

deciphering satellite images and analyzed the relationship between different types of nature management with the morphometry of relief. Proposed algorithm of research was approved on an example of the basin river Bystrica Nadvirnianska within the Ukrainian Carpathians.

Keywords: remote sensing, geographic information system, digital elevation models, morphometric maps, satellite images, nature management, basin river Bystrica Nadvirnianska

Клапчук Т.В. Методические аспекты анализа рельефа для природопользования средствами ГИС и ДЗЗ (на примере бассейна р. Быстрица Надворнянская). В статье изложен алгоритм анализа рельефа для природопользования, который включает три этапа. На первом этапе предложены инструменты ГИС для создания морфометрических карт. На втором – предложены методы сбора материалов дистанционного зондирования Земли (космоснимков с высокой разрешимостью) с общедоступных программных продуктов. На третьем этапе рассмотрен пример дешифрирования космоснимков и проанализировано взаимосвязь разных типов природопользования с морфометрией рельефа. Предложенный алгоритм исследования апробирован на примере бассейна р. Быстрица Надворнянская в пределах Украинских Карпат.

Ключевые слова: дистанционные зондирование Земли, геоинформационные системы, цифровая модель рельефа, морфометрические карты, космоснимки, природопользование, бассейн р.Быстрица Надворнянская.

Надійшла до редколегії 07.10.2015

УДК 911.9 [504 : 631.4]

Галаган О. О.

*Київський національний університет
імені Тараса Шевченка*

ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИАВТОМАГІСТРАЛЬНИХ ГЕОСИСТЕМ СПОЛУКАМИ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНО-КАРТОГРАФІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Ключові слова: важкі метали, фактори міграції, математично-картографічне моделювання

Постановка проблеми. Питання щодо перерозподілу важких металів(ВМ) у приавтомагістральних геосистемах є таким, що не втрачає свою актуальність. Це обумовлюється, перш за все, зростаючими показниками потрапляння важких металів в навколишнє середовище, зокрема у приавтомагістральні геосистеми, і пояснюється збільшенням кількості автомобільного транспорту. По-друге, необхідність зосередження уваги на даному питанні, визначається розміщенням сільськогосподарських угідь на таких територіях. Адже виокремлення найбільш небезпечних місць для їх використання є необхідною складовою у забезпеченні якості сільськогосподарської продукції, зокрема за вмістом важких металів, що є особливо актуальним у світлі відкриття на сьогодні Європейських ринків збуту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Як зазначалося нами у [1], дослідження щодо поведінки важких металів у геосистемах велися в ландшафтно-геохімічному напрямку, де розглядалися питання щодо умов міграції та концентрації ВМ в ґрунтах, в залежності від їх властивостей, а також

фізико-географічних умов місцевості, та еколого-біологічному - в якому головна увага приділялася питанням міграційних особливостей ВМ в системі «ґрунт – рослина». Проте, комплексної методики, яка б дозволяла провести оцінку забруднення приавтомагістральних територій важкими металами, враховуючі всі особливості їх поведінки в геосистемі, зважаючи на різні групи факторів міграції, не існувало. Тому, у [1], було запропоновано загальний алгоритм оцінки актуального рівня забруднення приавтомагістральних геосистем. Таке забруднення визначається як різниця, між обсягами важких металів, що потрапили в геосистему, протягом певного часового проміжку, від головних джерел емісії, і були вилучені з міграційних потоків і/або винесені за її межі за той самий період, зважаючи на провідні механізми перерозподілу ВМ.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми та формулювання цілей статті. Багатофакторність впливів та властивості самих геосистем, обумовлюють складнощі обрахунку рівня забруднення, і визначають необхідність застосування методів

математичного моделювання. А, оскільки, територіальне визначення небезпечних місць є кінцевою метою, то безумовним стає застосування, у процесі моделювання, саме геоінформаційних технологій. Проте, на початку, необхідно зосередитися на математичних розрахунках, що описують вплив того чи іншого фактора на перерозподіл ВМ, чому і буде присвячено дану роботу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Першим кроком у визначенні розрахункової кількості ВМ, що виносяться за межі геосистеми і/або виводяться з міграційних потоків, є створення «карти розсіювання полютантів в приземному шарі атмосферного повітря», що виконується за загальноприйнятими в метеорології, математичними моделями [2].

