вдалося знайти лемеші в дереговичів, що належать до IX ст. При цьому В. І.Равдонікас [10] відзначає, що лемеші могли бути і дерев'яні. Літописні дані також вичерпно вказують, що населення Київської Русі перейшло на орну техніку, зокрема, радимичі й в'ятичі платили данину з рала і плуга [26]. У «Повести временных лет» згадується рало (964 р.) і плуг (984 р.), як податкові одиниці. У «Руській правді» є спеціальні статті, присвячені охороні землеробського знаряддя. З таких знарядь перші писемні свідчення називають рало й плуг. Одне з перших свідчень про соху в писемних пам'ятках наводить В. Н. Татищев, який передає літописне повідомлення про виплату Золотій Орді у 1275 році великим князем Василем Ярославовичем данини «со всея земли по полугривне с сохи» [9].

Визначне місце як у історії формування і планування агроландшафту та механічного обробітку ґрунту, так і у формуванні українського етносу займають землеробські прийоми цілої археологічної епохи, відомої усім як Трипільська культура. Ці давні люди вже були не первісним суспільством, а суспільством з атрибутами цивілізації, фундаментом якої стало впровадження землеробства. За всю історію еволюції агроландшафту ніщо не мало такого суттєвого впливу на життя людини, як перехід до рільництва. Без свідомого вирощування рослин з допомогою достатньо ефективних знарядь праці, яке забезпечувало створення надлишків продуктів харчування, була б неможливою поява агроландшафту і,

власне практики його планування, як атрибуту цивілізації [21].

Переходячи до відтворюючих технологій ведення господарства, трипільці поєднали землеробство з тваринництвом. Вони вирощували пшеницю, ячмінь і овес, розводили велику рогату худобу, свиней, овець і кіз, а биків і коней використовували як тяглову силу. Оралі трипільці ралом, а жали серпами з дерева і рога з кременевими вставками, на яких були вирізані зубці.

Найбільшим досягненням трипільців є розробка зональної системи землеробства, що згідно сучасного ландшафтознавства, є загальнонауковою закономірністю планування агроландшафту. Власне, землеробство неолітичної східної Європи найкраще вивчено саме на поселеннях трипільської культури. Трипільці помітили, що рослини можна висівати, а урожай буде кращим, якщо ґрунт завчасно розпушити. Першим інструментом для розпушування була примітивна мотика – дерев'яна палиця з прив'язаним до неї плескатим і видовженим каменем (макролітом). Згодом мотики виготовлялися переважно з кісток і рогів тварин. Більш функціональним інструментом ставав, коли у ньому робили круглі отвори, куди вправлялися кінці палиць. Пізніше до мотичного землеробства додалося орне, продуктивніше: трипільці користувалися вже ралом, сохою, плугом.

Трипільцям Полісся та лісостепу було відоме підсічне та вирубне землеробство: коли ґрунти унаслідок примітивної обробки переставали родити та заростали бур'янами, їх полишали і шукали нові землі. Водночас відомо, що трипільці бережно ставилися до землі і мали цілу низку заходів, аби підвищити її плодючість: попіл по спалюванні лісу, органічні добрива приселищного скотарства тощо. Особливої уваги варте так зване приселищне землеробство, хоча і воно не могло цілковито задовольнити людей продуктами харчування. Перші поля нагадували скоріше городи, бо були невеликими за розмірами ділянками. Трипільці мали достатню оснащеність знаряддями землеробської праці, які дозволяли збирати урожай на значних площах (4-5 тисяч га) [25].

Особливе місце у історії механічного обробітку ґрунту займає винайдення плуга. Власне, плуг розвинувся з особливого інструменту стародавніх землеробів, який сучасні учені охрестили землекопальною

або бороженою палицею. За допомогою цієї палиці землероб прокладав в полі борозни, що ділять його на гряди. Відмінною рисою цих палиць була робоча частина, спрямована під гострим кутом до рукоятки. Використання їх подало думку стародавнім землеробам, що ґрунт можна обробляти не копанням, як це робилося раніше, а волочінням. Тоді, мабуть, і з'явився прообраз плуга – роздвоєна палиця із загостреним кінцем (тут вже видно у зародку дишло і леміш). Упрігшись в такий пристрій, землероб тягнув його за собою, проробляючи борозну. Звичайно, використовувати таке знаряддя можна було лише на дуже м'яких ґрунтах, вже розпушених багаторічною обробкою, де не було ні каменів, ні дерну. Для того, щоб орати твердіші ґрунти, необхідно було посилювати натиск на леміш. Так була винайдена рукоятка. Плуги приводилися в рух силою людини. Зрозуміло, селянина обтяжувала така робота, і через деякий час він почав запрягати в плуг биків. Спочатку люди просто прив'язували плуг до рогів волів, пізніше з'явилися ярмо і примітивна збура. Швидкість обробки землі відразу зросла у декілька разів, а сама робота полегшилася.

Перші плуги виготовлялися з кореневищ дуба, буку, клена і деяких інших дерев і були цілісними шматками дерева. Потім леміш почали укріплювати залізом. Минуло багато років, перш ніж в плузі були зроблені подальші удосконалення. Їх приписують античним землеробам Греції та Риму, де плуг в його примітивному вигляді стали застосовувати ще до нашої ери. Зважаючи на рабський характер праці і незацікавленість в зв'язку з цим в удосконаленні землеробських знарядь в згаданих античних державах тривалий час використовувався примітивний плуг подібний скоріше до рала. Але ще довгий час і, навіть, одночасно з плугом використовувалась мотика [18].

Проте, вже в I столітті нашої ери у творах римського письменника Плінія описаний плуг, який, на відміну від попередніх, забезпечений колесом, ножем і полицевими дошками. Колесо не давало плугу входити дуже глибоко в землю, ніж служив для того, щоб надізнати дерен. Важливим нововведенням була полиця. Призначення полиці – перевертати дерен, який зрізали ніж і леміш. Плуг без полиці під час руху лише розпушував ґрунт. Полиця перевертала дерен таким чином, що

бур'ян опинявся під землею. Винахід полиці був величезною подією в історії плуга. У такому вигляді плуг проіснував аж до кінця середніх віків, коли до нього були внесені нові удосконалення.

У римському плузі гряділь (деталь, до якої кріпляться всі робочі частини і чепіги) спиралася на передок з двома дерев'яними колесами. До передка спереду кріпилося дишло з ярмом, в яке впрягалися бики або раби. За допомогою передка стало можливим регулювати глибину оранки і ширину захоплення пласта. Таким плугом цілком можна було розорювати нові землі, та і староорні оброблялися ним краще і легше.

З падінням Римської імперії і настанням похмурого середньовіччя були забуті багато культурних і технічних досягнень римлян. Така ж доля спіткала і римський плуг. Він був повністю забутий, і через багато століть його прийшлося «винаходити» знову. Це сталося лише в середині XVII століття в Бельгії і Голландії. За типом бельгійських і голландських виготовляли плуги і в інших європейських країнах, і вони без особливих змін служили селянам цих країн майже два століття. Трохи інакше йшло створення орних знарядь в стародавній Русі.

В період становлення Київської Русі основним орним знаряддям було рало, що являло собою обрізок дубового або грабового дерева з загостреним на кінці суком – власне робочим органом – і ручкою-держакком. Досконаліше рало мали дві ручки. Згодом на загострений сук почали насаджувати залізний наконечник – наральник з невеликою трикутною лопаттю. Це полегшувало роботу, але і у такому вигляді рало могло тільки прорізати дерновий шар ґрунту і лише трохи розпушувати його. Тим часом при розорюванні цілинних і залежних земель необхідно було підрізати скибу і по можливості її перегортати. Цього в якійсь мірі добилися тим, що лопать наральника стали робити ширшою і ставити її з деяким нахилом убік, а не зовсім вертикально. Поява подібного наральника була важливим технічним нововведенням в середньовічній Русі. З часом він перетворився в леміш. Вслід за наральником землероби створили пристосування для відвала скиби у вигляді дерев'яної дошки-полиці, а потім – чересло – масивний ніж, яким відрізувався пласт землі.

До історії розвитку орних знарядь увійшло ще одне – косуля. Таку назву воно отримало тому, що його робочі органи скошені в один бік. Косуля мала нерухомих зігнутий відвал і ніж для відрізання скиби збоку. Це знаряддя значно відрізнялося від сохи і було вже схоже на справжній плуг. Поява косулі пояснюється переселенням людей з північних районів Росії на південь і схід країни, на неосаянні степові землі, де їм довелося піднімати цілину. Соха для цього була непридатна. Тому-то вона і трансформувалася в косулю. Великого поширення, проте, косуля не отримала. На півдні більше прижився український плуг – сабан<sup>1</sup>.

Головною конструктивною особливістю сабана було те, що він мав горизонтальний дерев'яний полоз, з чого деякі дослідники роблять припущення, що слово «плуг» пішло від слова «полоз». До того ж в чеській і сербській мовах слово плуг вимовляється як «плаз», в польській – «поз» і «плуз» [22]. Це було громіздке, важке знаряддя майже триметрової довжини. За винятком лемеша, сабан, включаючи полицю, був цілком дерев'яний. Позитивним в цьому знарядді було те, що воно достатньо добре обертало скибу. Тільки таким міцним і надійним знаряддям можна було виорати на 5-6 вершків важкий український чорнозем. Щоб орати цим плугом такі ґрунти на необхідну глибину, необхідно було впрягати у нього от 2 до 6 коней або 4-8 волів. Бідняцьким господарствам доводилось обробляти свій наділ первісним знаряддям – ралом. Часто ґрунт після жита, гречки засівали без будь-якого попереднього обробітку. Тільки після розкидання насіння поле волочилось боронами, або проводилось розпушування ґрунту ралом.

В Україні процес заміни дерев'яного плуга залізним проходив дуже швидко. Якщо у 1900 році у селянських господарствах ще налічувалось біля 70 тис. дерев'яних плугів, або 36%, то у 1910 р. частка дерев'яних плугів скоротилася до 4%. Зокрема, із введенням залізного плуга на Полтавщині потреба у робочій худобі скоротилася у двічі, а робітників на третину. Одночасно відбувся перехід з тяги волами на більш продуктивну кінську тягу [14].

<sup>1</sup> Запозичення від тюркського *сабан* (*хабан*) — плуг. Звідси народне свято у тюркських народів *сабантуй* — свято плуга.

У країнах західної Європи, за умов достатнього зволоження і невисокого рівня природної родючості ґрунтів, обов'язковою умовою ефективного ведення землеробства вважався глибокий обробіток ґрунту з обертанням скиби. Цю ідею в основному розділяли, підтримували і рекомендували застосовувати на практиці провідні вчені-агрономи Росії тих часів. Технічне удосконалення плуга у напрямку комбінування з іншими знаряддями почалось десь у 18 столітті. Вперше серйозно захопився питанням підвищення ефективності ґрунтообробних знарядь англієць Джетро Талл (Jethro Tull), юрист за освітою, що присвятив себе сільському господарству завдяки маєтку, що дістався йому у спадок від батька. Джетро Талл, відомий також як винахідник підкови для коня, у 1731 році з педалей органу місцевої церкви змайстрував сівалку, яка економічно і рівними рядками висаджувала насіння, а, крім того, була здатна вводити зерно у ґрунт на визначену глибину [20]. Він же вигадав орати землю за допомогою трьох мотик, з'єднаних в один блок, який тягнув за собою кінь<sup>2</sup>.

