

УДК631.4:630\*2:630\*44 (47 7.41/.42)

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГІДРОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В

## ЛІСОВИХ БОЛОТНИХ ЕКОЦЕНОЗАХ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Левченко В. Б.

викладач вищої категорії, викладач-методист, Романюк А. А.

Житомирський агротехнічний коледж, Україна, м. Житомир

*Користуючись результатами гідрологічного моніторингу болотних екосистем Житомирського Полісся, проаналізовано та проведено математичне моделювання основних гідрофізичних процесів в лісо-болотних екологічних системах. При проведенні досліджень по вивченню болотних лісових еда топів типу С<sub>5</sub>, В<sub>5</sub>, D<sub>5</sub> за основу брались експериментальні методики визначення гідродинамічного режиму в болотах, що на сьогоднішній день у зв'язку зі зміною вологозабезпечення лісових еда топів є надзвичайно актуальним. Доведено, що лісові болотні екосистеми, особливо ті, які сформовані в лісових еда топах С<sub>4-5</sub>, D<sub>4-5</sub> характеризуються досить високою динамічністю. Цей фактор в свою чергу впливає як на ступінь їх обводненості, так і на здатність утримувати вологу. Гідродинаміка болотних еда топів Житомирського Полісся полягає у формуванні особливих гідростатичних умов, при яких всі фізичні тіла, які в них потрапляють знаходяться в напівзануреному стані. Тому більшість Поліських лісових боліт, сформованих в типах лісу В<sub>5</sub>, С<sub>5</sub>, D<sub>5</sub>, є регуляторами підґрунтового стоку на водозбірних площах і в свою чергу обумовлюють живлення малих річок Житомирської області.*

*Ключові слова: торф'яники, верхові болота, гідрофізика, фізико-математична модель, низинні болота, евторфне болото, верховий торф, сплавина, торфорозробка, енергозбереження, ресурсозбереження.*

*V. Levchenko, Ph. D. Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor; A. Romanyuk, teacher of higher category, teacher-methodologist, Mathematical model of hydrophysical processes in forest ecocenosis Zhytomir polish / Zhytomir Agrotechnical College, Ukraine, Zhytomyr*

*Using the results of hydrological monitoring of the bog ecosystems of Zhytomyr Polissya, the mathematical modeling of the main hydrophysical processes in forest-bog ecological systems was analyzed and carried out. In conducting studies on the study of swamp forest feeds of the type C<sub>5</sub>, B<sub>5</sub>, D<sub>5</sub>, the first tested methods for determining the hydrodynamic regime in swamps were taken as the basis, which today is very relevant due to the change in the moisture supply of forest edible species. It is proved that forest marsh ecosystems, especially those formed in forest edapops C<sub>4-5</sub>, D<sub>4-5</sub>, are characterized by a rather high hydrostatic dynamism. This factor, in turn, affects both the degree of their wateriness and the ability to retain moisture. The hydrodynamics of the marsh edomoles of Zhytomyr Polissya consists in the formation of special hydrostatic conditions in which all the physical bodies that fall into them are in a semi-immersed state. Therefore, most of the Polissya forest swamps formed in forest types B<sub>5</sub>, C<sub>5</sub>, D<sub>5</sub> are regulators of subsoil drainage in catchment areas and in turn determine the supply of small rivers of Zhytomyr region.*

*Key words: peat bogs, mountain bogs, hydrophysics, physico-mathematical model, lowland swamps, eutrophic bog, peat peat, alloy, peat development, energy conservation, resource conservation.*

**Вступ.** Болота Житомирського Полісся - це стійкі екологічні системи. Їх стійкість забезпечується складністю та значною кількістю взаємопов'язаних лісових компонентів і біологічних взаємозв'язків. Болотні ареали Житомирського Полісся важливі не лише для

представників флори та фауни цього регіону, зокрема: звірів і птахів, риб і комах, рослин, грибів та лишайників, вони відіграють першочергову роль для тих, хто здійснює лише частину свого життя на болотах. У болотах гніздяться і годуються багато птахів: тетерева, глухарі, рябчики, біла куріпка, кормовою базою для яких є ягоди на торфовищах.