Наступним кроком реалізації методики є створення прогносної «карти ймовірного забруднення поверхневого шару ґрунту з атмосферного повітря». Математичні обрахунки для її побудови виконуються у два етапи:

1) проведення розрахунку переходу полютантів з приземного шару повітря на поверхню ґрунту, за формулою (1) [3]:

$$y = 1324 x + 6,3 \quad (1)$$

де x – концентрація важких металів у приземному шарі повітря, y – їх концентрація у поверхневому шарі ґрунту.

2) сумування отриманих значень із даними про внесення важких металів безпосередньо на поверхню ґрунту, наприклад, з добривами або при поливі сільськогосподарських земель. Таким чином отримується «карта первинного

поля сумарного забруднення поверхневого шару ґрунту сполуками ВМ», де міститься інформація для проведення оцінки перерозподілу важких металів в геосистемі.

Частина ВМ знаходиться в нерозчинній формі, тому, загалом, їх переміщення буде відбуватися в процесі механічної латеральної міграції. Відповідно, задля подальшого визначення небезпечних ділянок, необхідно скласти «карту перерозподілу сполук ВМ у поверхневому шарі ґрунту в процесі механічної латеральної міграції», що відобразить її напрямок та інтенсивність протікання. Факторами, на які при цьому слід зважати, є рельєф, гідро-кліматичні характеристики території, та власне ґрунтові особливості (мова йде про протиерозійну стійкість ґрунтів).

Складання такої карти базується на методиці [5], і відзначається наступним:

1. Вихідними матеріалами є електронні карти рельєфу та ґрунтів. В останній основними атрибутами є: властивості ґрунтів (кислотність, вміст гумусу, механічний склад, водопроникність, структура тощо) та міра забруднення їх поверхневого шару (див. вище).

2. За методикою [5] обраховується ряд коефіцієнтів, які відображають умови протікання процесу механічної латеральної міграції. Зокрема встановлюються:

2.1. коефіцієнт потенційної ерозії (K_v), що описує комплексну характеристику потенційної здатності ґрунтів до руйнування.

2.2. коефіцієнт скелетності ґрунтів (K_s), за табл. 1.

Таблиця 1 – Визначення коефіцієнту скелетності ґрунтів (за[5])

Кількість уламків у %	K_s
Менше 1	1.00
1-10	0.87
11-30	0.64
31-50	0.39
51-75	0.19
Більше 75	0.1

2.3. коефіцієнт, що характеризує вплив рельєфу – топографічний фактор (LS - фактор), що є добутком L -фактору та S – фактору, для цього:

а) визначається довжина схилу (L) та його ухил (S);

б) за таблицею 2 встановлюється L -фактор;

в) за таблицею 3 - встановлюється S -фактор.

Таблиця 2 – Визначення L-фактору (за[5])

Довжина схилу (L), м	L-фактор	
	Ухил (S) > або = 5%	Ухил (S) < 5%
5	0,5	0,6
10	0,7	0,7
20	1	1
30	1,1	1,1
40	1,3	1,3
60	1,7	1,5
70	1,8	1,6
90	2	1,8
100	2,1	1,8
120	2,3	2
180	2,9	2,3
200	3	2,4
240	3,3	2,6
270	3,5	2,7
300	3,7	2,8
350	4	3
400	4,3	3,2

2.4. коефіцієнт, що характеризує вплив кліматичних особливостей метеорологічний фактор (R - фактор). Для його визначення використовується формула (2), [5]:

$$R = 0,152 \times N_{So} - 6,88 \quad (2)$$

де N_{So} – кількість опадів з травня по жовтень.

Таблиця 3 – Визначення S- фактору (за[5])

Ухил у %	S-фактор	Ухил у %	S-фактор
3	0,2	17	2,6
4	0,3	18	2,9
5	0,5	19	3,2
6	0,6	20	3,5
8	0,8	21	3,8
9	1,0	22	4,1
10	1,2	23	4,4
11	1,3	24	4,7
13	1,7	26	5,4
14	2	28	6,1
15	2,2	30	6,8

Представлені вище коефіцієнти дозволяють встановити показник (E_{fw}), що визначає кількість ґрунту (тони), яка вноситься, за рахунок ерозійних процесів, з одиниці площі (гектару) за певний проміжок часу (рік). Обрахунки поводяться за формулою (3), [5]:

$$E_{fw} = K_v \times K_s \times L \times S \times R. \quad (3)$$

Даний показник, дозволяє і обрахувати кількість ґрунту, що винесеться з території за секунду $E_{fw}(\text{сек})$, відповідно – надає можливість визначити і кількість важких металів, що буде винесена, за рахунок механічної латеральної міграції, в цей проміжок часу ($E_{hm}(\text{сек})$), як:

$$E_{hm}(\text{сек}) = E_{fw}(\text{сек}) \times y \quad (4),$$

де $E_{fw}(\text{сек})$ - кількість ґрунту, що вноситься з території за секунду, y – концентрація важких металів у поверхневому шарі ґрунту.