Впродовж 18-19 століть значно розширився перелік ґрунтообробної техніки. У 1856 році Джордж Стерлі (Вісконсін, США) запатентував борону, яку тягнули за собою два коні. У 1880-му році був створений перший райдер-культиватор, що знову-таки приводиться в дію кіньми. На початку 20 століття з'явилися дворядні культиватори. У 1912 році австралієць А. С. Ховард винайшов роторний культиватор із фрезами, що оберталися. Потім цей роторний культиватор почали застосовувати як навісне устаткування на трактор, фрези можна було піднімати і опускати.

Першу спробу порушити існуючі стереотипи у поглядах на глибину обробітку ґрунту під озими було зроблено на Полтавщині у кінці 80-тих років 19 сторіччя. Цю ініціативу проявив князь Кудашев Володимир Олександрович, власник маєтку у селі Кіряківка Кременчуцького повіту Полтавської губернії (нині село Глобинського р-ну Полтавської обл.). На підставі результатів 12-ти річних дослідів він дійшов висновку, що

на переважно чорноземних ґрунтах і посушливого клімату під озими слід застосовувати мілкий, а не глибокий обробіток [14].

За часів поселення в Україні німців-колоністів у них використовувалися так звані букери. Букером є агрегат з трип'ятикорпусного плуга і сівалки, ємкості для насіння. Він поєднував мілку (12—14 см) оранку і посів по стерні. Насіння потрапляло в плугову борозну і відразу ж закривалося шаром ґрунту. Глибина оранки не перевищувала 12—14 сантиметрів. Букер обробляв зазвичай незоране поле. Таким чином, стерня повністю зберігалася і служила перешкодою виникненню повітряної і водної ерозії. Вона ж затримувала взимку сніг.

Залежно від числа лемешів букер вимагав запрягання від 4 до 6 волів або коней. Від німців-колоністів букер перейшов до українських землеробів колишньої Катеринославської і інших сусідніх губерній. Проте, є посилення на українські корені букера [24]. Зазначається, що його винайшли ще до німецької колонізації України. Тоді він називався сівозаорювач. Потім переселенці до Канади освоювали ним американські прерії. Згодом канадці, використавши винахід наших селян, розробили цілу систему безвідвальних знарядь для обробітку ґрунту. Казахи запозичили букерну техніку в Канаді і в себе назвали її бараєвським методом безвідвального землеробства, що оголошувався новітнім, забувши, а може, й не знаючи про українські корені цього агротехнічного знаряддя. Позитивним є те, що букер підрізував бур'ян, створював на поверхні рихлий шар, який перешкоджав швидкому випаровуванню вологи з ґрунту, що дуже важливо для посушливих місцевостей, а крім того, зменшував кількість операцій при сівбі. Є й великий негативний бік, зокрема те, що нерівномірна, а часом занадто велика глибина загортання насіння, дещо знижувала схожість і призводила до перевитрат посівного матеріалу.

Букер застосовувався для очищення парів від бур'янів. У посушливих районах поліці відкидалися, а працювали тільки лемеші, що стало прообразом сучасних плоскорізів, які забезпечують безвідвальний обробіток. На початку ХХ століття були поширені сівалки-букери, луцильник-заорювач, або, як тоді казали, плужниця. На Мелітопільщині, в цьому типовому степовому краю, у

<sup>2</sup> Саме ці конструктивні особливості стали прообразом сучасних пневмосівалок, які застосовуються при No-Till технологіях.

1912 році букери були більш поширені, ніж плуги, незважаючи на те, що німці, як уславлені патріоти всього свого, активно впроваджували землеробські знаряддя Сакса та Екерта [24]. Відомі учені П. А. Костичев, Д. А. Тімірязев, В. Р. Вільямс за мілку оранку різко засуджували роботу букера. Проте, подекуди в Україні букери збереглися аж до колективізації.

Дещо інакше, ніж в Центральній Росії і в Україні, розвивалося землеробство і формувались агроландшафти в зрошуваних районах Середньої Азії, і, відповідно, знаряддя обробітки ґрунту тут були дещо іншими. Узбеки, таджики і інші народи Середньої Азії землеробством займалися з доісторичних часів. Там не було лісів і цілини і всі придатні для обробки землі були вже давно розорані. Землеробство велося в основному із штучним зрошенням. Агроландшафт повністю відповідав зональним умовам, тобто його планування велося відповідно до наявності або відсутності зрошення. У посівах переважали бавовна і рис, що культивується на чеках. У цих умовах ґрунт не потребував обороту скиби при обробці, оскільки його, по суті, і не було. Було потрібне лише спущення. Тому тут аж до колективізації основним знаряддям обробітки ґрунту залишалося знаряддя типу рала, що носить місцеву назву — омач. Розвиток металургії в XVIII—XIX століттях дозволив внести до ґрунтообробних знарядь істотні зміни і удосконалення. Всі робочі органи плуга починали робити із заліза, і він став в Європі основним знаряддям обробітки ґрунту.

До історії розвитку плуга увійшли так звані роттердамські (Голандія) і брабантські (Бельгія) плуги. Це були однокінні безпередкові цілком залізні плуги. Перевага їх полягала в тому, що голландські і бельгійські ковалі досконало опанували спосіб виготовлення полиць зігнутої форми і вигадали пристосування для регулювання оранки по глибині і ширині захвату.

До Російської імперії однокінні залізні плуги спочатку завозились з-за кордону. Лише в кінці XVIII століття в Калузькій губернії в ковальській майстерні був налагоджений випуск вітчизняних висячих (безпередкових) плугів, що отримали назву «Плуг Полторацького» (за прізвиськом власника ковальської майстерні). Ці плуги мали досить широке поширення серед поміщиків і

заможних селян. Пізніше цей плуг був дещо вдосконалений і розповсюджувався вже під назвою «рязанський плуг» (рис. 1).

Істотний внесок до удосконалення плугів внесли німці: слюсар-винахідник Г. Екерт і селянин Р. Сакс. У 1863 році, побувавши в Англії і оглянувши там виробництво плугів, Сакс відкрив поблизу Лейпцига невелику майстерню по виготовленню плугів, що стала згодом найбільшим заводом. С

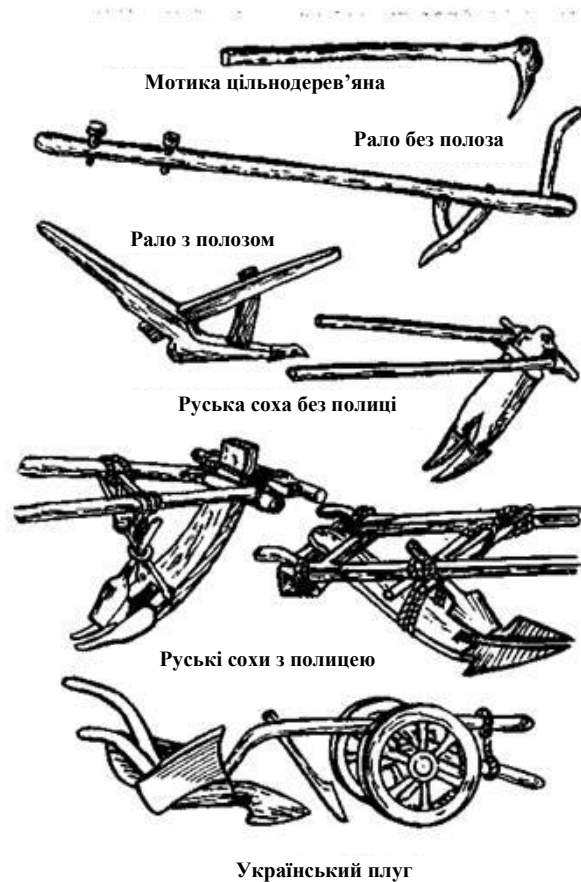


Рис. 1 – Еволюція плуга від неоліту до початку XX століття

1870 року Сакс розпочав випускати плуги власної конструкції. Надалі до них вносилися удосконалення, і врешті-решт під назвою «універсальний парокінний плуг Сакса» вони стали верхом досконалості, не перевершеної до найостаннішого часу. Ці плуги мали передок, за допомогою якого регулювалися глибина оранки і ширина захвату. У них дуже добре була сконструйована полиця, названа згодом «культурною». Перед полицею встановлювався ніж. І, що було новим і особливо важливим, між ножем і полицею поставлений передплужник. Він грав велику роль при розорюванні цілини і



полів з багаторічними травами. Саме такі плуги були найбільш поширеними у світі на кінець XIX і початок XX століття [3,13,22]. У XIX столітті в передових європейських країнах розпочався новий етап в розвитку ландшафтного планування. Він був пов'язаний з початком введення сівозмін з посівом багаторічних трав. Плуги що існували тоді задовільно обробляли землю після однорічних культур, але коли довелося відкривати пласт багаторічних трав, то землероби зустрілися з серйозною проблемою. При звичайній оранці дернина не встигала розклатися до часу чергової сівби. Тому для підготовки до сівби поле доводилося багато разів дискувати і боронувати. Ґрунт при цьому сильно розпилявся. Тоді вирішили проводити подвійну оранку. У одній борозні працювали два плуги. Перший скидав в борозну верхній шар дернини, а той, другий плуг, що знаходився за ним, поставлений на більшу глибину, заорював дернину рихлою землею. Дивлячись на таку оранку, хтось і додумався поставити на один плуг дві різноглибинні полиці. Так з'явилося на світ дуже важливе пристосування – передплужник.

В кінці XIX і початку XX століття плуги Сакса мали великий попит. Тільки до Росії перед першою світовою війною їх завозили щорік близько ста тисяч. Згодом і в Росії почали випускати плуги за типом саксівських з деякими змінами стосовно місцевих умов. З часом основна конструкція саксівських перейшла на тракторні плуги. Це – культурна полиця, передплужник, і лише передній ніж в них замінений дисковим.

Відтак, історія плуга нараховує сотні і навіть тисячі років. До теперішнього часу в результаті наукових досліджень конструкції плугів досягли високої досконалості. Сучасними плугами завдяки високому ступеню поліровки відвалів і виготовленню їх з легovanого заліза можна обробляти ґрунти будь-якого фізичного стану: важкі глинисті і легкі піщані, і сильно задерновані, кам'янисті, пересохлі, перезволожені і тому подібне. Взагалі ж, еволюція плуга зрозуміла з рис.1.

Первісна копальна палиця поступово як би «обростала» додатковим знаряддям, перетворюючись у мотику, а, згодом у рало. У більш пізніх знаряддях ця палиця модифікувалась у дишло, за яке його тягнула або людина, або худоба (різні сохи, косулі, примітивні плуги). Власне, ця еволюція мала своє

логічне продовження в удосконаленні плуга протягом XX століття. Збільшувався захват, регулювалась глибина оранки та потужність обернутої скиби ґрунту, плуги комбінувались з іншим ґрунтообробним знаряддям (борони, котки, та ін.).

