

УДК 631:556.5:528.9

ГЕОМОДЕЛЮВАННЯ ЗОНАЛЬНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЗАБРУДНЕННЯ БІОГЕННИМИ РЕЧОВИНАМИ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У ТРАНСКОРДОННОМУ БАСЕЙНІ ДНІПРА

В. І. ПІЧУРА, кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри екології та сталого розвитку
Херсонський державний аграрний університет
E-mail: pichuravitalii@gmail.com

В останні десятиліття на фоні зниження природної родючості ґрунтів відбулося значне збільшення світового виробництва зернових за рахунок інтенсифікації або «хімізації» сільського господарства. Це привело до значного підвищення ґрунтово-ерозійної міграції високотоксичних речовин і погіршення екологічного стану значної частини водозбірних територій і ерозійно-руслених систем далеко за межами первинних осередків забруднення. Вперше із застосуванням геоінформаційних систем та технологій дистанційного зондування Землі проведений розрахунок коефіцієнту надходження наносів та просторовий розподіл дифузного забруднення зваженими речовинами, здійснено геомоделювання та визначена небезпека забруднення біогенними речовинами поверхневих вод басейну річки Дніпро. Отримані результати дають можливість визначити та розробити першочергові потреби у впровадженні адаптивно-ландшафтного протиерозійного проектування з елементами ґрунтозахисного землеробства для раціонального використання та оздоровлення земельних і водних ресурсів транскордонного басейну Дніпра.

Ключові слова: ґрунтово-ерозійні процеси, забруднення поверхневих вод, біогенні речовини, коефіцієнт надходження наносів, дифузне забруднення зваженими речовинами, річковий басейн, річка Дніпро, геомоделювання, ГІС-технології

Актуальність. Ерозія представляє собою єдиний комплекс процесів руйнування ґрунтового покриву, переміщення та перерозподіл наносів на схилах при поверхневому стіканні води, що у геохімічному розумінні у подальшому зумовлює процес міграції і перерозподілу мінеральних та хімічних речовин в ландшафтах і в системі суша-океан. На сільськогосподарсько-освоєних територіях водозбірних басейнів ерозія ґрунтів являється найбільш потужним з екзогенних механізмів міграції речовин на земній поверхні. Зі стоком річок (об'ємом близь-

ко 45 тис. км³) у моря, океани і в зони внутрішнього стоку щорічно надходить 17 млрд т мінеральних часток і 3,5 млрд т розчинених речовин [1]. Значний вплив природно-антропогенної ерозії на формування басейнної складової річкового стоку наносів свідчить 5-8-разове збільшення модулів стоку наносів із сільськогосподарсько-освоєних рівнинних річкових водозборів [2].

Для оцінки сучасного екологічного стану ландшафтів і поверхневих вод найбільший інтерес представляють два сліdstва ґрунтово-ерозійної міграції речови-



ни: 1) вивезення з орних схилів поживних речовин, перш за все біогенів (азоту, фосфору і калію – NPK), які містяться в ґрунті і внесених добривах; 2) зниження якості і забруднення водних ресурсів внаслідок ерозійної акумуляції мінеральних і хімічних речовин, у тому числі токсичних і радіоактивних.

В останні десятиліття на фоні зниження природної родючості ґрунтів відбулося значне збільшення (практично у 2 рази) світового виробництва зернових за рахунок інтенсифікації або «хімізації» (внесення високих доз добрив, застосування пестицидів тощо) сільськогосподарства. Це призвело до значного підвищення ґрунтово-ерозійної міграції високо-токсичних речовин (важкі метали, пестициди, радіонукліди) і погіршення екологічного стану значної частини водозбірної території і ерозійно-руслонних систем далеко за межами первинних осередків забруднення. Біогенні речовини, які надходять у водні екосистеми разом із мінеральним субстратом зі схилів, сприяють евтрофікації водойм і знижують якість водних ресурсів. Джерелами надходження у природні води азоту, фосфору і калію являються промислові і побутові стоки, але основна частка від загальної суми надходжень біогенних речовин припадає на сільськогосподарські джерела [3]. Модуль річкового стоку фосфору із сільськогосподарсько-освоєних територій у 10-15 разів перевищує цей показник для земель, зайнятих лісами [4]. Високі концентрації в поверхневому стоці мінеральних часток, навіть нейтральних за токсичністю, знижують якість вод, викликають додаткові витрати на їх очищення, ремонт і відновлення іригаційних мереж, а в довгостроковій перспективі призведуть до замулення і деградації річкових систем. У результаті ерозії з орного шару ґрунтів виносяться як валові, так і рухомі форми біогенів. Валові форми переносяться зі

зливом ґрунту, а рухливі також із стоком талих і дощових вод. Мінеральний азот виносяться, головним чином, поверхневими водами, а фосфор, найбільш міцно пов'язаний із ґрунтовим субстратом і переноситься, в основному, з дрібними частинами ґрунту.

Найбільші втрати біогенних речовин спостерігаються на просапних культурах, менше на полях, зайнятих культурами суцільної сівби, однорічними і багаторічними травами. Недостатня тривалість рядів спостережень, відсутність єдиної методики і різноманітність умов досліджень не дають можливості визначити норму виносу біогенів хоча б у цілому для будь-якої природної зони [5], можна лише відзначити, що інтенсивність виносу валових форм і, в більшості випадків, рухомих форм NPK пропорційні інтенсивності змиву мінерального субстрату, а винос рухомих форм зі стоком наносів на порядок перевищує величину виносу в розчині. В екологічному відношенні (зниження урожаю, евтрофікація водойм) важливо оцінити міграцію саме рухомих форм біогенів. Їх уміст у наносах, як і частка розчинених речовин, залежить від багатьох факторів: інтенсивності ерозії, оброблюваної культури, кількості внесених добрив, сезону року тощо. Залежно від цих чинників співвідношення виносу загальних форм біогенів із наносами і в розчиненому вигляді варіює в надзвичайно широкому діапазоні. Концентрація іонів у літні паводки в 1,8-3,1 рази вище періоду повені [6].

У разі достатньо високої просторової варіації міграції рухомих форм біогенів (до 60-70 %), завдання щодо її точної кількісної оцінки представляється неможливим без використання моделей ерозії, що описують кожен локальний епізод стоку в окремих різнопорядкових водозбірних басейнах (типу моделі *RUSLE*). На сучасному етапі територіальна оцінка міграції

біогенів може бути основана лише на фактичних даних про вміст їх валових і рухомих форм в орних ґрунтах регіонів і територіальному розподілі інтенсивності змиву мінерального субстрату з ріллі. Завдяки ґрунтовим обстеженням територіальний розподіл біогенів на ріллі досить докладно представлено в національних атласах, довідковій та науковій літературі.

