

МАТЕМАТИЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 504.062 + 528.8

О.С. ГРЕБЕНЬ, О.М. ТРОФИМЧУК

ОЦІНКА ВПЛИВУ ТВЕРДОГО СТОКУ ІЗ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ДІЛЯНОК НА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРИЛЕГЛИХ ВОДОЙМИЩ

***Анотація.** Розглянуто проблему визначення шляхів та об'ємів вносу твердого стоку із сільськогосподарських угідь внаслідок надлишкового вживання агрохімічних добрив під впливом метеорологічних факторів із залученням комплексного підходу моніторингу ситуації за даними дистанційних і контактних досліджень.*

***Ключові слова:** дистанційне зондування, геоінформаційна система, сільськогосподарське виробництво, екологія.*

Вступ

Рациональне використання природних ресурсів – основа перспективності життєдіяльності людства. Безпека життєдіяльності людини, як і будь-яких інших живих організмів на планеті, напряму залежить від того, як використовується довкілля і до якого часу можна буде користуватись його ресурсами. Ігнорування існуючих проблем створює ланцюгову реакцію, що починається з егоїстичних прагнень отримати більшу фінансову вигоду від сільськогосподарського виробництва за рахунок внесення більшої кількості нітратних добрив та закінчується цвітінням та замулюванням водоймищ, зникненням біологічного різноманіття їх мешканців, погіршенням показників придатності води до споживання людиною та, як наслідок, – погіршенням здоров'я людини. Саме тому слід приділяти значну увагу процесам поводження із атмосферою, ґрунтовим покривом, водними екосистемами та іншими природними ресурсами не тільки у розрізі проблем окремої екосистеми, а й з урахуванням їх залежностей та взаємодій між собою. Структура функціонуючої системи оцінки екологічного стану регіону є недосконалою, оскільки вона не здійснює моніторинг взаємодії між окремими екологічними категоріями, наприклад, такими як використання ресурсів ґрунтового покриву для сільськогосподарського зернового виробництва із функціонуванням прилеглих водних екосистем, а саме не враховує проблему впливу вживання агрохімічних добрив на розвиток

процесів евтрофікації водоймищ. Для створення та функціонування такої системи необхідне комплексування даних дистанційних та контактних вимірювань та розрахунків за ними ряду показників, що служить інформативною основою для оцінки стану екосистем, визначення факторів негативного впливу на них та є базою знань для прийняття стратегічних рішень управління екологічною безпекою регіону дослідження.

1. Можливості дистанційних методів дослідження

Дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) являють собою мультиспектральні знімки земної поверхні із космосу. За різницею показників коефіцієнтів відбиття спектральної яскравості об'єктів на знімку у різних спектральних діапазонах, а також за певним поєднанням знімків різних діапазонів отримують тематично наповнене зображення, на якому кольорами виділені відповідні типи об'єктів. Кількість каналів та їх порядкова організація у різних космічних системах (КС) відрізняються, тому для кожної окремої КС комбінація номерів каналів зображення є різною і тому під час такої роботи слід враховувати саме спектр зйомки, а не номер каналу.

Для оцінки вологозабезпеченості та стану вегетації рослинності за даними ДЗЗ розраховуються вегетаційні індекси:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

NIR – значення відображення в ближній інфрачервоній області спектра,
RED – значення відображення в червоній області спектра;

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}, \quad (2)$$

NIR – значення відображення в ближній інфрачервоній області спектра,
SWIR – значення відображення в короткохвильовій інфрачервоній області спектра;

$$GVI = -0.2848 * Blue - 0.2435 * Green - 0.5436 * Red + 0.7243 * NIR + 0.0840 * SWIR - 0.1800 * SWIR. \quad (3)$$

NDVI відображає різницю у ступенях вегетації рослинності по кожному полю, NDWI – рівень зволоженості поверхні, GVI – щільність фотосинтетично активної біомаси.

За теоретичною інформацією [1] час змиву 18-сантиметрового шару важкосуглинного ґрунту при крутизні схилу 10° при вирощуванні орної монокультури складає 15 років, а при вирощуванні різних культур у сівозміні – 70 років. Цей факт окреслює важливість використання сівозмін для збереження потенціалу ґрунтів.