Але концепція планового землеробства з глибокою оранкою залишалась незмінною до 60-х років. Сама ідея планування агроландшафту у вдалому балансі від потреб людини до потреб природи у цей час нехтується. Тракторні плуги для відвальної оранки набули різноманітних модифікацій і класифікувались:

- за призначенням – на плуги загального призначення і спеціальні;
- за числом корпусів - одно-, дву-, три-, чотири-, п'яти-, шести- і восьмикорпусні;
- за способом з'єднання з трактором – на причепні, напівнавісні і навісні;
- за формою полиць - на плуги, корпуси яких мають культурні полиці (плуги загального призначення, лемішні луцильники), гратчасті полиці (для обробки вологих і липких ґрунтів), напівгвинтові і гвинтові полиці (для оранки цілинних і залежних земель) [3].

Загострення екологічної ситуації в землеробстві і поступова втрата ґрунтами їхньої родючості призвели на початку 60-х років до переосмислення підходів до самої суті процесу формування агроландшафту, що спирався на механічний обробіток ґрунту і поступового повернення до традицій, закладених в роботах Менделєєва, Костичева, Овсинського, Фолкнера, Фокуоки. Найкраще досвід такого «повернення» узагальнено в книзі англійського ученого Х. П. Аллена [1], де аналізується англо-американський досвід сполучення цих двох операцій.

Власне, переосмислення основ традиційного формування агроландшафту почалося ще наприкінці XIX – початку XX століття. А впродовж XX століття ця ревізія вже набула вигляду теорії, міцно підкріпленої практикою. Причиною є перегляд традиційного обробітку ґрунту, до якого спонукали катастрофічні наслідки максимального розпушування і обороту скиби ґрунту. Особливо показовий в цьому відношенні сумний досвід США і Канади. Тут в 30-і роки XX століття згубний процес вітрової ерозії охопив величезну площу – понад 40 мільйонів гектарів. Подібне лихо, але трохи згодом, пережили

землероби і в Україні, Поволжі, Казахстані, Сибіру, на Північному Кавказі.

Першим, хто запропонував орати без обороту скиби, був наш співвітчизник І. Е. Овсинський. Він намагався впроваджувати прийоми обробки ґрунту без застосування плуга. У Радянському Союзі мілкий обробіток ґрунту рекомендував академік Н. М. Тулайков. Рішуче відкидав класичний плужний обробіток відомий новатор землеробства почесний академік ВАСХНІЛ Т. С. Мальцев. Потім в Казахстані і на Алтаї під керівництвом академіка ВАСХНІЛ А. І. Бараєва була розроблена і успішно впроваджена в декількох регіонах СРСР струнка система безвідвального обробітку ґрунту. В Україні під назвою «Полтавський експеримент» технологію безплужного землеробства впроваджували Ф. Т. Моргун та Н. К. Шикіла.

Обробіток ґрунту, схожий із системами Мальцева і Бараєва, проводили і рекомендували французький селянин Жан і американський агроном Фолкнер. Зараз в США і Канаді фермери повністю відмовилися від використання плуга, і тут явно простежується прагнення до мінімального обробітку ґрунту. Тим самим зменшується небезпека ерозії ґрунту і різко скорочуються витрати праці.

Саме усвідомлення людством зростаючої екологічної загрози внаслідок інтенсифікації землеробства стимулювало розробку різноманітних альтернативних методів сільськогосподарського виробництва, які ґрунтуються на глибшому розумінні процесів, що відбуваються в природі; спрямовані на поліпшення структури ґрунтів; відтворення їхньої природної родючості; сприяють утворенню екологічно стійких агроландшафтів та краще відповідають життєвим інтересам суспільства. До таких альтернативних методів можна віднести точне землеробство (Precision Farming), біоінтенсивне міні-землеробство (Biointensive Mini-Farming), біодинамічне землеробство (Biodynamic Agriculture), технології використання ефективних мікроорганізмів або ЕМ-технології (Effective Microorganism Technologies), мало-витратне стале землеробство (LISA – Low Input Sustainable Agriculture), контурно-меліоративне землеробство та багато інших. У цьому ж переліку наводять й органічне сільське господарство (Organic Agriculture або Organic Farming).

Особливе місце у сучасних технологіях займає технологія No-till, у якій сполучається багато рис наведених альтернативних методів – низька енерговитратність, ощадливий обробіток ґрунту, збереження біологічних механізмів ґрунтоутворення, відповідність високим вимогам щодо якості продукції, можливість застосування сучасних інформаційних і космічних технологій. З точки зору механічного обробітку ґрунту вплив землеробських знарядь у No-till змінюється докорінно. По-перше, виключається застосування полицевого плуга і плужного обробітку ґрунту як головної операції; по-друге, обробіток ґрунту здійснюється під час сівби паралельно з самою сівбою і удобренням; по-третє, ця технологія не вимагає додаткових агротехнічних прийомів у доглядах за посівом.

Власне, роль плуга, виконують спеціальні дискові сошники (у вигляді фрез-ножів), після обробітку якими залишається неушкодженим верхній шар ґрунту, на якому впродовж декількох років формується спочатку шар мульчі, а, згодом, природні угруповання рослин (рис.2,3). Після перегляду фотографій закономірно постає запитання, чим же відрізняється технологія No-till від мінімального обробітку ґрунту?

Головна відмінність мінімальної технології від No-till - сівба проводиться в заздалегідь оброблений ґрунт. При No-till здійснюється пряма сівба в необроблений ґрунт і він залишається незайманим від сівби до сівби. І пряма сівба тут лише один з технологічних прийомів в цілій системі.



**Рис.2** – Дискові ножі у сівалці для No-till, які виконують роль сохи, прорізаючи тонку борозну для насіння і не порушуючи ґрунт

При прямій сівбі відбувається неминуче порушення ґрунтового покриву. Залежно від використовуваного посівного обладнання порушення можуть бути від повного порушення (яке частіше і називають прямою сівбою) до мінімального (яке часто називають нульовою технологією).



**Рис.3** – Поле після сівби сівалкою для No-till

Ідеальним принципом у плануванні агроландшафту було б «ніякого порушення ґрунту», як це відбувається в природі. І лише такий принцип можна було б назвати «100%-вим» No-till. В такий спосіб зазвичай висівають трави на пасовищах по існуючій дернині. При цьому насіння не закладається в ґрунт, а залишається на поверхні.

Насправді, технологія No-till - більш загальне поняття, яке включає різні варіації міри руйнування поверхні ґрунту при сівбі різними видами сошників. Хоча і очевидно, те, що чим менше це порушення ґрунту, тим краще. Але спільне для всіх цих різновидів – пряма сівба в необроблений ґрунт. Отже, сама по собі технологія No-till являє цілісну систему, в якій певне виконання лише одного технологічного прийому ще не робить її «справжньою» [27]. Розглянемо особливості цієї технології (рис.3-5). Сошник, що розрізає ґрунт під кутом, дозволяє максимально використовувати весняну вологу. За рахунок централізованої зміни тиску на сошниковий брус (до 181 кг) досягається добра адаптація для різних умов на полі. Індивідуальне копіювання кожного сошника забезпечує ідеальне закладення насіння без викидання на нерівностях.

Висіваючи насіннеприводи на сошниках розташованих по центру, завдяки чому забезпечується ідеальний розподіл насінне-

вого матеріалу для кращого проростання. Перевага такого розташування - краще проникнення в ґрунт і контроль глибини висіву, плюс триваліший термін експлуатації. Сошники забезпечують постійний контроль глибини за допомогою пневматичних накочувальних коліс. Прикочувальне колесо розташоване за накочувальним колесом (рис.4). Відстань між сошниками може бути 19 або 25,4 см. Є моделі шириною 9,1 м, 10,9 м, 12,2 м і 12,8 м.

Крім того сучасні сівалки дозволяють одночасно вносити і основні мінеральні добрива. Внесення посівного матеріалу і стартових добрив у міжряддя відбувається за один прохід сівалки. Для цього на сівалці встановлений третій ряд сошників, розміщених в передній частині. Міжряддя для сівби – 25,4 см, міжряддя для добрив – 50,8 см. Відстань між посівним матеріалом і добривами в сівалці складає 127 мм, чого вистачає, для того, щоб насіння не «згоріло». Це особливо важливо за умов з підвищеною вологістю, де висока норма внесення азоту може понизити проростання, якщо його вне-



**Рис.4** – Устрій сошникового блоку у сівалці для No-till John Deere 1890

сти близько до насіння. Добрива вносять глибше, ніж насіння, так щоб коріння посіяних рослин могло харчуватися, коли настане термін (рис.5).

Таким чином, історія формування агроландшафту знову повертається до першоджерел. Як зазначає М. Косолап [6], розвиток людства і землеробства як однієї з галузей його діяльності йде по спіралі. Землеробство починалося з нульової технології.

Палиця-саджалка була першим знаряддям рільника. Він формував нею лунку в ґрунті, кидав туди насіння перших культур і загортав. І не можна вважати цю технологію занадто примітивною.



**Рис.5** – Схема одночасної сівби і внесення мінеральних добрив сівалкою John Deere серії 1895

За якістю висіву, дотримання заданої глибини загортання насіння, рівномірності розміщення рослин усі сівалки прямої сівби й сьогодні поступаються даному знаряддю. При цьому стародавні ацтеки, щоб виростити добрий урожай, кидали в кожен лунку маленьку рибинку. Вона розкладалася й забезпечувала рослини потрібними мінеральними елементами. Якщо порівняти рівень урожайності, який мали землероби в таких стародавніх центрах, як межиріччя Тигру й Євфрату та долина Нілу, то сьогоднішні наші здобутки лише наближаються до цих показників.

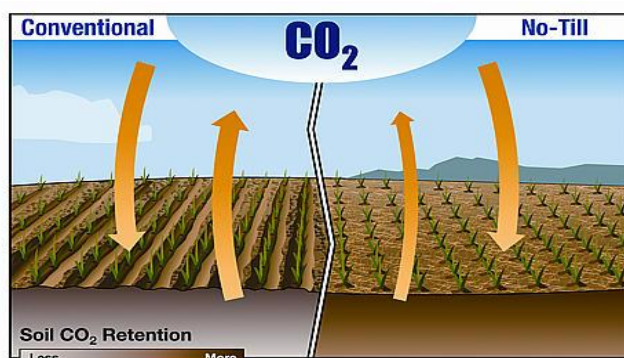
На території України за 4-4,5 тис. років землеробської діяльності 95% цього періоду люди вирощували сільськогосподарські культури за технологією мінімального поверхневого обробітку ґрунту, й лише кілька сторіч застосовується плужний обробіток. Майже до останнього часу він домінував у розвитку землеробства нашої країни з постійним вдосконаленням відповідних знарядь та збільшенням потужності енергетичних засобів. Безумовно, перехід від мотичного до плужного рільництва є одним із найвидатніших досягнень людства, яке забезпечило продуктами харчування зростаючу чисельність людей на нашій планеті. Плужний обробіток дав змогу використовувати потенційну родючість ґрунту для одержання прийнятної рівня врожайності сільськогосподарських культур.

Сьогодні інтенсифікація механічного обробітку ґрунту з використанням потужних тракторів дійшла своєї граничної межі, тому в усіх країнах світу фіксуються негативні наслідки такої діяльності: посилення водної та вітрової ерозії, різке зниження вмісту гумусу в ґрунтах та їхня агрофізична деградація, головна причина яких – оранка. Суспільство й наукова громада не відразу

сприйняли нові ідеї в царині підходів до обробітку ґрунту.