Вміст біогенів у значній мірі залежить від вмісту гумусу і механічного складу ґрунтів, що дозволяє використовувати для територіальних оцінок ґрунтови карти, що відображають розподіл генетичних типів ґрунтів та їх гранулометричний склад. Так, середній вміст валового фосфору в дерново-підзолистих і світло-сірих лісових ґрунтах становить 0,05-0,16 %, у сірих лісових – 0,10-0,20 %, темно-сірих лісових – 0,12-0,28 %, чорноземах опідзолених, вилужених, типових і звичайних – 0,17-0,35 %, південних – 0,14-0,19 %, у каштанових ґрунтах – 0,03-0,16 %. У той же час вміст рухомих форм біогенів, особливо азоту, сильно варіює залежно від складу материнських порід, сезону, кількості внесених добрив. На площі в кілька гектарів коефіцієнти варіації вмісту рухомого фосфору становитиме до 56 %, калію до 51 % [7, 8].

За даними досліджень І. П. Ковальчука [6] в Західному Поділлі середнє значення коефіцієнтів виносу наносів за межі схилів від змиву знаходилися в межах 18-24 %, на розораних лощинах водозборів за талого стоку в межах 44-54 % і за зливового – 38-51 %. Для багатьох регіонів акумуляція маси наносів зі схил в межах суходільної мережі становить від 50 до 70 %. Вважається, що на рівнинних територіях у річки потрапляє в середньому не більше 10-20 % від загального обсягу наносів зі схил [1, 2]. На сьогоднішній день розроблено моделі ерозії ґрунтів і ґрунтово-ерозійної міграції хімічних речовин і наносів, які моделюють стік води, транспорт і

акумуляцію наносів в межах схилів і малих (площею до 400 га) польових водозборів – моделі CREAMS і WEPP [9]. Однак первинні вихідні дані для макромасштабних оцінок за цими моделями отримати в даний час практично неможливо.

Мета дослідження – геомодельовання та визначення зональної небезпеки забруднення біогенними речовинами поверхневих вод у транскордонному басейні Дніпра.

Матеріали та методи досліджень. Розрахунок зональної небезпеки забруднення біогенними речовинами поверхневих вод у результаті ґрунтово-ерозійних процесів здійснено в межах різнорівневих суббасейнів транскордонної р. Дніпро. В результаті попереднього [10] гідрологічного моделювання було виділено 776 суббасейнів розміром від 1,9 до 22680,2 км² IV-IX порядків. Сумарна довжина ерозійної мережі басейну Дніпра становить 53267,3 км, у т.ч. 90 % складає довжина водотоків 1-4 порядків. Площа дренажувана тальвегами 1-4-го порядків становить 58,4 %, 5 і 6 порядку – 33 %, 7-9-го – 8,6 %, таким чином живлення головного русла наносами здійснюється за рахунок верхньої і середньої ланків (91,4 %), а живлення місцевими наносами нижньої ланки русла Дніпра складає 1,8 %.

Оцінка ерозійного потенціалу водозбірної басейну річки Дніпро раніше здійснено на підставі розрахунку середньорічних величин змиву у весняно-літній період на основі модифікованої емпірично-статистичної моделі *RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)* [11]. В результаті геомодельовання була створена растрова модель, що забезпечила можливість кількісно оцінити змив мінерального субстрату і винесення зі схилів поживних речовин на основі єдиної методики кількісної територіальної оцінки ерозії.

Редукція стоку наносів у великих водотоках і річках оцінюється за допомогою



«коефіцієнту надходження наносів» (K_n). Для водозбірних суббасейнів річки Дніпро K_n розраховано за формулою:

$$K_n = 0,25F^{0,2},$$

де, F – растр площі басейну або суббасейну, га.

Розрахунок дифузного забруднення зваженими речовинами ($ДЗЗР$, тис. тон) басейну Дніпра в результаті водно-ерозійного процесу здійснено за допомогою Raster Calculator of ArcGIS за формулою:

$$ДЗЗР = \frac{F \cdot P \cdot A \cdot K}{100},$$

де, F – растр площі водозбірного басейну або суббасейну, га.; P – растр розораності басейну або суббасейну, %; A – растр виносу з ріллі зважених речовин зі силовим стоком, т/га; K – растр коефіцієнту досягнення зважених речовин до річкової мережі (від 0,10 до 0,20).

Для просторової оцінки потенціалу ґрунтово-ерозійної концентрації фосфору в руслових потоках біля підніжжя схилу використовувався показник умовної концентрації валового фосфору ($УК_\Phi$, мг/дм³), який розраховується за формулою:

$$УК_\Phi = \frac{10 \cdot A \cdot S \cdot P}{H},$$

де A – растр інтенсивності змиву на ріллі, т/га; S – растр частки ріллі на водозборі, %; P – растр вмісту валового фосфору в орному шарі, %; H – растр середньобаторічного шару поверхневого стоку води (мм).

Під час визначення чинників ґрунтово-ерозійних процесів і потенційного забруднення поверхневих вод в басейні Дніпра, здійснено дешифрування космічних знімків для визначення долі ріллі на водозбірній території та векторизацію серії карт транскордонних держав (України, Республіки Білорусь і Російської Федерації), масштаб – 1 : 2500000 для отримання просторових растрів середньобага-

торічного шару поверхневого стоку води і вміст валового фосфору в орному шарі у межах басейну р. Дніпро. Для просторового аналізу і моделювання використаний програмний продукт ArcGIS 10.1.

Результати досліджень та їх обговорення. За останні 20-30 років вміст фосфатів у стоках, що потрапляють на очисні споруди міст, які живляться з річки Дніпро, підвищилися в десятки разів. Крім відхилень від санітарно-хімічних показників спостерігається збільшення мікробіологічного і вірусного забруднення, також відбувається постійне природно-антропогенне руйнування і зсув ґрунтів у прибережних зонах річки Дніпро, особливо в буферних зонах водосховищ. Попередній аналіз [12] ступеня розораності і лісистості вказують на високу екологічну вразливість та прояви сильних деградуючих процесів земельних ресурсів більше ніж на 70 % території транскордонного басейну, що приводить до значного порушення функціонування геогідроекосистем річки Дніпро. Зарегулювання стоку річки в результаті будівництва шести каскадів водосховищ, привело до застою води, більш інтенсивної акумуляції продуктів ерозійних процесів і заболочування значної частини Дніпра, особливо в нижній течії річки [13]. Значне погіршення дніпровської води, яку використовується для питних потреб 70-80 % населення України, значно ускладнює процес її підготовки до рівня питної якості, тому що станції з водопідготовки на Дніпрі були побудовані близько 40-50 років тому і розраховані на більш високу (І-ІІ клас) якість води, ніж ту, яку ми маємо в середній і нижній течії транскордонної річки на сьогоднішній день (ІІІ-ІV клас). Тому, актуальним і першочерговим питанням залишається впровадження сучасних науково-обґрунтованих ґрунтово-воднозахисних заходів, розроблених на основі підходів басейнового природокористування [14, 15].