**Загальна постановка проблеми і її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями.** Закони природи призводять до формування певного порядку з первісного хаосу і потім проходить процес систематизації і розвитку природних структур. Чи існує загальний підхід до опису динамічних колективних явищ в багатокомпонентних системах, що володіють властивістю самоорганізації? Чи можливе подальше вдосконалення і ускладнення сформованої природної структури? Крім теоретичного інтересу, вивчення фізичних процесів, що відбуваються в болотних екоценозах Житомирського Полісся, велике практичне значення має дослідження гідрофізичних процесів, що проходять в болотних екосистемах під час потрапляння на їх поверхню фізичних тіл. Тому є необхідність дослідження та глибокої детальної оцінки з точки зору гідрофізики та прикладних математичних досліджень внутрішніх процесів болотних екосистем Житомирського Полісся. В подальшому це дасть можливість більш детально вивчити властивості рідин в лісових болотних екосистемах типу  $B_5$ ,  $C_5$ ,  $D_5$ , а також вивчити особливості трясовинних боліт Житомирського Полісся.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких розпочато вирішення даної проблеми і на які спирається автор.** Дослідження болотних трясовинних об'єктів проводили в умовах 16, 24 та 56 кварталів урочища Висока Піч та Глибочок, які адміністративно відносяться до Державного підприємства Зарічанське лісове

господарство. Трясовина сама по собі має досить цікаві гідрофізичні особливості. Вона по-різному реагує на все, що потрапляє в неї, зокрема живі і неживі об'єкти, але не занурює неживі фізичні тіла [3, с.12-16]. Ця властивість трясовини з точки зору математичного моделювання заслуговує на особливу увагу і цікавить нас в першу чергу. З гідрофізичної точки зору трясовину, можна вважати рідиною [1, с.12-24], а тому на всі фізичні тіла, що потрапили в неї повинна діяти архимедова сила [8, с.36-78, 10, с.24-89]. Це дійсно так, і предмети, навіть великої густини, яка набагато перевищує щільність людського тіла в трясовині не тонуть. Але варто потрапити в трясовину живому організму, наприклад людині або іншій живій істоті – вони відразу починають занурюватись [3, с.26-34, 11, с.45-67]. При таких умовах, вони цілком поринуть у трясовину, хоча густина їх тіла набагато менша інших природних фізичних тіл [3, с.34-55]. Том постає цілком логічне питання, - чому трясовина поводить ся настільки несподіваним чином і як вона забезпечує гідродинамічне поглинання живих і неживих фізичних об'єктів [2, с.23-46, 9, с.54-68, 10, с.23-46]. Щоб відповісти на ці питання, нам доведеться докладніше вивчити гідрофізичні властивості трясовинних районів Житомирського Полісся. Необхідно відзначити, що саме тлумачення терміну «трясовина» описує нечіткий гідрофізичний об'єкт без встановленої математичної складової.

**Формулювання мети статті і завдань.** Метою досліджень було вивчення гідрофізичних процесів в трясовинних торфових болотних екосистемах Житомирського Полісся, а також рослинність евтрофних боліт, моделювання гідрофізичних та фізико-математичних процесів, що проходять в болотних екосистемах. Було проаналізовано генезис боліт в лісових екосистем Житомирського Полісся [5, с.47-78, 8, с.45-68].