Ідея повної відмови від механічного обробітку ґрунту стала можливою лише в 60-ті роки минулого сторіччя після розробки в Англії гербіцидів суцільної дії з корот-

ким періодом розкладу – Паракват та Грамоксон, – які дали можливість ефективно контролювати бур'яни навіть тоді, коли культур немає на полі. В 1969 році було видано перші практичні рекомендації щодо прямої сівби культур у попередньо не оброблену стерню. 70-ті роки є початком практичного освоєння й поширення нової технології в різних країнах світу. За цей час суттєво змінилася технологія. Наприклад, якщо на початку розробки цієї технології допускалося (і навіть вважалося прийнятним) спалювання рослинних решток перед висівом, бо перші сівалки не могли забезпечити якісне висівання за їхньої наявності на поверхні



**Рис.6** – Порівняння емісії CO<sub>2</sub> при різних системах обробітку ґрунту.

ґрунту, то для сучасних сівалок це вже не є непереборною перешкодою.

Сьогодні в світі за технологією No-till вирощують культури на площі, яка становить близько 7% загальної світової площі ріллі. На користь цієї технології може свідчити рис.6, на якому показана позитивна дія No-till на зменшення емісії вуглецю у атмосферу, а, отже, зменшення інтенсивності парникового ефекту.

Насправді, природу не обдуриш. Відомо, що ні один закон природи не підтверджується так добре, як закони термодинаміки. Перший закон (перший початок) термодинаміки говорить, що загальна кількість енергії і маси залишається незмінною. Дру-

гий початок твердить, що ентропія (міра внутрішньої неупорядкованості) в замкнутій системі може тільки зростати: будь-яка система, яка не зазнає впливу із зовні, деградує, розпадається, вільна енергія в ній зменшується, і в кінці кінців вона досягає пасивного стану повного безладдя. Іншими словами, час явища закінчується, спливає і воно застигає у стані пасивної рівноваги. Тобто певна людська цивілізація вичерпує себе і в кінці кінців гине. Нажаль, історія розвитку механічного обробітку ґрунту може слугувати підтвердженням цих фундаментальних законів [8].

Є багато загальнонаукових концепцій, у яких еволюція формування агроландшафту, що спирається на зміну обробітку ґрунту пояснюється з досить цікавих позицій. Так, Н. А. Шпаковский [16] стверджує, що історія обробітку ґрунту добре укладається у модель «розгортання згорання» (рис.7).

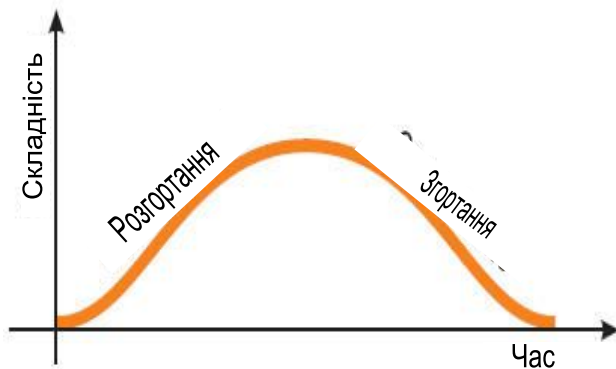


Рис.7 – Зміна складності системи, ілюстроване лінією «Розгортання-згорання»

На етапі розгортання зростає кількість елементів, частин, підсистем технічного устрою (або відповідно кількість операцій в технології) – це лінія ускладнення. На етапі згорання вони об'єднуються в цілісну конструкцію, або безліч технологічних операцій згортаються в одну. Еволюція технології обробітку ґрунту з позицій моделі «Розгортання згорання» вибудовується у певну лінію розвитку, яку можна побудувати відповідно до головних етапів розвитку механічного обробітку ґрунту.

1. Сівба у лунки. Землеробство вже було в той час, коли ще не доводилося говорити про будь-які ґрунтообробні знаряддя. Зерна сіяли в ґрунт без будь-якого обробітку, протикаючи лунки для них простою загостреною палицею. Насправді це і був нульовий обробіток ґрунту, тільки на нижчому, більш примітивному рівні. Боротьба з

бур'янами і удобрення ґрунту проводилися найпростішим способом: підпалювали ліс, що ріс на місці майбутнього поля. Бур'яни згорали, а деревна зола була чудовим добривом.

2. Обробіток сохою. Наступний крок в землеробстві – винахід сохи, яку тягнули люди або тварини. Її застосування дозволило підняти продуктивність обробітку ґрунту, але технологія обробітку зернових при цьому мало змінилася. Просто замість лунок зерна садили у вузьку борозну, що утворюється лезом сохи. Борозну закладали вручну або тягаючи полем сучкувату гілку - прообраз сучасної борони. Боротьба з бур'янами і удобрення ґрунту не зазнали змін, бо лісів ще вистачало.

3. Плужний обробіток ґрунту. Соха була ефективним знаряддям, поки можна було спалювати ліси, розчищаючи і удобрюючи нові поля. Але так не могло нескінченно. А на старих полях родючість ґрунту падала. І тоді для підвищення врожайності знайшли новий спосіб – забезпечити добре розпушування і боротьбу з бур'янами. Вже древні греки користувалися відвальним плугом, який заорював бур'яни на глибину, де вони не могли прорости. Класична технологія того часу – оранка відвальним плугом, посів зерна вручну і боронування для закладення зерна в ґрунт.

4. Максимально розгорнена технологія обробітку ґрунту. Підвищення врожайності залишалось найважливішою вимогою, і екстенсивний шлях розвитку землеробства здавався єдиною прийнятним. Технологія обробітку ґрунту включала все нові додаткові операції – відповідно до тенденції «розгортання згорання». Найбільш розгорнена технологія, що застосовувалася в середині ХХ століття, включала наступні операції: оранку, декілька культивацій, боронування і передпосівне вирівнювання. Потім слідували сівба і додаткове наочення ґрунту. Потужність тракторів, глибина оранки і ширина захвату плугів постійно зростали. Самі плуги удосконалювалися, з'явилися плуги для гладкої оранки, що не створювали розваленої борозни. Здавалось, була отримана цілковита перемога над природою. Але перемога виявилася пірровою. Витрачалися величезні ресурси, насамперед нафта, витрати праці на проведення великого числа операцій перевищили всі мислимі межі. В результаті верх-

ній шар ґрунту був розпушений, а шар нижче за плугову підшову сильно переущільнений колесами тракторів. У рівнинних областях часто налітав вітер і зораний родючий шар нісся з полів пиловою бурею, залишаючи за собою пустелю. Ерозія ґрунтів охопила десятки мільйонів гектарів. Вміст гумусу в кращих чорноземах впав з 10-12 до 5-6 %, на сьогодні до 2-3%. Землеробство зайшло в безвихідь.

Більшість вчених, у тому числі ландшафтознавці забили на сполох. У одному з канадських університетів висить плакат: «Німецький плуг Сакса приніс більше шкоди, ніж вся німецька армія в Другій світовій війні». Полиця перегортає ґрунт, але ґрунт - це насамперед різні шари землі. Відомо, що у верхньому шарі ґрунту мешкають бактерії, які дихають киснем, – їх називають аеробними. А глибше живуть бактерії, які на повітрі вмиють гинуть, – їх називають анаеробними. При перекиданні скиби ті бактерії, які можуть жити лише у верхньому шарі, опиняються знизу і вмирають від нестачі кисню, а ті бактерії, які існують в глибині ґрунту, потрапляють вгору і також гинуть. Адже ці бактерії своєю життєдіяльністю забезпечують родючість ґрунту, накопичення в ньому гумусу. Друга проблема, пов'язана із застосуванням плуга, - утворення плугової підшови, тобто переущільненого шару ґрунту на глибині 20-25 см. В нормальних умовах волога переміщується по капілярах, поступаючи то з нижніх шарів у верхні, то з верхніх - в нижні. А плугова підшова перекидає ґрунтові капіляри, природна циркуляція вологи в ґрунті припиняється.

5. Безвідвальний обробіток ґрунту. Почалася вперта боротьба за впровадження безвідвального обробітку ґрунту. Про цю проблему заявив на весь світ американський вчений Едвард Фолкнер в своїй книзі «Безумство орача», що миттєво стала бестселером. Новий спосіб обробітку виключав використання полицевого плуга. Ґрунт спускався на глибину 10-15 см плоскорізами з широкими горизонтальними підрізуючими ножами або чизельними розпушувачами з вузькою стійкою.

З точки зору технологічної еволюції почалося згортання технології обробки ґрунту. Була виключена проста, але дуже енергоємна операція - оборот ґрунтової скиби.

Ентузіасти нового методу працювали в різних країнах світу. У Радянському Союзі за безплужний обробіток ґрунту боровся відомий агроном Т. Мальцев. Технологія удосконалювалась, вдалося впоратися з її «дитячими хворобами», головна з яких - очистити поля від злісних бур'янів без їх заорювання. Ця проблема була вирішена з винаходом гербіцидів, які через деякий час після використання розпадаються на нешкідливі складові. Безвідвальна обробка починала бурхливо розвиватися в багатьох країнах світу, перш за все в США і Мексиці. Результат: кращі умови для зростання і розвитку рослин, економія палива.

6. Мінімальний обробіток ґрунту. Наступним кроком на шляху згортання обробітку ґрунту був перехід до мінімальної обробки, при якій глибина спущення ґрунту дорівнює глибині закладення насіння, тобто значно менше, ніж при безполицевій. Основні положення цієї технології розробив в середині XIX століття український вчений Іван Овсинський. Його погляди жорстко критикувалися. Проте Овсинський створив спеціальні знаряддя для неглибокого обробітку ґрунтового шару і успішно застосував цей метод у власному господарстві. Нова технологія вирішувала цілий комплекс завдань: зберігала родючість чорноземів, допомагала впоратися із посухами, позбавитися від шкідників і бур'янів.

7. Нульовий обробіток ґрунту. Нульовий обробіток ґрунту - це вже не обробіток в звичайному сенсі слова, а забезпечення комплексу умов для створення оптимальної структури ґрунту. Тобто складається ситуація, коли обробітку немає, а функція його виконується. В ідеалі, при нульовому обробітку немає взагалі ніякої дії на ґрунт, але, не дивлячись на це, він знаходиться в стані, оптимальному для зростання і розвитку рослин. Завдяки рівновазі між організмами біоценозу – травами, культурними рослинами, мікроорганізмами, тваринами і людиною необхідна робота людини зводиться до мінімуму. Сьогодні нульова технологія - це відсутність обробітку ґрунту, за винятком дії сівалки (рис.3-5).

Графічно історія вдосконалення технологій обробітку ґрунту показана на рис. 8. Як бачимо, внаслідок еволюції по лінії «Розгортання згортання» людство, в певному сенсі, знову «повернулося» до перших своїх кроків у землеробстві.