Втім, слід зважати, що на кожному «більш низьку» в катенарному спряженні ділянці ця кількість ВМ потрапить, додасться до тієї кількості, що, осіла на поверхню ґрунту безпосередньо (див. вище та формулу (1)), а вже потім перемістатиметься далі вниз по схилу. За таким алгоритмом можна розрахувати та, за допомогою ГІС, отримати картографічне відображення механічного перерозподілу важких металів у поверхневому шарі ґрунту, що ілюструватиме пункт 4 загальної алгоритмічної схеми [1], «очищення ґрунтів

від ВМ у процесі латеральної міграції», і стосується переважно нерозчинних форм важких металів.

Для визначення поведінки в ґрунті розчинних форм ВМ, слід застосувати моделі, які відображають процеси очищення ґрунтів в ході хімічної радіальної міграції. Для цього, в отриманій «карті перерозподілу сполук ВМ у поверхневому шарі ґрунту в процесі механічної латеральної міграції», необхідно виділити полігони, за атрибутом рН, що характеризує кислотну реакцію ґрунтів. Наприклад, для Рb, за методикою [5], якщо рН більше 4.2, то рухливість металу обмежена лужним геохімічним бар'єром. Умов для хімічної міграції такий ґрунт не має, отже його очищення буде визначатися лише за показниками (див. вище) механічної міграції, адже сполуки Рb залишаються в нерозчинній формі. Якщо показник рН менше або дорівнює 4.2, то сполуки знаходяться в розчинній формі, отже, в таких полігонах, слід застосовувати показники радіальної міграції. Для цього, за методикою [5], різним типам ґрунтів надається бальна характеристика, щодо можливостей зв'язування ними важких металів. Провідними факторами при цьому виступають: рН сольової витяжки, вміст гумусу, механічний склад тощо. Так, визначення показників радіальної міграції відбувається наступним чином:

1) за табл.4, ґрунтам присвоюється бал зв'язування, що обумовлюється показником кислотності ґрунтів:

Таблиця 4 – Показники зв'язування Рb (за кислотністю ґрунту) (за[5])

рН сольової витяжки	Бал зв'язування
2,5-2,7	1
2,8-3,2	2,0
3,3-3,7	3,0
3,8-4,2	4,0
4,3-4,7	5,0

2) проводиться аналіз можливостей зв'язування, розчинних сполук Рb, ґрунтами, що визначається вмістом у них гумусу (табл.5):

Таблиця 5 - Показники зв'язування Рb (за вмістом гумусу у ґрунті) (за[5])

Вміст гумусу (%)	Бал зв'язування
≤ 2	0
> 2 - 8	0,5
> 8 -15	1,0
> 15	1,0

3) за таблицею 6, ґрунтам надається бал зв'язування, що відповідає їх гранулометричному складу:

Таблиця 6 - Показники зв'язування Рb (за гранулометричним складом ґрунтів) (за[5])

Гранулометричний склад	Бал зв'язування
Піщані	0
Легкосуглинкові та середньосуглинкові	0,5
Важкосуглинкові	0,5
Глинисті	1,0
Глина	1,5

Бали, отримані в результаті сумування значень з таблиць 4–6, для кожного типу ґрунту, визначатимуть відносний ступінь зв'язування ним розчинних форм важких металів. Також виникає можливість визначити ступінь небезпеки ведення сільського господарства, в межах кожної ділянки, з точки зору забруднення важкими металами продукції (табл.7). Створена, на основі цих показників, «карта інтенсивності перерозподілу сполук ВМ у поверхневому шарі ґрунту в процесі хімічної радіальної міграції» дозволяє окреслити небезпечні території для вирощування сільськогосподарської продукції.