Завданнями досліджень було проаналізувати генезис утворення евтрофних боліт Житомирщини та визначити фізико-динамічні процеси які в них відбуваються, охарактеризувати рослинний склад, розкрити гідродинамічні процеси, в умовах болотних екосистем Житомирського Полісся, а також дати практичні рекомендації щодо раціонального використання болотних екосистем в умовах Житомирського Полісся. Для проведення досліджень по вивченню болотних екосистем Житомирського Полісся нами було закладено п'ять пробних площ в умовах болотних лісових едатопів Державного підприємства Зарічанське лісове господарство, та пробні площі в умовах 22, 23 лісових кварталів урочища Висока Піч. Проведення обліків здійснювали по прокладених маршрутах пересування в умовах заболоченої місцевості [8, с.37-87]. Для проведення обліків використовували інноваційну методику обстеження пробних площ лісових масивів [6, с.38-69]. Визначення ступеня заболочення території поводили згідно гідрометричної шкали визначення болотних екосистем [7, с.66-89]. Класифікацію болотних екосистем визначали за рослинами-індикаторами [3, с.86-92, 6, с.45-67].

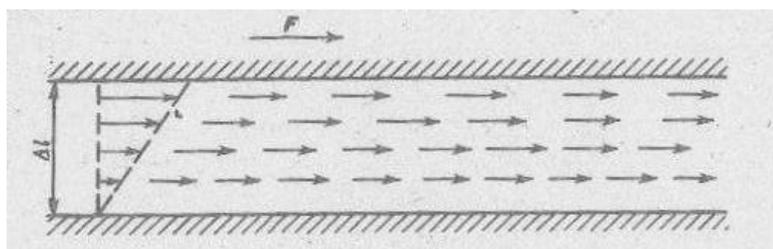
**Виклад основного матеріалу статті.** На сьогоднішній день в практичній лісовій тельматології відомо більше 40 видів боліт, тому фізичні властивості болотних лісових едатопів варіюють в дуже широких межах, і наведені нижче чисельні значення слід розглядати як наближені. Перейдемо до розгляду тих фізичних властивостей лісової трясовини, які відіграють вирішальну фізичну та гідродинамічну роль в умовах болотних лісових едатопів. Почнемо зі щільності. Як відомо, щільністю називається маса одиниці об'єму речовини і саме від неї залежить величина архимедової сили, що діє на занурене в рідину фізичне тіло [4, с.56-68]. Архимедова сила

спрямована вертикально вгору і її значення можна знайти за формулою:

$$P_a \sim P_g \cdot V; [4, \text{с. 63}]$$

де:  $p$  - щільність рідини;  $g$  - прискорення сили тяжіння;  $V$  - об'єм тієї частини тіла, яка занурена в рідину. Щільності різних видів болотних ґрунтів в умовах урочища Висока Піч коливаються в межах 1,2-2,6 г/см<sup>3</sup>. Слід звернути увагу на те, що щільність трясовини більша щільності води і при однаковому ступені занурення, трясовина буде виштовхувати тіло з більшою силою, ніж вода. Наступна важлива характеристика болотних ґрунтів яка простежується в умовах 24 кварталу 6 виділу вищезгаданого урочища - це липкість, тобто здатність ґрунту у вологому стані прилипати до поверхні фізичних тіл, що вводяться в нього, наприклад робочих частин ґрунтообробних знарядь, коліс машин і т. д. Це прилипання викликається так званими адгезійними силами - силами взаємного тяжіння молекул на дотичних поверхнях [8, с.45-67]. Проявляється липкість тоді, коли зчеплення між ґрунтовими частинками стає менше того, яке виникає між ґрунтом і дотичними з нею фізичними тілами. Необхідно зазначити, що липкість є характеристикою саме ґрунтів, а не контакту у схемі «ґрунт - предмет», тому липкість не залежить від матеріалу, який вводиться в ґрунт, якщо звичайно ґрунт взагалі прилипає до досліджуваного зразка. Липкість прийнято вимірювати зусиллям в грам/см<sup>2</sup>, потрібним для відриву від ґрунту предмету, який знаходиться на його поверхні [8, с.48-58]. Липкість лісових ґрунтів залежить від їх вологості та складу - наприклад, при підвищенні вмісту солей натрію, липкість збільшується. Липкість гранично липких ґрунтів становить приблизно 80 грам-сил/см<sup>2</sup>, але зазвичай вона має значення в кілька разів менше - так, для сирого піску значення липкості 0,5 грам-сил/см<sup>2</sup>. Не слід плутати липкість з поверхневим натягом - це різні величини, що