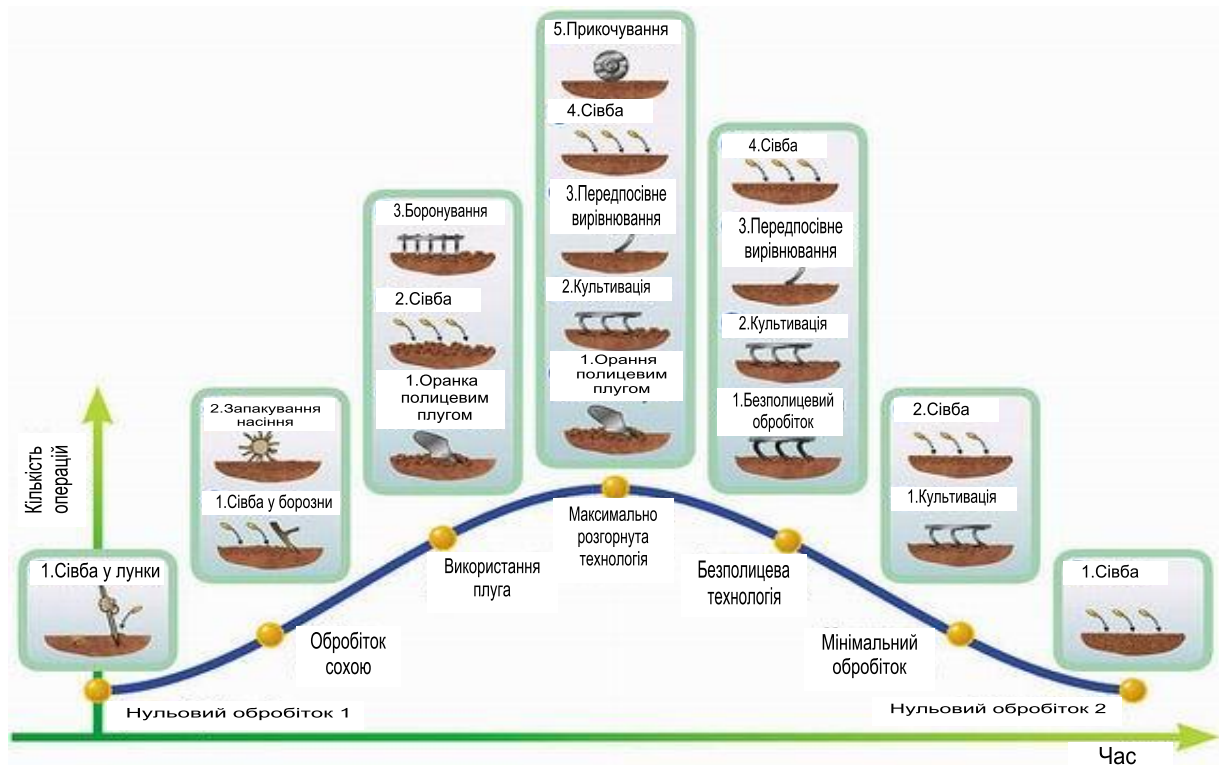


Рис. 8 – Еволюція механічного обробітку ґрунту по лінії «Розгортання згортання»

## ВИСНОВКИ

Головні запитання, які виникають після знайомства з історією формування агроландшафту і такою еволюцією землеробства:

– перше – чи встигне людство припинити інтенсивну деградацію ґрунтів, зупинившись хоч би на тих 2-3% гумусу, які залишились, зокрема, в українських чорноземах?

– і друге – чи є якийсь інший шлях розвитку людської цивілізації крім як відповідно до теорії Мальтуса?

Відповідь на ці запитання, найскоріше, торкається не лише ландшафтного планування і землеробства, а й багатьох інших наук, і буде зроблена в наступних авторських публікаціях.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Аллен Х. П. Прямой посев и минимальная обработка почвы./ Х. П. Аллен .Пер. с англ. М. Ф. Пушкарева. –М.: Агропромиздат 1985. – 208 с.
2. Вавилов Н. И. Происхождение и география культурных растений. / Н. И. Вавилов. – Л.:Наука,1987. – 440 с.
3. Воронов Ю. И. Сельскохозяйственные машины./ Ю. И. Воронов и др. – М.:Высш.школа, 1978 – 295 с.
4. Горшков В. Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни./ В. Г. Горшков. Отв. ред. К. С. Лосев. – М.:ВИНИТИ,1995. – 470 с.
5. Колективна монографія учених-аграрників НУ-БП Режим доступу: <http://www.nauu.kiev.ua/book/>
6. Косолап М. No-till: наука без практики німа, практика без науки сліпа.// Режим доступу: [www.propozitsiya.com](http://www.propozitsiya.com)
7. Лосев К. С. Бюджет антропогенного углерода и роль экосистем в его эмиссии и стоке в глобальном и континентальном масштабах./ К. С. Лосев. /Страны и регионы на пути к сбалансированному развитию. Сборник научных трудов. – К. : Академперіодика, 2003. – С.36-41.
8. Мудрук О. С. Історія теорії і практики обробітку ґрунту: сучасні погляди і узагальнення. / О. С. Мудрук, Н.О. Паюк Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/inb/2006-1/06mosspu.html>
9. Паюк Н. О. Історія становлення та розвитку наукових основ обробітку ґрунту в сільському господарстві./: дис... канд. іст. наук: 07.00.07 / УААН. Паюк Н. О. – К., 2006.
10. Равдоникас В. И. Некоторые моменты процесса возникновения феодализма в лесной полосе Восточной Европы в свете археологических данных. / В. И. Равдоникас // Основные проблемы

- генезиса и развития феодального общества. – М.; Л., 1934. – С. 120-156.
11. Рыбаков Б. А. Геродотова Скифия./ Б. А. Рыбаков – М., 1979. м247 с.
  12. Сонько С. П. Географічна інтерпретація доповідей Римському клубу. С. П. Сонько // Український географічний журнал. – №1,2003. – С.55-62
  13. Сельскохозяйственный словарь-справочник. Второе издание. Государственное издательство колхозной и совхозной литературы. – М.-Л.,1934. – 640 с.,<http://www.ussr-forever.ru/plug/>
  14. Чекрізов І. О. Историчний аспект розвитку основного обробітку ґрунту на Полтавщині. //Автореф. дис... канд. с.-г. наук: 06.04.01 Ін-т земл-ва УААН./ Чекрізов І. О. –К., 2005. – 19// <http://www.lib.ua-ru.net/inode/14987.html>
  15. Шнирельман В. А. Возникновение производящего хозяйства. / В. А. Шнирельман – М.:Наука,1989. – 444 с.
  16. Шпаковский Н. А. Эволюция технологий обработки почвы. / Н. А. Шпаковский. Режим доступа: <http://www.trizland.ru>
  17. <http://artemenko.com.ua/>
  18. <http://www.erlib.com>
  19. <http://www.favorites.com.ua/>
  20. <http://www.lkomfort.ru/>
  21. <http://www.reactor.org.ua/forum/lofiversion/index.php?t459.html>
  22. <http://www.ussr-forever.ru/plug/47-21.html?showall=1>
  23. [http://udec.ntu-kpi.kiev.ua/lspace/history\\_ukr/schedule.nsf/](http://udec.ntu-kpi.kiev.ua/lspace/history_ukr/schedule.nsf/)
  24. <http://ukrgazeta.plus.org.ua/article>
  25. <http://zori.dokladno.info/gospodar-trip-lskikh-obshir-v/zemlerobstvo-2.html>
  26. <http://litopys.org.ua>
  27. <http://no-till.ru/>

Надійшла до редколегії 09.04.2012

УДК 556.51+004.9

**С.В. КОСТРИКОВ**, д-р геогр. наук, проф.

*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

## **РОЗПОДІЛЕНЕ ГІДРОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДОЗБІРНИХ БАСЕЙНІВ ЧЕРЕЗ ГІС-ЗАСОБИ**

Надається методологічні засади та практична реалізація через авторське програмне забезпечення розподіленого гідрологічного моделювання водозборів. Наголос робиться на особливостях подібного моделювання, якщо воно впроваджується через ГІС-засоби. Подається багатоаспектне визначення розподіленої гідрологічної моделі. Розглядаються алгоритми визначення площі елементарного водозбору при впровадженні гідрологічного стоку за цифровою моделлю рельєфу. Наводяться приклади середовища гідрологічного інтерфейсу авторського програмного забезпечення для реалізації розподіленого моделювання руслових максимумів під час весняного сніготанення. Також дається безпосередній приклад такого моделювання із послідовним відтворенням всіх необхідних кроків.

**Ключові слова:** розподілена гідрологічна модель, водозбірний басейн, цифрова модель рельєфу, площа елементарного водозбору, матриця гідрологічного стоку, авторське програмне забезпечення, руслові максимуми весняних витрат

## **Костриков С. В. РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОСБОРНЫХ БАСЕЙНОВ С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ ГИС**

Представлены методологические основы и примеры практической реализации с помощью авторского программного обеспечения распределенного гидрологического моделирования водосборов. Делается ударение на особенностях такого моделирования, если оно осуществляется через средства ГИС. Предлагается многоаспектное определение распределенной гидрологической модели. Рассматриваются алгоритмы определения площади элементарного водосбора при моделировании гидрологического стока по цифровой модели рельефа. Приводятся примеры среды гидрологического интерфейса авторского программного обеспечения для реализации распределенного моделирования русловых максимумов весеннего снеготаяния. Предлагается непосредственный пример подобного моделирования с последовательным описанием его всех необходимых шагов.

**Ключевые слова:** распределена гидрологическая модель, водосборный бассейн, цифровая модель рельефа, площадь элементарного водосбора, матрица гидрологического стока, авторское программное обеспечение, русловые максимумы весенних расходов

© Костриков С. В., 2012



**Kostrikov, S. WATERSHED DISTRIBUTED HYDROLOGICAL MODELING WITH GIS-TOOLS.**

The paper introduces both methodological principles and applied software implementation of watershed distributed hydrological modeling. Several various definitions of a distributed model are emphasized. The algorithmic calculation of the initial basin area is considered in details upon hydrological flow simulation on the digital elevation model matrix. There are several examples of author's software hydrological graphic user's interface in this paper. These examples relate to the channel extreme flow discharge modeling upon spring flood. A direct such modeling is introduced with all its steps.

**Key words:** distributed hydrologic model, watershed, digital elevation model, initial basin area, hydrological flow matrix, author's software, channel extreme discharge upon spring flood

**ВСТУП**

**Дослідницька проблема.** В два останні десятиріччя із широким застосуванням геоінформаційних систем (ГІС) і технологій в гідрологічному моделюванні виникло достатньо гостре питання: будь-які або лише деякі із, так би мовити, «ортодоксальних» гідрологічних моделей мають та можуть бути впроваджені через ГІС-засоби? При спробі відповіді на таке питання, по-перше, виявляється, що саме моделювання гідрологічного компоненту географічного ландшафту може у порівнянні статися найбільш громіздким і таким, яке потребує значних обчислювальних ресурсів, а, по-друге – далеко не всі із класичних теоретичних моделей гідрологічного режиму водозбірних басейнів можуть бути переведені у практичну площину для впровадження через певну геоінформаційну платформу.

В деяких попередніх статтях доводилося, що одними із найбільш ефективних модельних конструкцій щодо впровадження їх через геоінформаційне моделювання можуть бути так звані *розподілені гідрологічні моделі* (РГМ) [1, 2]. В рамках подібної моделі припускається, що рух води крізь водозбірний басейн здійснюється через поверхневий стік, рух у насичених та ненасичених ґрунтах та течію вниз по руслах річок та балок.