Ерозійно-схилкові геосистеми представляють собою верхню ланку каскадної ерозійно-руслотої системи, що є основним джерелом води і наносів для нижніх ланок. Оцінка впливу ґрунтово-ерозійної складової міграції біогенів на забруднення водних ресурсів повинна враховувати особливості переносу наносів по схилах на пасовищних і схилах покритих лісами, парагетично пов'язаних з орними землями, і, головне, трансформацію стоку наносів в нижніх ланках ерозійно-руслотних геосистем (в суходільній мережі і річках). Велика частина продуктів ерозії переміщується в нижні нерозорані ділянки схилів, у днища балок і балки, в заплавах малих річок. Інтенсивність акумуляції в цілому залежить від багатьох чинників: просторовий розподіл різних угідь, густоти розчленування місцевості, територіальної структури ландшафтів на водозборах.

Запропонована залежність «коефіцієнту надходження наносів» (K_n) від площі річкового басейну використана для просторового моделювання зміни маси мігрантів-біогенів всередині ерозійно-руслотних систем басейну річки Дніпро.

Просторова оцінка суббасейнів за показником K_n представлена на рисунку 1а.

Одним із важливих інтегруючих показників сільськогосподарського навантаження на водні об'єкти водозбірного басейну Дніпра являється дифузне забруднення зваженими речовинами, яке відбувається через змиви із сільськогосподарських угідь і акумуляцію у водних ресурсах пестицидів та хімічних речовин, які використовуються для ведення інтенсивного сільськогосподарства. Окрім дифузного є ще локальні джерела забруднення, або «гарячі» точки, до яких першочергово відносяться скиди очисних споруд великих міст у напрямку течії річки Дніпро.

Найбільша частка суббасейнів (близько 95 %) із значенням $DЗЗР$ менше 5 тис тонн на рік (рис. 1б) розташовані в зоні мішаних лісів (верхня течія річки Дніпро) і займають близько 82,2 тис га або 16,1 % від всієї площі транскордонного басейну (табл. 1). Майже 91 % водозбірної території басейну річки Дніпро мають значення $DЗЗР$ менше 100 тис тонн на рік, в т.ч. для 38,14 % території значення $DЗЗР$ варіює в межах 10-30 тис тонн на рік. Для 9,16 %

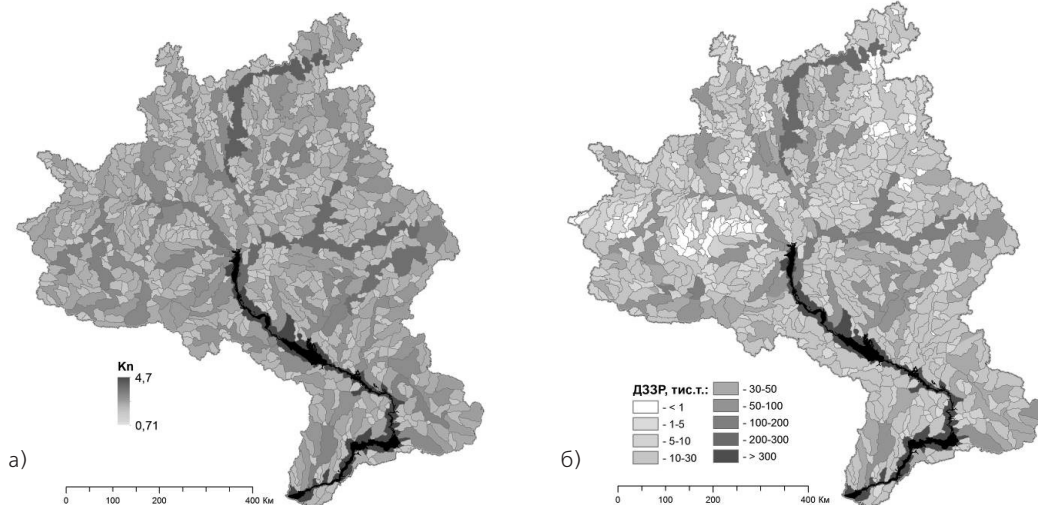


Рис. 1. Редукція стоку наносів (а) та дифузне забруднення зваженими речовинами (б) водозбірних суббасейнів транскордонної річки Дніпро

1. Розподіл території за потенціалом дифузного забруднення зваженими речовинами басейну річки Дніпро

ДЗЗР, тис тон	Площа, тис км ²	% від загальної площі
< 1	18,9	3,70
1-5	63,3	12,40
5-10	66,4	12,99
10-30	194,9	38,14
30-50	55,8	10,93
50-100	64,9	12,70
100-200	14,9	2,92
200-300	9,1	1,79
> 300	22,7	4,45
Всього	511	100,00

території транскордонного басейну значення ДЗЗР становить більше 100 тис тон на рік, до них відносяться території суббасейнів VІ-Х порядків.

Поверхневий стік зі схилів становить лише частину поверхневого річкового стоку, до якого відносяться також ґрунтові води і верховодка, частка яких від загальної величини поверхневого стоку в ландшафтних зонах неоднакова [16], що ускладнює прямий розрахунок виносу біогенів на моніторингових стокових майданчиках.

На території транскордонного басейну Дніпра фактори впливу на $УК_{\Phi}$ (рис. 2) мають помітно виражену широтну зональність. Середньо-багаторічний шар поверхневого стоку (H , мм) води зменшується в напрямку течії ріки Дніпро з 290 до 5 мм (рис. 2а).