Великою проблемою є винесення добрив з територій с/г угідь. Зазвичай це пов'язано з неправильним їх внесенням, наприклад, якщо взимку чи з ранньої весни їх вносять на промерзлу або вкриту снігом землю. У таких

випадках, коли поверхня ділянки вкрита скоринкою льоду та інфільтрація води знижена, з ділянок, що мають навіть незначний нахил (0,008...0,014), з поверхневим стоком виноситься 50...100% аміачної селітри, 40...70 – калію, 30...40 – фосфору, 40...60 – вапна, від загально внесеної кількості добрив [2]. Для того щоб уникнути цих наслідків, треба вивчати метеорологічну інформацію та правильно планувати час на виконання робіт зі внесення відповідних об'ємів хімічних добрив.

Оцінити потенційне змиття ґрунтового покриву під дією процесів вітрової та водної ерозії можливо після побудови цифрової моделі місцевості (ЦММ). Основою для цієї моделі можуть слугувати дані радарної топографічної космічної зйомки (SRTM). Побудова моделі рельєфу дозволяє оцінити ризики виникнення ерозійних процесів на окремо взятих ділянках за рахунок обчислення кутів нахилу поверхні.

Маючи інформацію про нахил поверхні ділянки, кількість внесених на неї добрив, їх агрохімічний склад, а також проаналізувавши метеорологічні обставини, можливо розрахувати теоретичні об'єми винесення твердого стоку (поелементно). Факт здійснення цього процесу перевіряється шляхом контактних вимірювань контрольних проб води.

2. Дані контактних вимірювань

Явище змиву ґрунту пов'язано з відривом від поверхневого шару окремих часток та цілих агрегатів. Механізм змиву ґрунту можна представити як взаємодію еродуючої сили потоку F_{ep} , який діє на частку, із силою зчеплення частки з ґрунтом $F_{зч}$. Еродуюча сила потоку, що діє на частку, залежить від швидкості потоку v , товщі шару води h та відношення маси частки m до площі її поперечного розрізу S [2]:

$$F_{ep} = f \cdot \left(F_{зв} \cdot v, h, \frac{m}{S} \right), \quad (4)$$

сила F_{ep} зростає з підвищенням v та h та зменшенням m/S .

Сила зчеплення ґрунтової частки $F_{зч}$, у свою чергу, залежить від щільності частки ρ та міцності її зв'язку з іншими частками $F_{зв}$, що залежить від наявності у ґрунті колоїдів та багатьох інших факторів [2]:

$$F_{зч} = f \cdot (\rho, F_{зв}); \quad (5)$$

ерозія виникає тоді, коли F_{ep} стає більше $F_{зч}$.

Інтенсивність ерозії Q обчислюється як втрачання ґрунтом його маси m з одиниці площі S за одиницю часу t та виражена у т/га або мм/р [2]:

$$Q = \frac{m}{S \cdot t}. \quad (6)$$

Річну інтенсивність ерозії оцінюють за рядом показників: за об'ємом ґрунту, що винесений з промоїн та ярів на даній території; за приростом площі, яку займає яр чи промоїна; за збільшенням їх загальної протяжності.

У місцях, де швидкість потоку падає, мінеральні частки осідають, що створює надлишкові пролювіальні та делювіальні наноси та намивання ґрунту.

Згідно з ДСТУ 17.4.4.03-86 річні ґрунтові втрати у тоннах на гектар визначаються за формулою [6]:

$$A = RKLSCP, \quad (7)$$

- R* – фактор еродуючої здатності дощів;
- K* – фактор схильності ґрунту до процесів ерозії, т/га;
- L* – фактор довжини схилу;
- S* – фактор крутизни схилу;
- C* – фактор рослинності та сівозміни;
- P* – фактор ефективності протиерозійних заходів.

Для визначення цих показників треба мати базу знань про територію дослідження, що має складатись із карти еродуючої здатності дощів (формується за результатами обробки метеорологічних архівів), картограми агропробних груп ґрунтів, цифрової моделі місцевості, карти робочих ділянок із даними про сівозміну, інформації про склад культур у сівозміні.

Коли об'єми внесених добрив відомі, розраховано їх потенційні кількості та напрямки міграції до водних екосистем, постає питання оцінки зниження екологічних показників водоймищ. Для цього необхідно провести контрольний відбір проб води та порівняння її показників із ПДК. У таблиці 1 наведені загальні хімічні характеристики показників прісних водоймищ (за цільовим призначенням) [3].