мають різний фізичний зміст і різну розмірність. Звичайно, вони пов'язані між собою, але заглиблюватися в це питання особливо не варто, оскільки поверхневий натяг відіграє в болотних гідрофізичних процесах малу роль. Дійсно, поверхневий натяг трясовини в умовах лісових болотних екосистем урочища Висока Піч ненабагато відрізняється від поверхневого натягу води, і неважко підрахувати, що зумовлені ним сили виявляються близькими до 7-10 грам-сил/см<sup>2</sup>. Це значно менше інших сил, зокрема ваги і сили Архімеда, що діють на фізичне тіло яке занурене в трясовину, тому поверхневий натяг ми надалі враховувати не будемо. Залишилося розглянути ще одну характеристику болотних лісових ґрунтів - в'язкість. Ця властивість буде відігравати важливу роль в подальших дослідженнях. Що таке в'язкість? Помістимо тонкий шар рідини між двома паралельними плоскими пластинами, розташованими на відстані  $D_1$  одну від одної. Якщо до верхньої пластини прикласти силу в дотичному напрямку, то вона почне рухатися відносно нерухомої нижньої поверхні. Ця ситуація зображена на рисунку 1.



**Рис. 1. Визначення в'язкості рідини між двома дотичними пластинами**

Під час руху шарів рідини відносно один одного, в рідині виникають сили внутрішнього тертя. Кількісною характеристикою цих сил є коефіцієнт в'язкості, який будемо називати просто в'язкістю. Що це за величина? Якщо на верхню пластину в дотичному напрямку діє сила  $F$ , то швидкість пластини буде зростати до тих пір, поки на неї діє з боку рідини сила тертя яка не врівноважує силу  $F$ . Подальший

рух буде рівномірним зі швидкістю  $v$ . Коефіцієнт пропорційності між  $v/\Delta l$  і напругою  $m$  (напругою називається сила, що діє в дотичному напрямку на одиницю площі верхньої пластини)  $v/\Delta l$ , і є в'язкістю, формула (1).

$$\tau = \eta \frac{v}{\Delta l} \quad (1).$$

Таким чином, чим більша в'язкість, тим більшу силу треба прикласти до верхньої пластини щоб досягти заданої швидкості руху. Перетворимо при цьому співвідношення (1), і отримаємо формулу (2):

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2).$$

де:  $\Delta x$  – зміщення верхньої пластини відносно нижньої за певний проміжок часу  $\Delta t$ . Тому ми маємо вираз:

$$\tau = \eta \frac{v}{\Delta l} = \eta \frac{\Delta x}{\Delta t \Delta l} = \eta \frac{1}{\Delta t} \left( \frac{\Delta x}{\Delta l} \right) \quad (3).$$

А що таке  $\frac{\Delta x}{\Delta l}$  це тангенс кута  $\Delta \gamma$ , зображеного на рисунку 1,  $\Delta \gamma$  - кут, на який зміщується точка А, за час  $\Delta t$ .

При малих  $\Delta x$ , кут  $\Delta \gamma$  теж малий, а відомо, що тангенси малих кутів приблизно рівні за величиною самим кутам (кути при цьому треба вимірювати в радіанній величині), і тому співвідношення (3) записується у вигляді формули (4):

$$\tau = \eta \frac{\Delta \gamma}{\Delta t} \quad (4).$$

Рівняння (4), що встановлює зв'язок між напругою і швидкістю зміни кута, називається реологічним рівнянням [4], а графік залежності між напругою  $m$ , та швидкістю зсуву  $\frac{\Delta \gamma}{\Delta t}$  називається реологічною кривою [8, с. 45-68] (рисунок 2).