Русловий стік, переважним чином, приймається функцією трьох наступних факторів: наявного обсягу води, величини схилу і показника шорсткості поверхні, що підстилає.

Відповідно вказаного, геоінформаційні моделі, які будуть обиратися для відтворення гідрологічного режиму водозборів, мають, у першу чергу, прогнозувати: 1) регулярні витрати води у руслах та пікові витрати від весняних повеней та літніх дощових паводків; 2) глибини у зонах затоплення від повеней та паводків; 3) здатність руслового потоку до розмиву поверхні, що підстилає; 4) транспортуючу здатність руслового потоку щодо твердого матеріалу. Таким чином, серед вхідних параметрів вказаних моделей повинні бути: 1) шорсткість поверхні, яка підстилає, і гідравлічний показник відносно го опору потоку; 2) фізичний показник кількості руху води; 3) показник градієнта схилів по території водозбору; 4) глибини постійних і тимчасових русел; 5) характеристики ґрунтів.

Як це впливає із вступної рубрики статті, **метою** є подання деяких методологічних засад геоінформаційного впровадження розподілених гідрологічних моделей водозбірних басейнів.

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

**ГІС-підхід до розподіленого гідрологічного моделювання водозбірних басейнів.** РГМ в аспекті ГІС-моделювання передбачає таку модель, яка симулює детерміністсько-ймовірнісний розподіл розрахованих величин поверхневого стоку та руслових витрат як дискретно по чарунках цифрової моделі рельєфу (ЦМР), так і через створення єдиної континуальної сутності у вигляді, наприклад, поля щільності таких показників, для всього географічного простору певного водозбірного басейну. Сформульоване нами визначення РГМ прямо впливає із узагаль-

нення найбільш значних публікацій, присвячених застосуванню геоінформаційних платформ і ГІС-модулів-аплікацій у розподіленому гідрологічному моделюванні [3].

В цьому аспекті модулем-аплікацією ГІС нами розуміється програмний алгоритм (чи група алгоритмів) + графічний інтерфейс користувача (ГІК), що генерують введення інформації, необхідної для моделювання, але не виконують таке моделювання безпосередньо. Додатковим ГІС-компонентом, який реалізовує гідрологічне моделювання, і є розподілена гідрологічна модель, яка може

бути визначена як набір тих програмних алгоритмів, котрі виконують гідрологічне моделювання із параметричним розподілом по чарунках ЦМР і на підставі розгляду водозбору як сукупності субводозборів. Останні також виступають у якості компонентів розподіленої моделі, а в гідролого-геоморфологічному відношенні є частинами більшої водозбірної площі, і мають власні гирла постійного стоку. Тут є найважливішим системоутворююче і функціональне значення субводозборів як складових частин гідролого-геоморфологічної системи водозбору [4, 5].

Розподілені гідрологічні моделі річкових басейнів дозволяють робити опис просторової варіації в характеристиках водозбору і, наприклад, в характеристиках зливого стоку в залежності від визначеного шаблону моделі та її конфігурації. Немає ніякого розходження в цьому плані між так званими «зосереджено-розподіленими» та «процес-розподіленими» моделями. Також не існує значного розходження між рівнем інтеграції (об'єднання) параметрів моделі і типу ГІК, необхідного для реалізації специфічного варіанта моделі. Різні предметні тренди при розробці подібної моделі приводять до акценту, який змінюється по окремих визначених індивідуальних компонентах моделі. Деякі моделі використовують спеціалізовані бази даних, у той час як інші звертаються до стандартизованих баз. В останні десятиріччя супроти застосування громіздких емпіричних моделей, що включали дані по детальних вимірах крізь всю площу водозбору, але були прив'язані тільки до одного, хоч і масштабно-го процесу чи явища, все більша перевага стала віддаватися тим моделям, що базуються на просторово розподілених даних, які, в свою чергу, відбивають взаємозв'язок багатьох, але у певних випадках – незначного масштабу, процесів. Таким чином, подібні моделі необхідно асоціювати із елементарними водозборами, що і пропонується.

**Площа елементарного водозбору як ключовий вхідний параметр РГМ і деякі особливості розрахунку стоку по матриці ЦМР.** Розмір площі первинного водозбірного басейну (елементарного водозбору, водозбору 1-го порядку) – тобто такого, який фізично не має більше одного русла в своїх границях, а обсяг стоку, що формується на цій території, як раз є достатнім для утворення даного русла – ця величина завжди була серед провідних вхідних параметрів багатьох

гідрологічних моделей. Із часів початку впровадження РГМ через ГІС-засоби постало достатньо гостре питання щодо визначення на матриці чарунок цифровій моделі рельєфу відповідного показника-аналогу площі елементарного водозбору звичайної (паперової) топокарти, яка колись використовувалася при гідрологічних розрахунках.

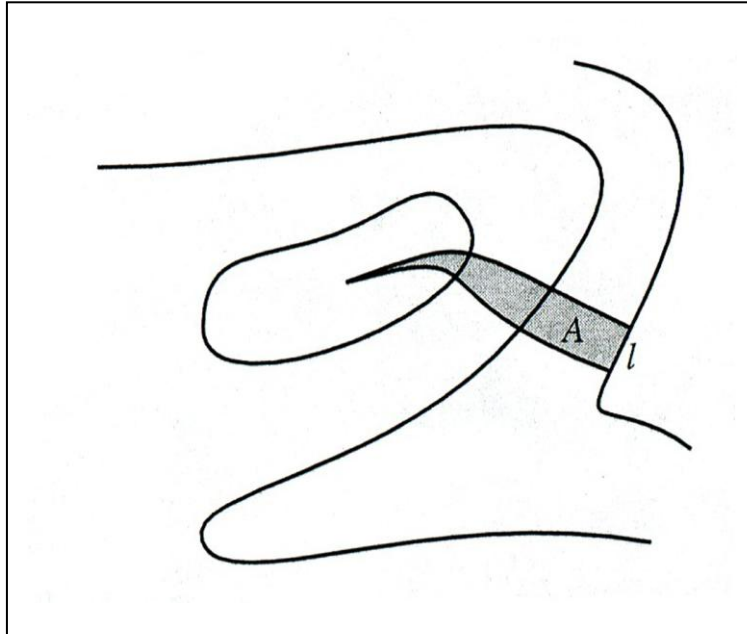
При реалізації розподілених гідрологічних моделей в нашому авторському програмному забезпеченні *GIS-Module Ukrainian* [6] для обґрунтування застосування в моделі вказаного вище показника (площі елементарного водозбору – ПЕВ) використовувався предметний підхід американських фахівців Дж. Галанта та Дж. Вілсона, які для цифрової моделі рельєфу з ефективною точністю визначали величину ПЕВ через введення таких проміжних дефініцій як «вища по схилу площа, що додає до водозбірної» та «специфічна водозбірна площа» [7]. Схематично вказані поняття можуть бути подані наступним чином (рис. 1).

Оскільки можуть виникнути певні труднощі із визначенням необхідних для гідрологічного моделювання, так званих «первинних і вторинних атрибутів флювіального рельєфу» [8] саме на матриці ЦМР, для вирішення цієї проблеми хід методичних міркувань має бути наступним.

Перш за все, через наявні можливості ГІС-модулю по даній ЦМР впроваджується процедура побудови ізоліній поверхні (contouring – *англ.*). За методикою Галанта-Вілсона величиною «вищої по схилу площі, що додає до водозбірної»,  $A$ , приймається певна ділянка схилу, яка розташована вище обраного відрізка ізогіпси рельєфу, тоді «специфічною водозбірною площею»,  $A_s$  (або  $a$ ) буде відношення «вищої по схилу площі, що додає...» до довжини даного відрізка ізогіпси,  $l$  (див. рис. 1), тобто

$$A_s = A / l \quad (1)$$

Рішення щодо визначення ПЕВ по цифровій моделі рельєфу через (1) полягало у тому, що детермінантом точності обрахунку водозбірної площі приймається повністю об'єктивний показник, а саме – роздільна здатність цифрової моделі, тобто – розмір сторони її чарунки. В якості відрізка ізолінії, величина якого присутня в (1), приймається розмір сторони чарунки (осередку) матриці. У такому разі обсяг гідрологічного стоку для даної чарунки матриці ( $a$  звідси – і площа



**Рис. 1** – Схематичне подання визначення ПЕВ на цифровій моделі рельєфу через поняття «вища по схилу площа, що додає до водозбірної» та «специфічна водозбірна площа»

елементарного водозбору) обчислюється достатньо зрозуміло. Водозбірна площа, що додає до обсягу стоку безпосередньо в дану чарунку ЦМР з території, яка топографічно розташована вище по схилу, буде визначатися числом чарунк, розташованих на цій території, і таких, що будуть спрямовувати стік до даної чарунки на підставі показників «специфічної водозбірної площі»,  $A_s$ , притаманних кожній з них. Цю величину можна також розглядати як розмір дренажної площі, що припадає на одиницю ширини схилу, перпендикулярної до напрямку стоку.

Обидва ж показники ( $A$  та  $A_s$ ), які мають бути приписані кожному осередку ЦМР визначаються встановленими напрямками гідрологічного стоку з кожного вузла матриці ЦМР. У свою чергу, правила визначення цих напрямків впливають із обраної загальної методології моделювання стоку за цифровими моделями місцевості та цифровим моделям рельєфу водозбору (алгоритм «восьми імовірних напрямків стоку із центрального вузла (чарунки) міні-матриці стоку 3 X 3»), і вже викладалися у численних публікаціях раніше [1, 2, 4, 8-10 та ін.].

Тут лише необхідно додати, що для успішного моделювання через РГМ викладений вище підхід щодо визначення ПЕВ, який умовно, можна сказати, базується на поняттях «довжина ізогіпси – ширина стоку» і використовується в «алгоритмі стоку у

восьми імовірних напрямках», має бути доповнений підходом, що (також умовно) означимо як «похил схилу». Коротко зупинимось на цьому підході дещо детальніше.

При цьому підході гідрологічний стік і, відповідно – частка площа елементарного водозбору – які послідовно додаються від однієї чарунки (що вище по схилу) матриці ЦМР до іншої (яка нижче по схилу) можуть визначатися через певний вираз. Цю частку площі ПЕВ, яка замкнеться на чарунку  $i$ , що розташована нижче по схилу, позначимо  $A_i$  (у загальному випадку вона дорівнюватиме показнику  $A$  із (1) + площа, яка дренажується однією чарункою). Вказаний вираз має наступний вигляд:

$$A_i = \frac{\max(0, I_i^v)}{\sum_{i=1}^8 \max(0, I_i^v)}, \quad (2)$$

де  $I_i$  – величина похилу із центральної чарунки (вузла) до сусідньої чарунки  $i$ , міні-матриці стоку 3X3;  $v$  є додатною емпіричною константою для моделювання стоку по цифровим моделям рельєфу, який є різного генетичного походження. Ще два десятиріччя тому було встановлено, що при моделюванні стоку за цифровими моделями саме флювіального рельєфу найбільш точні результати можуть бути отримані за умовою коли  $v$  дорівнює 1.1 [11, 12]. Саме на підставі вказаних джерел використовували це зна-

чення в авторських прикладах розподіленого гідрологічного моделювання.