Для суббасейнів у зоні мішаних лісів показник H становить 51-290 мм з рівнем варіації ($V\%$) – 38 %, лісостеповій зоні H – 45-140 мм ($V\%$ – 33,5 %), степовій зоні H – 5-56 мм ($V\%$ – 44,5 %). Частка ріллі на водозборі (S , %) окремих суббасейнів в зоні мішаних лісів (рис. 2б) знаходиться в межах від 0 до 56 % ($V\%$ – 58,0 %), лісостеповій зоні S – 0-60 % ($V\%$ – 30,7 %), степовій зоні S – 10-76 % ($V\%$ – 39,0 %). Середнє значення вмісту валового фосфору в орному шарі (P , %) агроландшафтів водозбірних суббасейнів в зоні мішаних лісів

(рис. 2в) варіює від 0,02 мм/дм³ до 0,21 мм/дм³ ($V\%$ – 53,3 %), лісостеповій зоні P – 0,03-0,32 ($V\%$ – 23,5 %), степовій зоні P – 0,06-0,32 ($V\%$ – 19,7 %). Зональні зміни ерозійного потенціалу опадів, еродованості ґрунту, фактору рельєфу, культури землекористування та реалізація ґрунтозахисних протиерозійних заходів обумовлюють особливості територіального розподілу інтенсивності прояву водно-ерозійних процесів, в першу чергу на ріллі (A , т/га). Інтенсивність змиву на ріллі на території транскордонного басейну Дніпра на окремих локальних територіальних одиницях досягає до 29 т/га (рис. 2г). В середньому в зоні мішаних лісів значення A складає: на рівнинах – до 6,2 т/га, схилах до 9,0 т/га; в лісостеповій зоні: на рівнинах – до 3,6 т/га, схилах до 6,4 т/га; в степовій зоні: на рівнинах – до 2,4 т/га, схилах до 6,5 т/га.

На основі представлених растрових моделей розраховано показник і створені просторові моделі розподілу потенціалу ґрунтово-ерозійної концентрації фосфору в руслових потоках біля підніжжя схилу у границях кожного суббасейну річки Дніпро (рис. 3). Поверхневі води, що формуються на водозборах лісостеповій та степовій зонах транскордонного басейну, відрізняються найбільш високими зна-

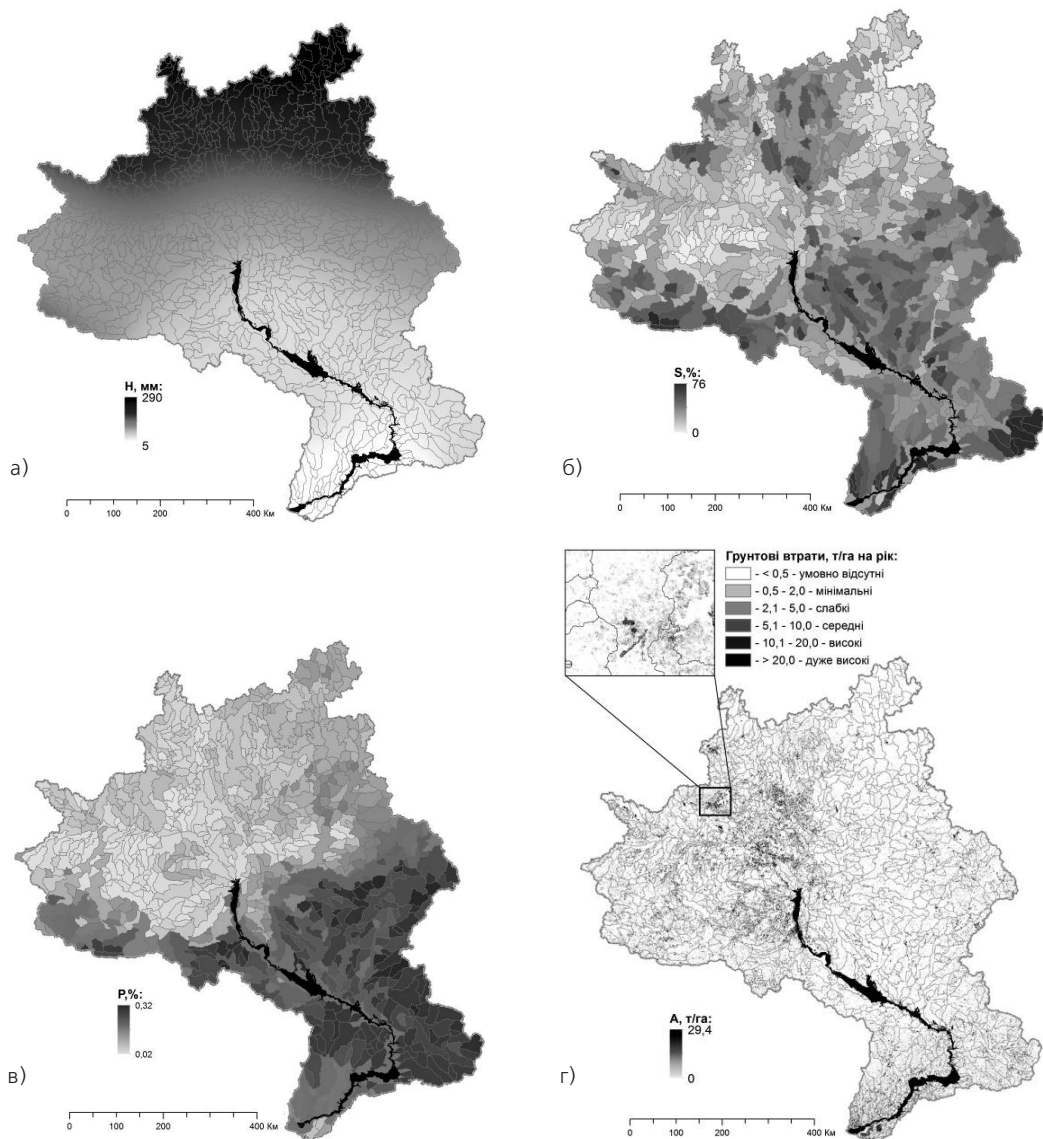
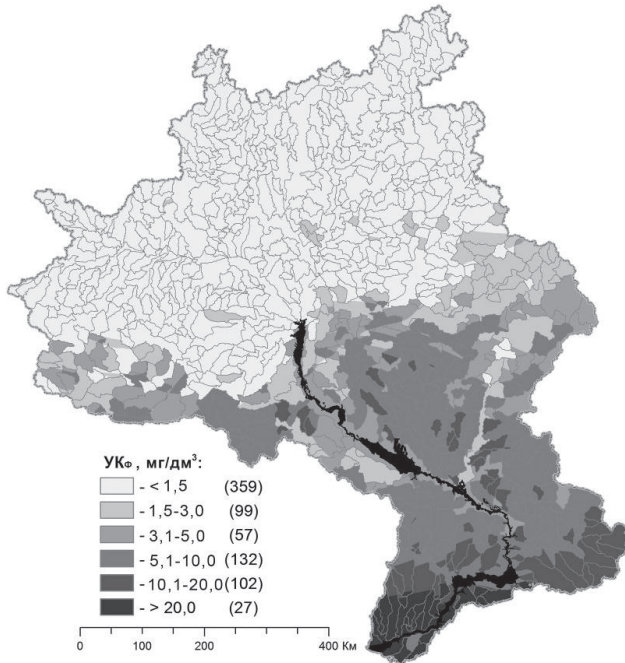