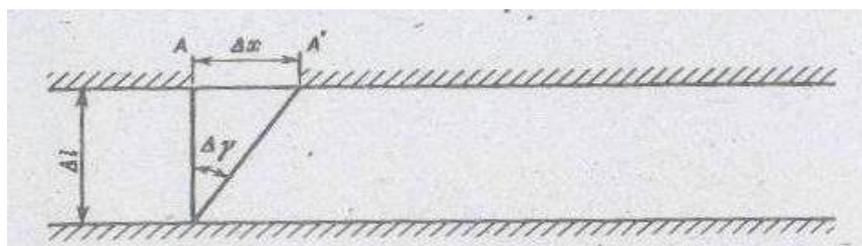


Рис. 2. Графік реологічної кривої в насичених розчинах

Для багатьох рідин в'язкість залежить лише від температури і тиску, але не залежить від швидкості зміни кута  $\frac{\Delta\gamma}{\Delta t}$ , тому їх реологічна крива є прямою, що проходить через початок координат (рисунок 3). Такі рідини називаються ньютонівськими, до них відносяться вода, бензин, спирт, гліцерин та багато інших. Однак існують рідини, для яких реологічна крива не є пряма, і проходить через початок координат. Такі рідини називаються не ньютонівськими, а їх можливі реологічні криві зображені на рисунку 4. Реологічна крива і цікавитиме

нас найбільше. Вона описується реологічним рівнянням:  $\tau = \eta_p \left( \frac{\Delta\gamma}{\Delta t} \right) + \tau_0$

(5) яке називається рівнянням Бінгама-Шведова (Ф. Н. Шведов запропонував його в 1889 р, Б. Бингам - в 1916 г.). Коефіцієнт  $\eta_p$  у формулі (5) називається пластичною в'язкістю, а  $\tau_0$  - критичною напругою. Ті не ньютонівські рідини, які мають реологічну криву 1 і описуються рівнянням Бінгама-Шведова (5), називаються бінгамовськими рідинами. До них відносяться олійні фарби, деякі смоли, лаки, суспензії типу глинистих паст і бурових розчинів, а також деякі типи лісових болотних ґрунтів.

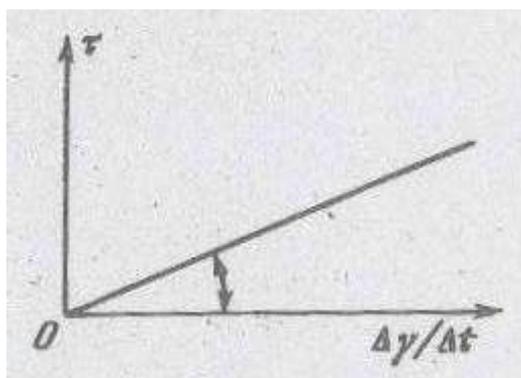


Рис. 3. Реологічна крива ньютонівських рідин

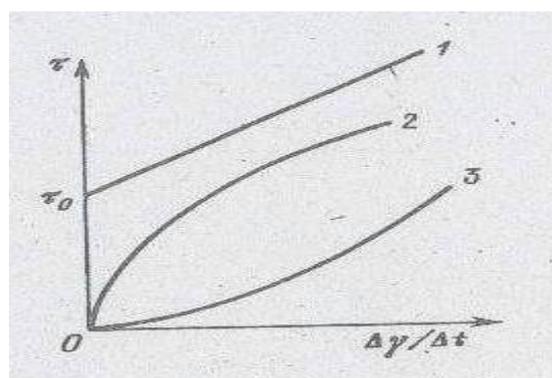


Рис. 4. Реологічна крива не ньютонівських рідин

Реологічна крива 1 на рисунку 4 і її рівняння (5), записане у

виді  $\frac{\Delta\lambda}{\Delta t} = (\tau - \tau_0) / \eta_p$  (6), дозволяють зрозуміти основну особливість бінгамовських болотних рідин. Вона полягає в тому, що такі рідини при малих напругах не течуть. До того моменту, поки напруга зсуву  $\tau$

не перевищить критичного значення  $\tau_0$ , бінгамовська рідина чинить опір зрушенню як тверде тіло. Але як тільки  $\tau$  перевищить межу плинності  $\tau_0$  - бінгамовська рідина потече як звичайна ньютонівська рідина. Якщо напругу знову зменшити - текучість знову припиниться. Трясовина болотних ґрунтів є бінгамовською рідиною. Те, що вона по-різному реагує на занурення в неї живих та неживих об'єктів, теж обумовлено саме її бінгамовськими властивостями. Давайте подивимося, чим плавання тіл в ньютонівських рідинах відрізняється від плавання в бінгамовських.