Походячи із цих прикладів можна стверджувати, що у випадку впровадження неоптимізованого (простого) алгоритму стоку (з центральної чарунки) у восьми напрямках, більші за 1.1, але менші за 2 значення  $\nu$  спричиняють гіпертрофовану концентрацію стоку в меншій кількості русел на більшій площі, і мережа флювіального рельєфу стає занадто спрощеною, а показники екстремального стоку в руслах – надвеликими. Навпроти, значення в проміжку 5-9 дають у результаті дуже пересічену малими ерозійними формами поверхню, та значення руслового стоку малої забезпеченості такі, що можуть бути майже на порядок меншими від відповідних емпіричних даних гідрологічних щорічників.

Викладені вище методологічні засади розподіленого гідрологічного моделювання були апробовані й реалізовані в авторському програмному забезпеченні *GIS-Module Ukrainian*. Приклади подібної реалізації надаються в наступній рубриці. Через жорсткі нормативні рамки обсягу статті зупинимося лише на реалізації РГМ максимальних руслових витрат під час весняного сніготанення і не розглядаємо розподілену гідрологічну модель руслових максимумів від дощових паводків.

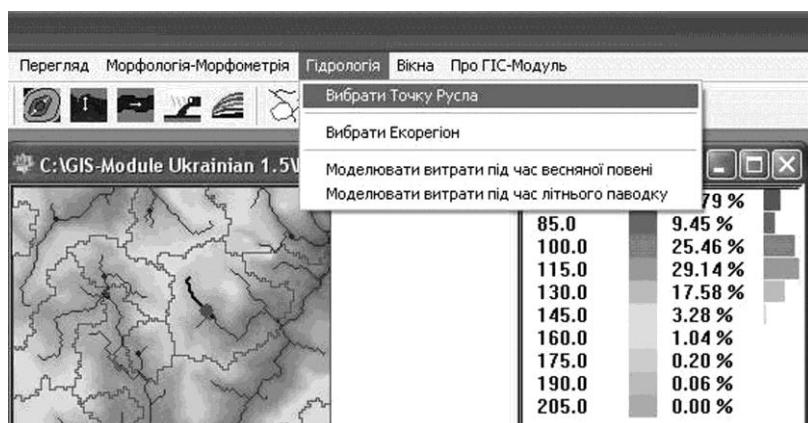
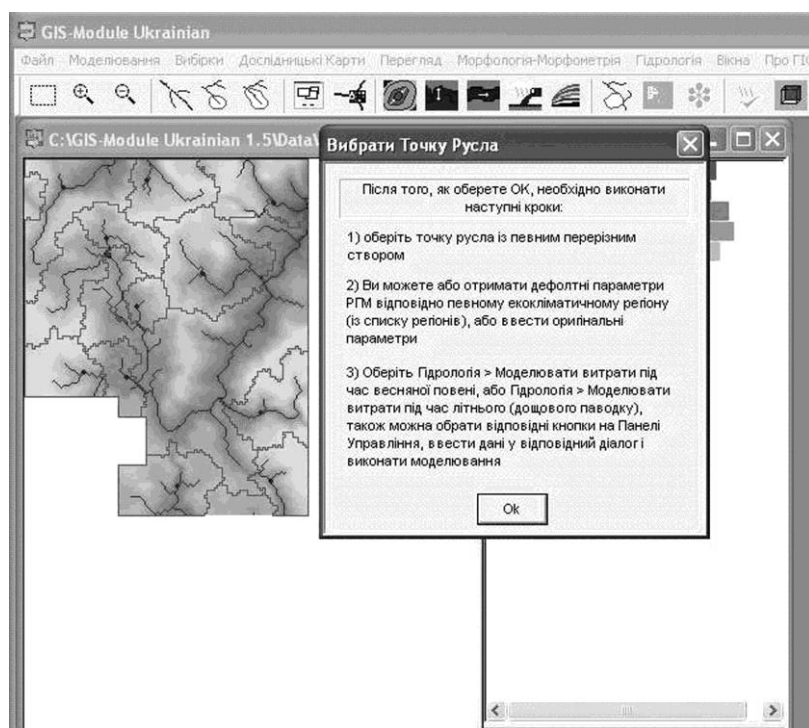
**Середовище гідрологічного інтерфейсу програмного забезпечення *GIS-Module Ukrainian* та приклад реалізації РГМ максимальних руслових витрат під час весняної повені.** Функціональність графічного інтерфейсу користувача нашого ПЗ в її частині, яка стосується розподіленого гідрологічного моделювання, в першому варіанті на алгоритмічному рівні була реалізована ще кілька років тому [1]. Однак ця функціональність є принципово оптимізованою в останній версії програмного забезпечення через ефективне визначення площ елементарних водозборів на підставі понять «довжина ізогіпси – ширина стоку» та «похил схилу», тобто через формальні вирази (1) і (2), які обумовлюють модельне формування стоку на матриці ЦМР. Останнє ж є, як вже підкреслювалося вище, ключовим вхідним параметром РГМ. Інші вхідні параметри моделі є в переважній більшості емпірично-регіональними і подаються тут лише в прикладах ГІК (див. іл. нижче).

В програмному забезпеченні, яке вже детально описувалося в публікаціях [6], було реалізоване предметне меню розподіленого гідрологічного моделювання *Гідрологія* із таким змістом – рис. 2. Якщо вибрати *Гідрологія > Вибрати Точку Русла*, то відкриється наступний діалог-повідомлення, який стисло інструктує щодо необхідних процедур по розрахунку параметрів РГМ руслових витрат від весняної повені (рис. 3). Таким чином, перше, що треба зробити, це вибрати будь-яку точку на одному із русел даної флювіальної мережі. Остання має бути попередньо змодельована по матриці ЦМР через розрахунок площі елементарного водозбору, як це викладено вище.

Необхідно виконувати процедури розподіленого гідрологічного моделювання відповідно до змісту цього діалогу. Припустимо, треба визначити максимальну весняну витрату однієї з невеличких балкових (суха балка) приток р. Сейм у верхів'ях басейну цієї річки, у точці головного русла притоки для забезпеченості стоку в 1 - 2% і 3%. Моделювання для забезпеченості руслового стоку в 1-2% (повінь, що трапляється раз у 100-50 років) є базовим розрахунком в нашому пакеті ПЗ. Для розрахунку забезпеченості в 3% підключається окрема динамічна бібліотека (файл \*.DLL).

За топокартами побудована ЦМР на цю частину басейну р. Сейм. Цифрова модель завантажується в модуль моделювання як файл *Sejm.GRD* – регулярна сітка висот, а потім, через дефолтні параметри, у тому числі і виразів (1) та (2) моделюється її мережа рельєфу через впровадження і обрахунок гідрологічного стоку по матриці ЦМР.

Координати центра водозбору, що замінюється на визначену точку як на гірло, встановлюємо засобами повноформатної ГІС *MapInfo Professional*, яка має бібліотеку географічних проекцій на будь-яку територію (спочатку необхідно зробити імпорт ЦМР із нашого ПЗ в середовище цієї ГІС). Далі в діалозі *Вибрати Точку Русла* натиснемо *OK* та помічаємо певний поперечний створ сухої балки, що відповідає частині річкового басейну, на яку в нас є всі ландшафтні дані, необхідні для розподіленого гідрологічного моделювання. Після цього знову вибираємо меню *Гідрологія* і натискаємо *Моделювати витрати під час весняної*

Рис. 2 – Зміст меню *Гідрологія* пакету моделювання *GIS-Module Ukrainian*Рис. 3 – Діалог-повідомлення *Вибрати Точку Русла*, який пояснює гідрологічне моделювання в даному ПЗ

повені. З'явиться діалог *Ввести параметри моделювання руслових витрат під час повеней* – це параметри оригінальної РГМ розрахунку руслових максимумів під час повеней. В нижній частині діалогу відбиваються відповідні характеристики змодельованих через відповідне визначення ПЕВ мережі і морфології рельєфу. Таким чином визначається водозбірна площа, яка задіяна в розрахунках. Ця площа  $F$  дорівнює  $20,53 \text{ км}^2$ . Сумарна довжина яружно-балкової мережі від витoku до обраного поперечного створу притоки Сейму  $L = 31,8 \text{ км}$ , а середньозважений похил  $J = 0,01169$  (1,169%). Із відповідних інформаційних джерел маємо середні

показники *заболоченості* для басейна Сейму – 5% і *лісистості* – 15%. Залісення більшість рівномірно розподілено по цій площі. Є відомим і той факт, що хоч трохи значної зарегульованості ставками тут немає; заплава не широка, мало заболочена. Для точки з координатами центра басейну за емпіричними картами маємо висоту весняного стоку:  $H_{вс} = 135 \text{ мм}$  (в діалозі моделювання цей показник визначається як  $A_{вс}$  відповідно до формули А. Огієвського)  $t$  (тривалість стоку від сніготанення) = 5,5 доби (рис. 4).

Останнє, що треба зробити перед безпосереднім розрахунком руслових витрат, зробивши це для обґрунтування об'єктивності

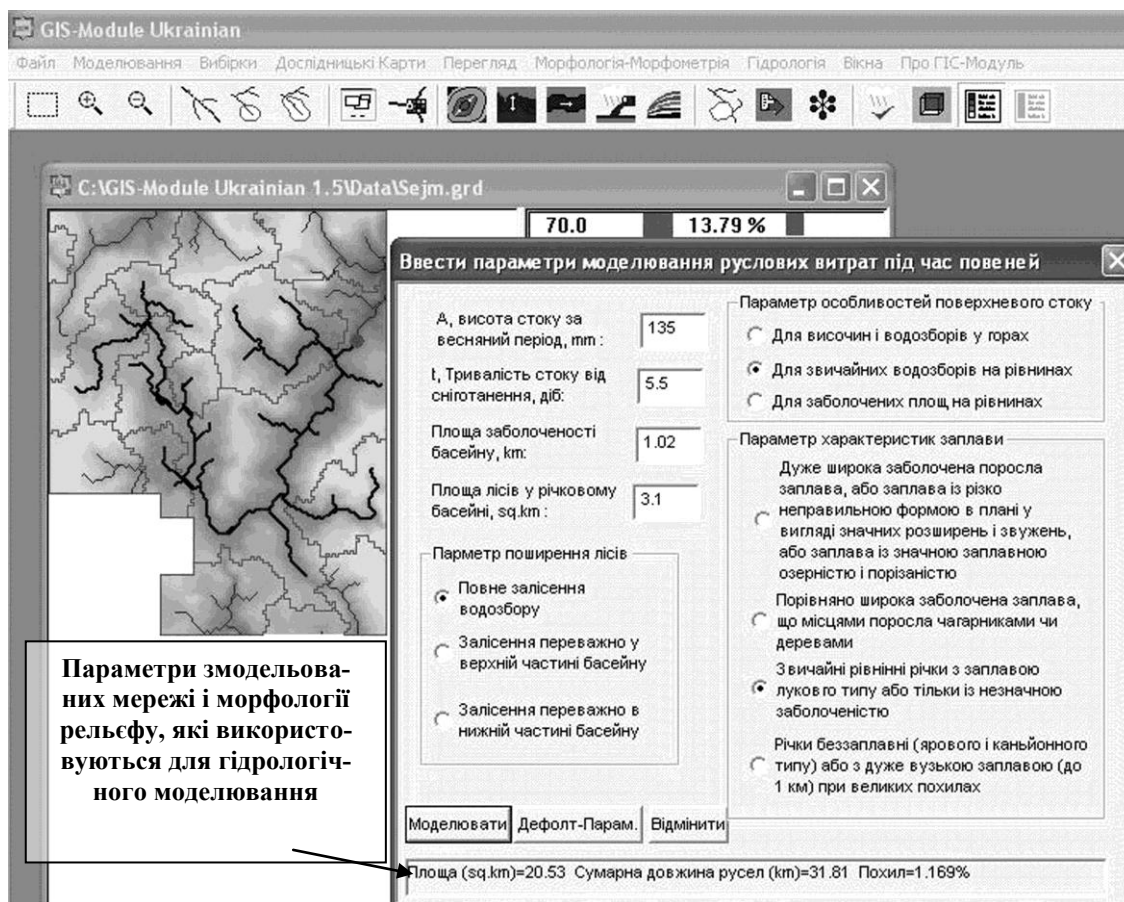


Рис. 4 – Діалог *Ввести параметри моделювання руслових витрат під час повеней* із параметрами відповідно розрахунку максимальних витрат в руслі сухої балки в басейні р. Сейм