Таблиця 7 - Ступінь зв'язування Рb ґрунтами за провідними факторами хімічної (радіальної) міграції

Бал	Ступінь зв'язування	Ступінь небезпеки
0	Вельми слабка	Вельми сильна
1	Слабка	Сильна
2	Послаблена	Середня
3	Середня	Послаблена
4	Сильна	Слабка
5	Вельми сильна	Вельми слабка

Висновки і перспективи подальших досліджень. Така модель є основою для виконання подальших розрахунків стосовно міграції сполук важких металів у системі «ґрунт - рослина». Зокрема, мова йде про використання загальноприйнятих коефіцієнтів біологічного поглинання та біогеохімічної рухливості [4], за якими слід визначати ступінь забруднення важкими металами продукції рослинництва. А втім, численні дослідження свідчать про вибіркочну поведінку рослин щодо накопичення ВМ, причому різниця у поглинанні проявляється як між рослинами різних видів, так і, навіть, між різними

частинами однієї й тієї ж рослинної продукції. Крім того [4], простежується залежність між інтенсивністю поглинання ВМ рослинами і типом ґрунту, на якому вони вирощені. Тому, перспективним напрямком досліджень, слід вважати створення картографічної моделі, де було б враховано згадані особливості біогенної міграції сполук важких металів, що дозволить приймати обґрунтовані рішення про оптимальний спосіб використання кожної ділянки сільськогосподарського призначення, яка потрапляє в приавтомагістральну зону забруднення важкими металами.

Список літератури

1. *Галаган О. О.* Моделювання розподілу важких металів у приавтомагістральних геосистемах / О. О. Галаган // Фіз географія та геоморфологія. – 2013. – Вип. 2(70), – С.28-33.
2. *Галаган А. А.* Геоинформационное моделирование загрязнения приземного слоя атмосферы тяжелыми металлами в приавтомагистральных геосистемах / А. А. Галаган, Н. П. Корогода // Комплексные проблемы техносферной безопасности : Материалы Международной научно-практической конф. (Воронеж, 12 ноября 2014 г.). – Воронеж : ВГУ, 2014. – С. 128-132.
3. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (от 15.05.1990 № 5174-90)
4. *Некос А. Н.* Акумулятивні властивості рослин як фактор формування екологічної безпеки рослинної харчової продукції (на прикладі Харківського регіону) / А. Н. Некос // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2012. – № 1-2. – С. 100-109.
5. Methodendokumentation «Bodenkunde»: Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. // Geologisches Jahrbuch. Sonderhefte: Reihe G – Heft SG 1- Ad-hoc-AG Boden. Volker Hennings. Herausgegeben von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Staatlichen Geologischen Diensten in der Bundesrepublik Deutschland. – Verlag Schweizerbart, Stuttgart, 2000.

Галаган О. О. Визначення ступеня забруднення приавтомагістральних геосистем сполуками важких металів за допомогою математично-картографічного моделювання. Викладено методика математично-картографічного моделювання перерозподілу важких металів у приавтомагістральних геосистемах в процесі механічної та хімічної міграції. Представлено основні кроки обрахунку коефіцієнтів, що характеризують такий перерозподіл, задля визначення потенційно небезпечних територій ведення сільськогосподарської діяльності, з точки зору забруднення продукції рослинництва сполуками важких металів.

Ключові слова: важкі метали, фактори міграції, математично-картографічне моделювання.

Halahan O. O. Determination of the degree of contamination of roadside geosystems by complex heavy metals by means of mathematical-cartographic modeling. Provided the technique of mathematical-cartographic modeling of distribution of heavy metals in the roadside geosystems during mechanical and chemical migration. Presented the main steps of calculating the coefficient characterizing such distribution, to determine potentially hazardous areas agricultural practices, in terms of crop production contamination with heavy metals.

Keywords: heavy metals, migration factors, mathematical-cartographic modeling.

Галаган А. А. Определение степени загрязнения приавтомагистральных геосистем соединениями тяжелых металлов при помощи математически-картографического моделирования. Изложена методика математически-картографического моделирования перераспределения тяжелых металлов в приавтомагистральных геосистемах в процессе механической и химической миграции. Представлены основные шаги расчетов коэффициентов, характеризующих такое перераспределение, для определения потенциально опасных территорий ведения сельскохозяйственной деятельности, с точки зрения загрязнения продукции растениеводства соединениями тяжелых металлов.

Ключевые слова: тяжелые металлы, факторы миграции, математически-картографическое моделирование.

Надійшла до редколегії 07.10.2015