Розглянемо як плаває тіло в ньютонівських рідинах, наприклад у воді. Піднесемо до поверхні води фізичне тіло, щільність якого менше її щільності, і відпустимо його. Через деякий час встановиться стан рівноваги: тіло буде занурено до такого рівня, при якому архимедова виштовхуюча сила дорівнює вазі тіла. Цей стан рівноваги є стійким - якщо на тіло подіяти зовнішньою силою і втопити його глибше (або навпаки, підняти вгору), то після припинення дії сили, воно повернеться в попереднє положення. Рівень занурення, при такому положенні, коли архимедова сила дорівнюватиме вазі тіла, ми будемо називати рівнем нормального занурення [5, с.46-84]. Зверніть увагу на те, що рівень нормального занурення визначається тільки співвідношенням щільності і не залежить від в'язкості рідини. Трясовина утворена на торфоболотних ґрунтах не є ньютонівською рідиною.

Як плавають фізичні тіла в бінгамовських рідинах. Піднесемо тіло до поверхні бінгамовської рідини і опустимо його. Якщо тіло досить легке і воно чинить малий тиск, то напруги, що виникають в рідині будуть менше порогу плавання, і рідина буде вести себе як тверде тіло. Тобто предмет може стояти на поверхні рідини і не занурюватиметься. З одного боку, це наче б то добре. Саме завдяки

цій властивості, гусеничні всюдиходи з малим тиском на ґрунт легко долають непрохідні для людини болота. Та й людина, за допомогою спеціальних «болотоходів» або мокроступів може знизити тиск на ґрунт і відчувати себе на болоті у відносній безпеці. Але у цього явища є й інша сторона. Вже сам факт того, що занурення тіла припиняється за наявності нерівності ваги і сили архімеда, насторожує - все відбувається не так, як зазвичай. Уявімо собі, що вага нашого тіла досить велика і воно почне занурюватися. Доки ж буде відбуватися це занурення. Ясно, що не до тих пір, коли архимедова сила зрівняється з вагою. При зануренні тіла, архимедова сила буде частково компенсувати вагу, тиск на ґрунт буде зменшуватися і настане момент, коли напруги знову стануть менші  $t_0$ . При цьому бінгамовська рідина перестане текти і тіло зупиниться раніше, ніж архимедова сила стане дорівнюватиме вазі. Такий стан, коли архимедова сила менша за вагу, але далі тіло не занурюється, називається станом недозанурення (рисунок 5а) [8, с.34-73]. А тепер - найголовніше. Якщо в рідині можливий стану недозанурення, то з тих же причин можливий і стан перезанурення, в яких архимедова сила більша ваги, але тіло не спливає (рисунок 5в). Якщо в результаті яких-небудь дій людина опускався нижче рівня нормального занурення, то архимедова сила ставала більше ваги і повертала його назад. У бінгамовській рідині нічого аналогічного (при досить великій  $t_0$ ) не відбувається. Занурившись в трясовину фізичне тіло вже не спливе назад, а буде перебувати в перезануреному стані. Тепер можна надати більш точний зміст слова «затягування». Воно означає прагнення трясовини втопити живі об'єкти нижче рівня нормального занурення - в перезануреному стані. Нам залишилося розібрати, чому болотна трясовина засмоктує, тобто заволікає в перезанурений стан тільки живі об'єкти.