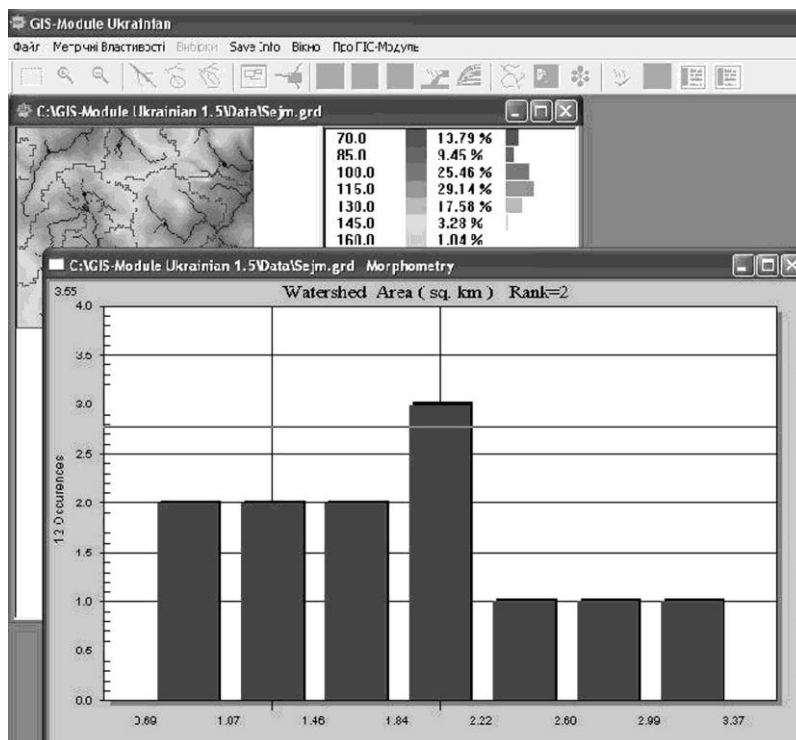


Рис. 5 – Розподіл площ субводозборів 2-го порядку у верхів'ях басейну р. Сейм

розподіленого моделювання – треба перевірити вірогідність редуційних залежностей між модулями максимальних весняних витрат ( $q_{MAX}$ ) та величинами площ субводозборів ( $F$ ) для водозбірної території, щодо якої обраховується витрата. Перевірка здійснюється засобом порівняння змодельованого статистичного розподілу площ із характерним рисунком ізоліній емпіричної карти параметрів  $H_{ec}$  і  $t$ . Для отримання розподілу площ звертаємося до опції головного меню *Морфологія-Морфометрія*, а потім – команди *Площа Водозбору*. В результаті одержуємо гістограму розподілу площ субводозборів 2-го порядку (рис. 5).

Результати порівняння даних, знятих з емпіричних карт параметрів  $H_{ec}$  і  $t$  на цю територію, із цим статистичним розподілом

площ підтверджують вірогідність регіональних редуційних залежностей  $q_{MAX} = f(F)$ . Отже, розрахунок максимальної весняної витрати в руслі сухої балки, який ми здійснюємо, натиснувши *Моделювати* в діалозі (див. рис. 4), можна вважати коректним, а витрата 1-2% забезпеченості дорівнює  $18.1 \text{ м}^3/\text{сек}$  (рис. 6). Як додатковий розрахунок (через підключення відповідної *.DLL*) для забезпеченості в 3% обчислюємо *полегшену витрату*, чис значення через спрощений запис дорівнює:  $Q_{m 3\%} = 18,1 \cdot 0,82 = 14,8 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Таким чином, ми змодельували всі три характерних значення максимальних витрат для певного поперечного створу сухої балки – притоки русла р. Сейм.



Рис. 6 – Діалог-повідомлення результатів моделювання

## ВИСНОВКИ

Розподілена гідрологічна модель водозбору дозволяє робити опис просторової варіації його гідролого-геоморфологічних характеристик, наприклад, характеристик весняного та зливогого екстремального стоку в залежності від визначеного шаблону моделі та її конфігурації.

РГМ в аспекті моделювання через ГІС-засоби передбачає таку модельну конструкцію, яка впроваджує детерміністсько-ймовірнісний розподіл розрахованих величин поверхневого стоку та руслових витрат як дискретно по чарунках ЦМР водозбору, так і через створення єдиної континуальної сутності модельних показників для всього географічного простору певного водозбірного

басейну. Принциповою умовою успішності впровадження розподіленого гідрологічного моделювання є вибір ефективних алгоритмів гідрологічного стоку за цифровою моделлю рельєфу, зокрема – алгоритмів, які забезпечують зрозумілу локалізацію концентрації стоку (утворення русел) і окреслюють площу елементарного водозбірного басейну.

Крім реалізації вказаної умови функціональності та графічний інтерфейс користувача ПЗ для розподіленого гідрологічного моделювання мають (і це подається на відповідних ілюстраціях до статті) забезпечувати на вході моделі низку ключових ландшафтних чинників, які б адекватно описували докільця даного водозбірного басейну.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Костріков С. В. Автоматизований розрахунок за допомогою модуля-додатка ГІС руслових максимумів від талих вод./ С. В. Костріков // Вісник ХНУ. – 2002. – № 563: Геологія – Географія – Екологія. – С. 205-211.
2. Костріков С. В. Реалізація розподіленої гідрологічної моделі руслових витрат від дощових паводків у річковому басейні./ С. В. Костріков. // Людина і довкілля. 2002. Вип. 4. – Х.: Видавництво ХНУ, 2003. – С. 77-81.
3. Geographic information system modules and distributed models of the watershed: the 10<sup>th</sup> Anniversary Report / Ed. P. DeBarry. – The ASCE Task Committee on GIS Modules. – Reston, Virginia, 2009 – 135 p.
4. Костріков С. В. Гідролого-геоморфологічний підхід до дослідження водозбірної організації флювіального рельєфу./ С. В. Костріков. // Український географічний журнал. – 2006. – № 3 – С. 46-54.
5. Костріков С. В. Визначення само організаційних властивостей флювіального рельєфу через фрактальні характеристики гідрологічного режиму водозбору / Костріков С.В., Пересадько В.А.// Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2011.- № 3-4. – С. 13-23.
6. Kostrikov S. GIS-Module Ukrainian – Watershed Modeling Software for Environmental Research Purposes / С.В. Костріков // Часопис соціально-економічної географії. – Вип. 10 (1) – Х.: Видавництво ХНУ, 2011. – С. 58-64.
7. Gallant J. C. TAPES-G: a grid-based terrain analysis program for the environmental sciences. / J. C. Gallant, J. P. Wilson. // Computers and Geosciences. – 1999. – Vol. 22. – 713-722.
8. Костріков С. В. Атрибутивні дані для ГІС і визначення морфолого-морфометричних атрибутів флювіального рельєфу. С. В. Костріков. // Геоінформатика. – 2004. – № 4. – С. 70-77.
9. Костріков С. В. Цифрові моделі місцевості і три напрямки в геоінформаційному моделюванні водозборів./ С. В. Костріков. // Людина і довкілля. 2002. Вип. 3. – Х.: Видавництво ХНУ, 2002. – С.49-54.
10. Костріков С. В. Морфологія рельєфу як керуюча ланка гідролого-геоморфологічного процесу на водозборі / С. В. Костріков, І. Г. Черваньов // Фізична географія та геоморфологія: міжвідомчий науковий збірник. – К., 2009. – Вип. 56. – С. 67-74.
11. Freeman G. T. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. / G. T. Freeman // Computers and Geosciences. – 1991. – Vol. 17. – P. 413-422.
12. Moore I. D. Terrain analysis programs for the environmental sciences. / I. D. Moore. // Agricultural systems and information technology. – 1992. – Vol. 2. – P. 37-41.

Надійшла до редколегії 29.02.2012

УДК 911

**А. В. ХОЛОПЦЕВ**, д-р геогр. наук, доц., **А. А. ШИДЛОВСКАЯ**  
*Севастопольский национальный технический университет*

### ОСОБЕННОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ИЗМЕНЕНИЯМИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУР АКВАТОРИЙ ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЮЖНОЙ АТЛАНТИКИ И ТИХОГО ОКЕАНА

Показано, что, в современный период потепления климата, изменения поверхностных температур акваторий тропической зоны Тихого океана, способны вызывать аналогичные изменения в тропической зоне Южной Атлантики, запаздывающие по отношению к ним на 16 лет. Данный процесс может привести к значительным климатическим изменениям в исследуемом регионе. В свою очередь, это может повлиять на региональные или даже глобальные климатические процессы в климатической системе планеты.

**Ключевые слова:** Глобальный тепловой океанический конвейер, изменение поверхностных температур, Атлантический и Тихий океан, статистическая связь, корреляционный анализ

### Холопцев О. В., Шидловська О. О. ОСОБЛИВОСТІ СТАТИСТИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ЗМІНАМИ ПОВЕРХНЕВИХ ТЕМПЕРАТУР АКВАТОРІЙ ТРОПІЧНОЇ ЗОНИ ПІВДЕННОЇ АТ- ЛАНТИКИ ТА ТИХОГО ОКЕАНУ

Показано, що в сучасний період потепління клімату зміни поверхневих температур акваторій тропічної зони Тихого океану, здатні викликати аналогічні зміни в тропічній зоні Південної Атлантики, запізнити по відношенню до них на 16 років. Цей процес може призвести до значних кліматичних змін у регіоні, що досліджується. В свою чергу, все це може вплинути на регіональні або навіть глобальні кліматичні процеси в кліматичній системі планети.

**Ключові слова:** Глобальний тепловой океанічний конвеєр, зміна поверхневих температур, Атлантичний і Тихий океан, статистичний зв'язок, кореляційний аналіз

@ Холопцев А. В., Шидловская А. А., 2012