Таблиця 1 – Загальні вимоги до складу і властивостей води водних об'єктів

| Показники складу | Призначення водоймища | |
|--|---|---------------------------------------|
| | господарчо-питне | рибогосподарче |
| 1. Зважені речовини (вміст зважених речовин, в порівнянні з природними, не повинен збільшуватися більш ніж на) | 0,25 мг/дм ³ | 0,75 мг/дм ³ |
| 2. Плаваючі домішки | На поверхні водоймища не повинні виявлятися плаваючі плівки, плями мінеральних масел і скупчення інших домішок | |
| 3. Реакція | 6,5-8,5 одиниць рН | |
| 4. Розчинений кисень | Не має бути менше 4 мг/дм ³ в будь-який період року в пробі, відібраній до 12-ї години дня | |
| 5. Біохімічне споживання кисню | | 3,0 мгО ₂ /дм ³ |
| 6. Сульфати (аніон) | 500 мг/дм ³ | 100 мг/дм ³ |
| 7. Хлориди (аніон) | 350 мг/дм ³ | 300 мг/дм ³ |
| 8. Нітрат іони (по азоту) | 10 мг/дм ³ | 9,1 мг/дм ³ |
| 9. Аміак (по азоту) | 2,0 мг/дм ³ | 0,05 мг/дм ³ |
| 10. Збудники захворювань | Вода не повинна містити збудників захворювань. Господарчо-побутові стічні води мають бути незаражені до коли-індексу не більше 1000 в 1 літрі при залишковій концентрації хлору не менше 1,5 мг/дм ³ | |

Згідно з регіональною доповіддю по Харківській області за 2015 рік у водоймищах Зачепилівського району в цілому спостерігається перевищення вмісту нітратів з кратністю до 2,5 ГДК.

Однак у Зачепилівському районі відмічалось зменшення питомої ваги нестандартних проб за санітарно-хімічними показниками (2,64% за 2015 рік проти 6,14% за 2014 рік). Стан води сільських водогонів за мікробіологічними показниками в цілому по Харківській області показував негативну динаміку, а саме: у 2015 році – 7,5% проб з відхиленням від нормативу, у 2014 році – 5,5%.

У воді, відібраній з колодязів на території Харківської області, найчастіше відмічалось перевищення нормативних показників за вмістом нітратів, заліза, сульфатів, показником загальної жорсткості [4].

Індекс забрудненості води (ІЗВ) розраховується як сума приведених до ГДК фактичних значень показників якості для основних забрудників води [5]:

$$IЗВ = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot ГДК_i}{n}, \quad (8)$$

C_i – концентрація нормативного компоненту, мг/дм³;

$ГДК_i$ – встановлена величина концентрацій компоненту для відповідного типу водойми, мг/дм³;

n – число показників, що використовуються, для розрахунку ІЗВ.

У таблицях 2 і 3 наведено розподілення водоймищ за класами якості та придатності до використання [4, 5].

Таблиця 2 – Класи якості природних вод в залежності від значень ІЗВ

| Рівень забрудненості води | Значення ІЗВ | Класи якості вод |
|---------------------------|--------------|------------------|
| Дуже чисті | До 0,2 | 1 |
| Чисті | 0,2 – 1,0 | 2 |
| Помірно забруднені | 1,1 – 2,0 | 3 |
| Забруднені | 2,1 – 4,0 | 4 |
| Брудні | 4,1 – 6,0 | 5 |
| Дуже брудні | 6,1 – 10,0 | 6 |
| Надзвичайно брудні | > 10,0 | 7 |

Таблиця 3 – Придатність води до використання

| Значення ІЗВ | Клас якості води | Оцінка якості води | Використання води | |
|------------------------|------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|
| | | | господарчо-питне | рибогосподарче |
| Менше або дорівнює 0,2 | I | дуже чисті | придатні | придатні |
| Більше 0,2-1 | II | чисті | придатні | придатні |
| Більше 1-2 | III | помірно забруднені | придатні з очисткою | придатні для деяких видів риб |
| Більше 2-4 | IV | забруднені | не придатні | не придатні |
| Більше 4-6 | V | брудні | не придатні | не придатні |
| Більше 10 | VI | надзвичайно брудні | не придатні | не придатні |

3. Практичні аспекти оцінки на прикладі ділянок ПСП імені Фрунзе, розташованого у Зачепилівському районі Харківської області

За даними землекористувача на земельних ділянках ПСП імені Фрунзе у 2018 році були внесені наступні агрохімічні добрива (табл. 4):

Таблиця 4 – Внесення добрив на земельних ділянках ПСП імені Фрунзе у 2018 році (по культурах)

| Культура | Формула | 1/га |
|---------------|------------|---------|
| Озима пшениця | NPK-15+N46 | 100+160 |
| Ячмінь | N 46 | 100 |
| Соняшник | NPK16 | 120 |
| Кукурудза | N46 | 120 |
| Горох | N46 | 100 |

Детальніше характеристики вказаних добрив розглянуті у таблиці 5.