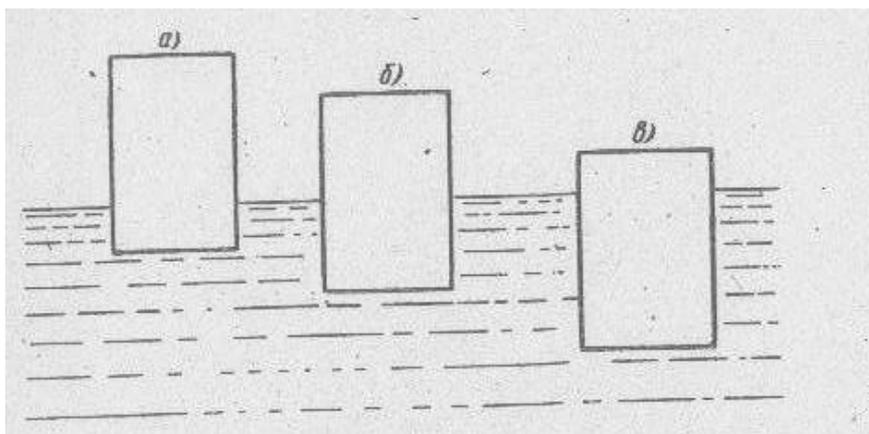


Рис. 5. Характер поведінки фізичних тіл в бінгамовських рідинах.

Живі об'єкти перезанурюються тому, що потрапивши в трясовину, вони рухаються, тобто змінюють взаємне розташування частин свого тіла. Це веде до перезанурення з чотирьох причин.

Причина перша. Відповідно до третього закону Ньютона сила, що діє на ваші руки з боку вантажу, теж буде більшою за його вагу. Тому сила, з якою ваші ноги тиснуть на опору, збільшиться. Якщо ви стоїте в трясовині, то спроба підняти вантаж, який ви тримаєте в руках, призведе до того, що ноги потонуть у трясовині глибше. Якщо ви знаходитесь на рівні нормального занурення, то спроба просто підняти руку призведе до перезанурення. В даному випадку перезанурення буде дуже незначним, але воно буде незворотним, і багаторазові рухи можуть призвести до перезанурення на більшу глибину.

Причина друга. Трясовина має велику липкість і щоб відірвати, наприклад, руку від поверхні трясовини, потрібно прикласти силу. При цьому тиск на опору зростає і відбуватиметься перезанурення.

Причина третя. Трясовина є в'язкою рідиною і чинить опір рухомим в ній предметам.

Причина четверта. Для подолання гідрофізичної сили напівзанурення доводиться долати не лише сили обумовлені

липкістю і в'язкістю, але і сили, пов'язані з атмосферним тиском. Під фізичним тілом, що намагається переміститися в трясовині будуть виникати області зниженого атмосферного тиску, і атмосферний тиск буде з великою силою тиснути на фізичне тіло вниз, заштовхуючи його в перезанурений стан. Спільна дія всіх чотирьох причин призводить до наступного ефекту: зміна форми потрапившого у трясовину фізичного тіла веде до його перезанурення. Тому неживі тіла при попаданні в трясовину не змінюють своєї форми і причини для їх перезанурення відсутні.

### **Висновки.**

1. Лісові болотні екосистеми Житомирського Полісся в умовах лісових едатопів C<sub>4-5</sub>, D<sub>4-5</sub> характеризуються досить високою гідростатичною динамічністю, що в свою чергу гіпотетично впливає на формування як поверхневого так і підґрунтового стоку на цих територіях.

2. Фактор гідродинамічної текучості бінгамовських рідин в свою чергу впливає як на ступінь обводненості низинних та верхових боліт Житомирського Полісся, так і на здатність утримувати ними вологу. Це особливо важливо при меженному стоці, коли рівень води в низинних болотах знижується до мінімуму, що призводить до пересихання малих річок Житомирської області, так як в своїй більшості всі вони беруть свій початок саме з боліт.

3. Математична модель гідрофізичних процесів в низинних болотах Житомирської області показала, що гідродинаміка болотних едатопів Житомирського Полісся полягає у формуванні особливих гідростатичних умов, при яких всі фізичні тіла які в них потрапляють знаходяться в напівзануреному стані.