Рис. 2. Розподіл факторів впливу на потенційну небезпеку забруднення фосфором поверхневих вод басейну річки Дніпро: а – середньобагаторічний шар поверхнього стоку води (H , мм); б – доля ріллі на водозбірній території (S , %); в – вміст валового фосфору в орному шалі (P , %); г – інтенсивність змиву на пашіні (A , т/га)

ченнями УКФ, що сприяє більшій небезпеці процесу евтрофікації та заростання водойм і русел річок у цих зонах.

Просторова концентрація валового фосфору з півночі на південь (рис. 3 б) та зі заходу на схід (рис. 3в) у басейні Дніпра збільшу-

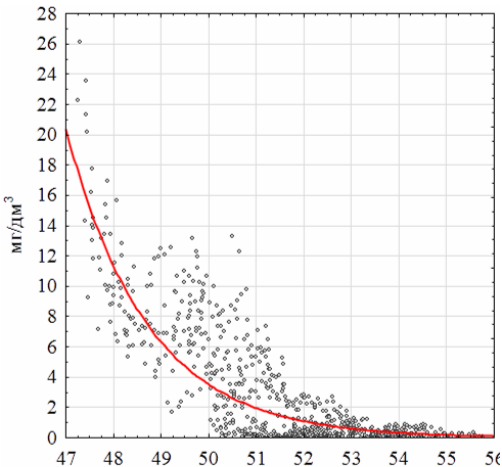
ються в експоненціальній прогресії, в більшій мірі це обумовлено високим ступенем розораності і низькими значеннями середньорічного шару стоку води в порівнянні з лісовою зоною. В річкових суббасейнах, які мають високу ступінь розораних схилів, всі



Просторова функція розподілу значень УКФ:

$$УК_{\phi} = 650,95 + 4,47x - 0,018x^2 - 26,59y + 0,262y^2 - 0,061xy, r^2 = 0,76$$

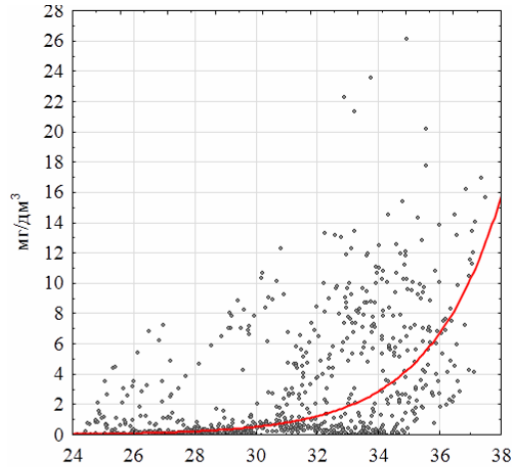
де, x – довгота, десяткові градуси, y – широта, десяткові градуси



Y (широта), десяткові градуси

$$УК_{\phi} = 1,70 \cdot 10^{13} \cdot \exp^{-0,584x}, r^2 = 0,99$$

б)



X (довгота), десяткові градуси

$$УК_{\phi} = 1,56 \cdot 10^{-6} \cdot \exp^{0,424x}, r^2 = 0,98$$

в)

Рис. 3. Просторовий розподіл надходження ґрунтово-ерозійного фосфору до поверхневих вод окремих суббасейнів транскордонного басейну річки Дніпро: а – картограма і модель просторового розподілу, б – південь → північ, в – захід → схід

зон небезпека забруднення водою зростає, тому що збільшується ґрунтово-ерозійна інтенсивність виносу фосфору.

Основним фактором зональної диференціації надходження фосфору в водойми є шар річкового стоку, модуль стоку наносів зі схил і ступінь розораності окремих суббасейнів. На території водозбірного басейну ці чинники збільшують відносне і абсолютне надходження фосфору у водойми в напрямку течії річки Дніпро (з півночі на південь).

Фактична концентрація розчиненого фосфору у водах річок значно нижча значення $УК_{\Phi}$, тому що в показнику $УК_{\Phi}$ враховує весь винесений зі схилів валовий фосфор, до того ж річкові води, сильно «освітлені» в порівнянні з потоками зі схилів. Отримана просторова растрова модель значень $УК_{\Phi}$ дозволяє визначити наближену, але достовірну оцінку небезпеки ґрунтово-ерозійного забруднення вод фосфором в окремих суббасейнах і всієї території басейну Дніпра. Для оцінки ступеня небезпеки ґрунтово-ерозійного забруднення водою фосфором необхідно визначити «екологічно граничні» значення фактичної концентрації і їх вплив на евтрофікацію.

Раніше [16] встановлено, що за вмісту розчинного фосфору у воді до 0,01 мг/дм³ водорості не розвиваються, «цвітіння» вод може спостерігатися за вмісту фосфору 0,01-0,025 мг/дм³, а оптимальний ріст водоростей – за концентрацій 0,09-1,8 мг/дм³. Таким чином, першим екологічно граничним значенням концентрації розчиненого у воді фосфору, за яким починається цвітіння води, можна прийняти концентрацію рівну 0,01 мг/дм³. Граничні значення $УК_{\Phi}$ з урахуванням співвідношення валових і рухомих форм та коефіцієнтів надходження наносів повинні бути набагато вищими – для середніх і великих річок не менше 1 мг/дм³. У воді в розчиненій формі знаходиться близько 10 % від валового фосфору.

Кризовим граничним значенням $УК_{\Phi}$ прийнято більше 20 мг/дм³, що відповідає перевищенню фактичної концентрації фосфору в 0,2 мг/дм³.