Таблиця 5 – Характеристики вживаних добрив

| Формула | Культура, що обробляється | Норма витрат препарату | Концентрація діючої речовини | Препаративна форма |
|---------|---------------------------|--|---|------------------------------|
| NPK-15 | зернові колосові | 150-350 кг/га | N – 15%, P ₂ O ₅ – 15%, K ₂ O – 15%, S – 10% | Гранули |
| N46 | кукурудза, горох | 20 кг/га – при позакореновому підживленні; 200 кг/га – при посівних роботах | (NH ₂) ₂ CO, допустима концентрація розчину для позакоренового підживлення 5-15% | Амідне добриво, водорозчинне |
| NPK-16 | зернові колосові | 90-120 кг/га | N – 16%, K – 16%, P – 16% | Гранули |

На земельних ділянках ПСП імені Фрунзе, розташованих поруч із водоймищами (за результатами обробки даних ДЗЗ та подальшого аналізу даних SRTM) були обчислені кути нахилу поверхні та відповідно виявлені місця протікання процесів водної та вітрової ерозії. Проведено аналіз вживання добрив на цих ділянках (за апріорною інформацією від землекористувача) з метою розрахунку потенційних об'ємів винесення твердого стоку та його хімічного складу. Також в цих місцях були відібрані проби води (для подальшого лабораторного аналізу) та проаналізовані норми ГДК хімічних речовин у водних об'єктах.

Результати проведеної експертизи хімічного складу водних проб:

- 1) БСК₅ – 4,23 мгО₂/дм³ (перевищено норму ГДК СанПін (3,2) [4]);
- 2) ХСК – 24,1 мгО/дм³ (перевищено норму ГДК СанПін (15) [4]);
- 3) Азот амонійний – 0,4 мг/дм³;
- 4) Фосфати – 2,34 мг/дм³;
- 5) Жорсткість – 14,5 ммоль/дм³ (перевищено норму ГДК СанПін (7) [4]);
- 6) Цезій-137 – 0,048 Бк/дм³, кг;
- 7) Нітрати – 132 мг/дм³ (перевищено норму ГДК СанПін (45) [4]).

За цими показниками був розрахований індекс забруднення води ІЗВ = 2,63 (забруднена, за індексом екологічності Іе – 3-й клас, 4-а категорія).

Висновки

Комплексність використання даних дистанційних та контактних вимірювань зменшила часові та матеріальні витрати на отримання та обробку первинних даних про регіон дослідження. Аналіз даних ДЗЗ дозволив виявити ступінь схильності земельних ділянок до розвитку ерозії та оцінити ймовірність її впливу на екологічні характеристики прилеглих водоймищ. Цілком можливо допустити, що результатом забруднення водоймищ є не тільки наслідки сільськогосподарського виробництва, а й інші чинники, але їх негативний вплив доводиться кореляцією показників, що перевищені за ГДК із використанням відповідних за хімічним складом добрив на територіях прилеглих сільгоспділянок, а отже, доведена ефективність наведеної методики для оцінки екологічного стану регіону.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лялько В.І. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / В.І. Лялько, М.О. Попов, О.Д. Федоровський, О.Т. Азімов, О.А. Апостолов – Монографія. К.: Наук. думка, 2006. – 358 с.
2. Толчельников Ю.С. Эрозия и дефляция почв. Способы борьбы с ними / Ю.С. Толчельников – Учебное пособие. М.: Агропроиздат, 1990. – 156 с.
3. Нормування антропогенного навантаження на природне середовище. Конспект лекцій для студентів денної та заочної форми навчання напряму підготовки 6.040106 Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування / Укладач Назаренко О.С. – Рубіжне: ІХТ СНУ, 2011 – 115 с.
4. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Харківській області у 2015 році [Текст] / Х.: 2016 – 216 с. Режим доступу: <https://menr.gov.ua/files/docs/ХАРКІВСЬКА%20ОБЛАСТЬ.pdf>

5. Наукові основи створення системи інтегральних біоценотичних методів контролю водних систем (на прикладі р.Інгулець). Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека [Текст] / Вільдман І.Л. – К.: КНУБА, 2015. – 134 с. Режим доступу: <http://www.knuba.edu.ua/ukr/wp-content/uploads/2016/02/dis.pdf>
6. ГОСТ 17.4.4.03-86. Почвы. Метод определения потенциальной опасности эрозии под воздействием дождей [Текст] / М.: 2008. – 6 с. Режим доступу: <http://www.klubok.net/gost/index/29/29045.htm>

Стаття надійшла до редакції 27.08.2018.