4. Унікальність лісових боліт Житомирської області полягає у їх формуванні в умовах лісових едатопів B<sub>5</sub>, C<sub>5</sub>, D<sub>5</sub>. Тому вони є

оптимальними регуляторами як поверхневого так і підґрунтового стоку на водозбірних площах та водорозділах малих річок Житомирської області.

Перспективи подальших досліджень в цьому напрямку полягають у вивченні динаміки підґрунтового стоку в умовах низинних боліт Житомирського Полісся, а також обґрунтування заходів по запобіганню їх пересихання в літній меженний період.

### **Литература:**

1. Елина Г. А. (2014). Чтобы болота не стали пустошью. *Природа*, 9, 34-43.
2. Кадомцев Б. Б. (2016) Что такое синергетика Полесских болот? *Природа*, 8, 2-11.
3. Кирпотин С. Н. (2010). *Ландшафтная экология с основами управления окружающей среды*. Томск, 179.
4. Сальников В. Н. (2013). Вихрь, рванувший из болот. *Природа и человек*, 7, 37-38.
5. Сальников В. Н. (2016). *Электромагнитные системы литосферы и техногенеза, аномальные явления*. Томск, 384.
6. Салаев А. М. (2014). Энергоинформационная модель кристаллографической самоорганизации травертиновых чаш на примере Томской Области. *Тельматологическая наука: гидрологические и климатические особенности современности. (14-16 октября 2014 г., г. Москва)*, 3, 173-175.
7. Сараев В. А. (2012). *Вихревые системы Земли*. Томск, 166.
8. Свирижев Ю. М. (2010). *Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии*. Москва, 368.
9. Сергеев А. Н., Руднев С. В. (2014). *JCS моделирование роста и деформации кристаллов*. Томск, 209.

10. Фриш В. А. (2013). «Окна» верховых болот. *Природа*, 12, 76-79.
11. Хакен Г. (2012). *Синергетика в болотных экосистемах Украинского Полесья*. Москва, 404.

**References:**

1. Elyna H. A. (2014). Chtoby bolota ne staly pustoshiu. *Pryroda*, 9, 34-43. [in Russian].
2. Kadomtsev B. B. (2016) Chto takoe synerhetyka Polesskykh bolot? *Pryroda*, 8, 2-11. [in Russian].
3. Kyrpotyn S. N. (2010). *Landshaftnaia ekologiya s osnovamy upravleniya okruzhaiushchei sredy*. Tomsk, 179. [in Russian].
4. Salnykov V. N. (2013). Vykh, rvanuvshyi yz bolot. *Pryroda y chelovek*, 7, 37-38. [in Russian].
5. Salnykov V. N. (2016). *Elektromahnytnye systemy lytosfery y tekhnoheneza, anomalnye yavleniya*. Tomsk, 384. [in Russian].
6. Salaev A. M. (2014). Enerhoynformatsyonnaia model krystallohrafycheskoi samoorhanyzatsyy travertynovykh chash na prymere Tomskoi Oblasty. *Telmatologhycheskaia nauka: hydrolohycheskye y klymatycheskye osobennosty sovremennosty*. (14-16 oktaybria 2014 h., h. Moskva), 3, 173-175. [in Russian].
7. Saraev V. A. (2012). *Vykhrevye systemy Zemly*. Tomsk, 166. [in Russian].
8. Svyrezhev Yu. M. (2010). *Nelyneinye volny, dyssypatyvnye struktury y katastrofy v ekologyy*. Moskva, 368. [in Russian].
9. Serheev A. N., Rudnev S. V. (2014). *JCS modelyrovanye rosta y deformatsyy krystallov*. Tomsk, 209. [in Russian].

10. Frysh V. A. (2013). «Okna» verkhovykh bolot. *Pryroda*, 12, 76-79. [in Russian].
11. Khaken H. (2012). *Synerhetyka v bolnykh ekosystemakh Ukraynskoho Polesia*. Moskva, 404. [in Russian].