У відповідності до «Методики встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України» [17] визначена екологічна класифікація води за показником фосфор фосфатів. До I класу віднесені води із вмістом фосфору менше 0,015 мг/дм³, II – 0,015-0,050 мг/дм³, III – 0,051-0,200 мг/дм³, IV – 0,201-0,300 мг/дм³, V – більше 0,300 мг/дм³. У відповідності до методики виділено 6 категорій земель і розрахована площа водозбірного басейну Дніпра за ступенем потенційної небезпеки забруднення вод фосфором у результаті ґрунтово-ерозійних процесів (табл. 2).

Встановлено, що для 359 суббасейнів із загальною площею 257,8 тис км² (50,5 % від всієї території транскордонного басейну) потенційна концентрація фосфору в руслових потоках біля підніжжя схилу в результаті сільськогосподарської діяльності становить < 1,5 мг/дм³, тобто вміст розчинного фосфору у водах суббасейнів, переважно в зоні мішаних лісів, становить < 0,015 мг/дм³ і їх якість відповідає I-го класу. За показником фосфору до II-го класу якості віднесені води 156 суббасейнів, які переважно знаходяться в лісостеповій зоні, їх площа становить 109,5 тис км² (21,4 %). Для значної частини водойм та водотоків 234-х суббасейнів лісостепової та степової зон, загальна площа яких сягає 130,4 тис км² (25,6 %), потенційна концентрація фосфору складає в межах 0,051-0,200 мг/дм³ і якість поверхневих вод за цим показником відповідає III-му класу. Найбільшу потенційну небезпеку за концентрацією розчиненого фосфору у водах мають річкові суббасейни Нижнього Дніпра, що розміщені у степовій зоні. В результаті водно-ерозійних процесів, які відбуваються у верхній і

2. Характеристики потенційного надходження валових форм фосфору до поверхневих вод басейну річки Дніпро

Концентрація фосфору в руслових потоках біля підніжжя схилу, мг/дм ³	Небезпека концентрація розчиненого фосфору у водах річок, мг/дм ³	Площа, тис км ²	%
< 1,5	< 0,015	257,8	50,5
1,5-3,0	0,015-0,030	55,2	10,8
3,1-5,0	0,031-0,050	54,3	10,6
5,1-10,0	0,051-0,100	99,5	19,5
10,1-20,0	0,101-0,200	30,9	6,1
> 20,0	> 0,200	13,3	2,6
Всього	-	511	100

середній зонах течії річки Дніпро, та акумуляції місцевих наносів із сільськогосподарських земель, концентрація фосфору в Нижньому Дніпрі перевищує 0,200 мг/дм³. Визначено, що для 27-ми суббасейнів із загальною площею 13,3 тис. км² (2,6 %), водні об'єкти потенційно можуть бути віднесені до IV та V класу і мають високу ступінь небезпеки процесу евтрофікації, заростання та замулення заплавлених водойм і русел річок.

Висновки

Вперше із застосуванням геоінформаційних систем та технологій дистанційного зондування Землі здійснено моделювання процесу ґрунтово-ерозійної міграції біогенних речовин та визначена небезпека забруднення поверхневих вод басейну річки Дніпро в результаті екстенсивного ведення сільського господарства. Розраховано коефіцієнт надходження наносів та просторовий розподіл дифузного забруднення зваженими речовинами (ДЗЗР) басейну Дніпра в результаті водно-ерозійного процесу. Встановлено, що найменший потенціал дифузного забруднення зваженими речовинами мають суббасейни розташовані в зоні мішаних лісів або верхній частині течії транскордонної річки Дніпро. Найбільше значення ДЗЗР (більше 100 тис тон на рік) мають суббасейни VI-IX порядків. В результаті просторового моделювання умовної концентрації валового фосфору

(УК_Ф, мг/дм³) встановлено, що поверхневі води, які формуються на водозборах лісостеповій та степовій зонах транскордонного басейну, відрізняються найбільш високими значеннями УК_Ф від 5 до 20 мг/дм³ і більше. Така просторова тенденція у цих зонах у більшій мірі обумовлена високим ступенем розораності і низкими значеннями середньорічного шару стоку води. У відповідності до екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України водойми та водотоки, що розташовані на 50,5 % території (переважно в зоні мішаних лісів) басейну Дніпра мають потенціал концентрації фосфору менше 0,015 мг/дм³ і їх якість відповідає I-му класу, для 21,4% водних об'єктів водозбірної території (переважно лісостеповій зоні) потенційний вміст фосфору знаходиться в межах 0,015-0,050 мг/дм³ і відносяться до II-го класу, для 25,6 % території потенційна концентрація в руслових потоках становить 0,051-0,200 мг/дм³, що відповідає III класу якості води, найбільшу небезпеку концентрації розчиненого фосфору у водах мають річкові суббасейни Нижнього Дніпра (більше 0,20 мг/дм³). В цій зоні для 27-ми суббасейнів із загальною площею 13,3 тис км² (2,6 %), водні об'єкти потенційно можуть бути віднесені до IV-V класу і мають високу ступінь небезпеки процесу евтрофікації, заростання та замулення заплавлених водойм і русел річок. Отримані результати

дають можливість дослідити процес ґрунтово-ерозійної міграції біогенів та визначити небезпеку забруднення поверхневих вод на території басейну р. Дніпро. Це забезпечує можливість розробити першочергові потреби впровадження адаптивно-ландшафтного протиерозійного проектування з елемента-

ми ґрунтозахисного землеробства з метою максимального зменшення сільськогосподарського впливу в межах окремих суббасейнів та створити передумови для раціонального використання та оздоровлення земельних і водних ресурсів транскордонного басейну Дніпра.

Література

1. Маккавеев Н. И. Денудационная составляющая баланса вещества в системе океан - суша и ее роль в формировании пепленов / Н. И. Маккавеев // Водные ресурсы. – 1982. – № 3. – С. 147-155.
2. Дедков А. П. Эрозия и сток наносов на Земле / А. П. Дедков, В. И. Мозжерин. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1984. – 264 с.
3. Гудзон Н. Охрана почвы и борьба с эрозией / Н. Гудзон. – М.: Колос, 1974. – 304с.
4. Разгулин С. М. Азот и фосфор в воде притоков Рыбинского водохранилища / С. М. Разгулин // Водные ресурсы. – 1991. – №2. – С.98-103.
5. Литвин Л. Ф. Почвенно-эрозионная миграция биогенов и загрязнение поверхностных вод / Л. Ф. Литвин, З. П. Кирихина // Эрозия почв и русловые процессы. – 2004. – Вып. 14. – С. 45-63с.
6. Ковальчук И. П. Развитие эрозионных процессов и трансформация речных систем при антропогенном воздействии на их бассейны (на примере западной Украины) / И. П. Ковальчук // Эрозия почв и русловые процессы; научн. ред. Р. С. Чалов. – М.: Изд-во Моск. ун-та. – 1995 – С. 43-68.
7. Исследование стока воды и наносов на склоновых водосборах в бассейне р. Протвы / А. А. Ажигиров, В. Н. Голосов, Н. Г. Добровольская, Л. Ф. Литвин, Л. С. Самодурова. – ВИНТИ № 6386-В 87. Москва, 1987. – 176 с.
8. Pichura V. I. Basin approach to spatial-temporal modeling and neyroprediction of potassium content in dry steppe soils / V. I. Pichura // Biogeosystem Techniqu. – 2015. – № 2 (4). – С. 172-184. DOI: 10.13187/bgt.2015.4.172.
9. Лэйн Л. Дж. Разработка и применение современных методов прогноза эрозии – опыт Министерства сельского хозяйства США / Л. Дж. Лэйн, К. Г. Ренард, Г. Р. Фостер, Дж. М. Лафлен // Почвоведение. – 1997. – № 5. – С. 606-615.
10. Пічура В. І. Структура гідрогеоморфологічної системи для створення геоснови екологічного каркаса басейну річки Дніпро / В. І. Пічура // Вісник Дніпропетровського державного агроекономічного університету. – 2016. – № 2 (40). – С. 19-25.
11. Пічура В. І. Геомодельовання водно-ерозійних процесів у басейні річки Дніпро / В. І. Пічура // Agroecological journal. – 2016. – № 4. – С. 66-75.
12. Пічура В. І. Сільськогосподарське порушення екологічної стійкості басейну річки Дніпро / В. І. Пічура // Наукові доповіді НУБІП України. – 2016. – № 5 (6). Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/7231/7010>
13. Pichura V. I. Forecasting of Hydrochemichal Regime of the Lower Dnieper Section using Neurotechnologies / V. I. Pichura, Yu. V. Pilipenko, F. N. Lisetskiy, O. E. Dovbysh // Hydrobiological Journal. – 2015. – Vol. 51, No. 3. – P. 100-110. DOI: 10.1615/HydroBJ.v51.i3.80.
14. Lisetskii F. N. Basin organization of nature management for solving hydroecological problems / F. N. Lisetskii, Ya. V. Pavlyuk, Zh. A. Kirilenko, V. I. Pichura // Russian Meteorology and Hydrology. – 2014. – Vol. 39, No. 8. – P. 550-557. DOI: 10.3103/S106837391408007X.
15. Геопланирование сельских территорий: опыт реализации концепции бассейнового природопользования на региональном уровне / Ф. Н. Лисецкий, А. В. Землякова, А. Г. Нарожняя [и др.] // Вестник ОНУ. – 2014. – Т. 19. – Вып. 3 (22). – С. 125–137. – (Серия: Географические и геологические науки).
16. Коронкевич Н. И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения / Н. И. Коронкевич. – М.: Наука, 1990. – 203 с.
17. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіук [та ін. – К., 2001. – 48с.



References

1. Makkaveev N.I. (1982). Denudatsionnaya sostavlyayushchaya balansa veshchestva v sisteme okean - susha i ee rol' v formirovanii penepenov [Denudation component of the balance of matter in the ocean-land system and its role in the formation of peneplains]. *Vodnye resursy [Water Resources]*. № 3, pp. 147-155. (in Russian)
2. Dedkov A.P. Mozzherin V.I. (1984). Eroziya i stok nanosov na Zemle [Erosion and sediment yield on the Earth]. Kazan': Izdatel'stvo Kazanskogo universiteta [Kazan: Publishing house of Kazan University], 264 p. (in Russian)
3. Hudson N. (1974). Okhrana pochvy i bor'ba s eroziyey [Soil protection and erosion control]. Moskva: Kolos [Moscow: Kolos], 304 p. (in Russian)
4. Razgulin S.M. (1991). Azot i fosfor v vode pritokov Rybinskogo vodokhranilishcha [Nitrogen and phosphorus in the water of the tributaries of the Rybinsk reservoir]. *Vodnye resursy [Water Resources]*. №.2, pp. 98-103. (in Russian)
5. Litvin L.F., Kiryukhina Z.P. (2004). Pochvenno-erozionnaya migratsiya biogenov i zagryaznenie poverkhnostnykh vod [Soil-erosion migration of biogenic elements and pollution of surface waters]. *Eroziya pochv i ruslovye protsessy [Erosion of soils and channel processes]*. № 14, pp. 45-63. (in Russian)
6. Kovalchuk I.P. (1995). Razvitie erozionnykh protsessov i transformatsiya rechnykh sistem pri antropogennom vozdeystvii na ikh basseyny (na primere zapadnoy Ukrainy) [Development of erosion processes and transformation of river systems under anthropogenic impact on their basins (by the example of Western Ukraine)]. *Eroziya pochv i ruslovye protsessy; nauchn. red. R.S. Chalov [Erosion of soils and channel processes; R.S. Chalov (ed.)]*. Moskva: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta [Moscow: Publishing house of Moscow University], pp. 43-68. (in Russian)
7. Azhigirov A.A., Golosov V.N., Dobrovolskaya N.G., Litvin L.F., Samodurova L.S. (1987). Issledovanie stoka vody i nanosov na sklonovykh vodosborakh v basseyne r. Protvy [A study of the flow of water and sediments in slope catchment areas in the basin of the river Protva]. *VINITI No. 6386-B 87*. Moskva [Moscow], 176 p. (in Russian)
8. Pichura V.I. (2015). Basin approach to spatial-temporal modeling and neyroprediction of potassium content in dry steppe soils, *Biogeosystem Techniqu*, No. 2 (4), pp. 172–184. DOI: 10.13187/bgt.2015.4.172. (in English)
9. Lane L.J., Renard K.G., Foster G.R., Lafen J.M. (1997). Razrabotka i primenenie sovremennykh metodov prognoza erozii – opyt Ministerstva sel'skogo khozyaystva SSHa [Development and application of modern methods of erosion forecasting - the experience of the US Department of Agriculture]. *Pochvovedenie [Soil Science]*. № 5, pp. 606-615. (in Russian)
10. Pichura V.I. (2016). Struktura hidroheomorfolohichnoyi systemy dlya stvorenniya heosnovy ekolohichnoho karkasa baseynu richky Dnipro [Structure of the hydrogeomorphological system for creating the geo-foundation for the ecological framework of the Dnieper river basin]. *Dnipropetrovs'koho derzhavnogo ahroekonomichnoho universytetu [Bulletin of Dnepropetrovsk State Agricultural and Economic University]*. № 2 (40), pp. 19-25. (in Ukrainian)
11. Pichura V.I. (2016). Geomodelyuvannya vodno-eroziynikh protsesiv u baseyni richki Dnipro [Geo-modeling of water-erosion processes in the Dnipro River basin]. *Agroecological journal*. №. 4, pp. 66-75. (in Ukrainian)
12. Pichura V.I. (2016). Sil's'kohospodars'ke porushennya ekolohichnoyi stiykosti baseynu richky Dnipro [Damage to environmental sustainability of the Dnieper river basin caused by agriculture]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy [Scientific reports NUBiP Ukraine]*. № 5 (6). <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/7231/7010>. (in Ukrainian)
13. Pichura V.I., Pilipenko Yu.V., Lisetskiy F.N., Dovbysh O.E. (2015). Forecasting of Hydrochemical Regime of the Lower Dnieper Section using Neurotechnologies, *Hydrobiological Journal*, Vol. 51, No. 3, pp. 100-110. DOI: 10.1615/Hydrobj.v51.i3.80. (in English)
14. Lisetskii F.N., Pavlyuk Ya.V., Kirilenko Zh.A., Pichura V.I. (2014). Basin organization of nature management for solving hydroecological problems, *Russian Meteorology and Hydrology*, Vol. 39, No. 8, pp. 550–557. DOI: 10.3103/S106837391408007X. (in English)
15. Lisetskiy F.N., Zemlyakova A.V., Narozhnyaya A.G., Terekhin E.A., Pichura V.I., Buryak Zh.A., Samofalova O.M., Grigoreva O.I. (2014). Geoplanirovanie selskikh territoriy: opyt realizatsii kontseptsii basseynovogo prirodopolzovaniya na regionalnom urovne [Geoplanning of rural areas: experience of the implementation of the concept of river basin environmental management at the regional level].

Vestnik ONU Seriya: Geograficheskie i geologicheskie nauki [Herald of Odessa National University. Series: Geographical and geological Sciences]. Vol. 19, Iss. 3 (22), pp. 125–137. (in Russian)

16. Koronkevich N.I. (1990). Vodnyy balans Russkoy ravniny i ego antropogennyye izmeneniya [Water balance of the Russian plain and its anthropogenic changes]. Moskva: Nauka [Moscow: Nauka], 203 p. (in Russian)
17. Romanenko V.D., Zhukynskiy V.N., Oksiiuk O.P. and others (2001). Metodika vstanovlennaya i vikoristannya ekologichnikh normativiv yakosti povorkhnevikh vod sushi ta estuariiv Ukraini [Method of establishing and using ecological standards for the quality of surface water of land and estuaries of Ukraine]. Kiiv [Kiev], 48p. (in Ukrainian)

SUMMARY

V. I. Pichura. *Geo-modeling of zonal risk of pollution of surface waters in the transboundary Dnieper river basin with biogenic substances// Biological Resources and Nature Management. – 2017. – 9, №1–2. – P.24–36.*

In recent decades, against the background of natural soil fertility decline, there has been a significant increase in world cereal production due to the intensification or 'chemization' of agriculture. This led to a significant increase in soil erosion and migration of highly toxic substances and deterioration of the ecological state of a large part of catchment areas and erosion-channel systems far beyond the original centers of pollution. Industrial and domestic waste is the source of nitrogen, phosphorus and potassium in natural waters, but the main part of the total amount of biogenic substances comes from agricultural sources, contributing to water bodies eutrophication and water quality reduction. For the first time, using GIS technologies and remote sensing of Earth, we calculated the sediment flow rate and spatial distribution of diffuse pollution with suspended solids; performed geo-modeling, and determined the danger of contaminating surface waters of the Dnieper River basin with biogenic substances. The study reveals that surface waters formed in the water catchment areas of the forest-steppe and steppe zones of the transboundary basin are distinguished by the highest values of conditional concentration of total phosphorus from 5 to 20 mg/dm³ and more. This spatial trend in these zones is to a greater extent caused by a high tillage percentage and low values of average annual water discharge. In the lower reaches of the Dnieper, for 27 sub-basins with a total area of 13,300 km² (2.6%), water bodies are at the greatest risk of high dissolved phosphorus concentrations (more than 0.20 mg/dm³), and are potentially attributed to classes IV-V; they have a high degree of risk of eutrophication, overgrowth and silting of flooded water bodies and river beds. The results obtained make it possible to identify and develop priority needs in the implementation of an adaptive-landscape anti-erosion design with the elements of soil-protective agriculture in order to reach maximum reduction of agricultural load within specific sub-basins, and create conditions for sustainable use and rehabilitation of land and water resources of the transboundary Dnieper River basin.

Keywords: soil erosion processes, pollution of surface waters, biogenic substances, sediment flow rate, diffuse pollution with suspended solids, river basin, Dnieper river, geo-modeling, GIS technologies

АННОТАЦІЯ

В. І. Пічура. *Геомоделирование зональной опасности загрязнения биогенными веществами поверхностных вод в трансграничном бассейне Днепра//Биоресурсы и природопользование. – 2017. – 9, №1–2. – С.24–36.*

В последние десятилетия на фоне снижения естественного плодородия почв произошло значительное увеличение мирового производства зерновых за счет интенсификации или «химизации» сельского хозяйства. Это привело к значительному повышению почвенно-эрозионной миграции высокотоксичных веществ и ухудшению экологического состояния значительной части водосборных территорий и эрозионно-русловых систем далеко за пределами первичных очагов загрязнения. Впервые с применением геоинформационных систем и технологий дистанционного зондирования Земли проведен расчет коэффициента поступления наносов и пространственное распределение диффузного загрязнения взвешенными веществами, осуществлено геомоделирование и определенная опасность загрязнения биогенными веществами поверхностных вод бассейна реки Днепр. Полученные результаты дают возможность определить и разработать первоочередные потребности во внедрении адаптивно-ландшафтного противоэрозионного проектирования с элементами почвозащитного земледелия для рационального использования и оздоровления земельных и водных ресурсов трансграничного бассейна Днепра.

Ключевые слова: почвенно-эрозионные процессы, загрязнение поверхностных вод, биогенные вещества, коэффициент поступления наносов, диффузное загрязнение взвешенными веществами, речной бассейн, река Днепр, геомоделирование, ГИС-технологии