

УДК 379.85:712.23: 332.32

**О.О. СКРИПНИК**, канд. біол. наук, старший науковий співробітник відділу екологічного нормування Інституту проблем природокористування та екології НАН України, м. Дніпропетровськ, Україна

## БУДОВА ПОВЕРХНІ ПОРУШЕНИХ ГІРНИЧИМИ РОБОТАМИ ЗЕМЕЛЬ – ОСНОВНИЙ ФАКТОР РОЗВИТКУ ВТОРИННИХ ЕКОСИСТЕМ

**Визначені концептуальні засади формування вторинних екосистем. Виконана параметризація геометричної будови поверхні. Проективне покриття рослинності визначене як критерій оцінки стану екосистем**

**Ключові слова:** поверхня порушених гірничими роботами земель, формування вторинних екосистем

### Вступ

Розробка сучасних гірничих технологій потребує вирішення цілого ряду, перш за все, екологічних проблем. Технології реабілітації порушених гірничими роботами земель, взагалі, мають на меті подолання негативних екологічних наслідків виробництва. Технології рекультивативні спрямовані в основному на відновлення продуктивності порушених земель, зазвичай, вимогам екологічної безпеки не відповідають [1, 2, 3]. Вони побудовані на площинних моделях, які у природі не зустрічаються.

Загострення екологічної кризи потребує нових технологічних рішень на основі теорії сталого розвитку [4], зокрема збереження біорізноманіття, припинення опустелення земель, глобальних змін клімату. Необхідно залучати трьохмірні моделі формування поверхні, які б забезпечили її гармонійну взаємодію з факторами навколишнього середовища (атмосферними опадами, вітром, сонячним опромінюванням, біотою).

Для кількісного визначення процесів деградації та реабілітації необхідно здійснювати геометризацію поверхні порушених гірничими роботами земель (ППГРЗ). Зага-

льні засади геометризації поверхні обґрунтували К.Ф. Гаусс [5], Й. Крхо [6] та інші. Геометризація поверхонь природних тіл, яка визначає параметри рудних тіл, була започаткована у вигляді гірничої геометрії П.К. Соболевським [7]. Очевидною є подібність формування родовища корисних копалин та формування вторинних екосистем порушених земель, з якої випливає можливість і необхідність застосування методів геометризації для визначення природних процесів формування вторинних екосистем. Вплив рельєфу на формування ґрунтів започаткували І.Н. Степанов [8] та П.О. Шарий [9].

Метою досліджень є розробка основ методології обґрунтування технологічних рішень з реабілітації порушених гірничими роботами земель через геометризацію їх поверхні.

Важливими задачами, які залишаються не вирішеними є визначення концептуальних основ та параметризація будови поверхні, стану екосистем, які виключають загрози для екобезпеки території.

### Основні результати

*Обґрунтування необхідності залучення природних процесів до технологій реабілітації порушених гірничими роботами земель.* Теорія сталого розвитку визначає наступні вимоги для технічних рішень реабілітації порушених земель: ресурсо- та енерго-

збереження, відтворення екосистем, біотичного різноманіття тощо. Відповідність технологій вимогам сталого розвитку може забезпечуватись, головним чином, на основі залучення до них природних процесів.

Відомо, що в енерго- і ресурсозбереженні лідерські позиції займають процеси функціонування живих систем. У зв'язку з цим, їх

залучення до вирішення технологічних завдань, особливо, пов'язаних з усуненням дисбалансів навколишнього середовища, є найбільш перспективним напрямком його гармонізації. Наші розрахунки свідчать, що технології формування вторинних екосистем, основу яких складають сприяння розвитку біоти, вимагають у 13 разів менше ресурсних витрат і супроводжуються у 20 раз меншим негативним впливом на навколишнє середовище, ніж традиційні технології рекультивациі.

Разом з тим, навіть піонерна рослинність здатна не тільки забезпечувати розвиток продукційного компонента екосистем, а і суттєво зменшувати негативні процеси водної та вітрової ерозії, запилення атмосфери, забруднення гідросфери. Наші спостереження на дослідній ділянці відвалу № 3 Інгuleцького ГЗК свідчать про зменшення пиління його поверхні у 25 разів при формування буркунових, та у 45 разів деревних угруповань з переважанням акації білої та карагачу.

*Загальні засади досягнення вимог екологічної безпеки технологій реабілітації порушених гірничими роботами земель.* Одним з основних показників оцінки екологічної безпеки є розмір екозбитків. Збитками вважаються втрати від дії шкідливих процесів. Екологічними в межах концепції природокористування за М.Ф. Реймерсом вважаються збитки, нанесені господарству (техносистеми). В межах медичної концепції екологічними вважаються збитки для здоров'я людини.

У відповідності до концепції сталого розвитку екозбитками треба вважати втрати компонентів природних екосистем (грунтів, рослинності, біорізноманіття та інших) або механізмів їх взаємодії внаслідок техногенної діяльності. Численними дослідженнями, прийнятими міжнародними документами з охорони навколишнього середовища доведено, що нанесення збитків екосистемам є джерелом всіх похідних від цього екологічних збитків: для здоров'я людини, ресурсної бази господарства, змін клімату, втрати біорізноманіття та інших.

Дослідження стану порушених земель Кривбасу свідчать про те, що відвали та хвостосховища були побудовані без урахування особливостей природних процесів, а цілком на основі виробничої доцільності. Нездат-

ність до природної взаємодії з компонентами навколишнього середовища породжує екологічні збитки.

Дослідження екосистем порушених гірничими роботами земель у техногенних ландшафтних заказниках «Візирка», «Богданівський», «Вершина», «Грушівка», які увійшли до природно-заповідного фонду Дніпропетровської області, дозволили довести ефект компенсації екологічних збитків через формування вторинних екосистем. Вторинні ґрунти та рослинність гальмують розвиток процесів вітрової та водної ерозії, компенсують втрати від знищення екосистем за біомасою та біорізноманіттям.

Зміни екосистем та компенсація екологічних збитків відбуваються у природі впродовж десятків, іноді, сотень років. Для зменшення екологічних збитків необхідно здійснювати технологічні заходи прискорення через внесення дефіцитних елементів мінерального живлення, покращення режиму зволоження, тощо.

Наші дослідження з внесенням органічної речовини осадів стічних вод на експериментальній ділянці відвалу №3 Інгuleцького ГЗК свідчать про можливість прискорення формування екосистем за параметрами загального проективного покриття рослинності (рисунок 1а) та біорізноманіття (рисунок 1б).

Формування вторинних екосистем із застосуванням технологій прискорення є універсальним методом зменшення екозбитків порушених гірничими роботами земель.

*Обґрунтування ППГРЗ в якості просторової основи порушених гірничими роботами земель.* Просторовий аналіз структури біосфери свідчить про її вертикальну стратифікацію, що дало можливість М.Ф. Реймерсу обґрунтувати категорію террабіосфери як поверхневого елемента геобіосфери.

Виконана нами подальша деталізація вертикального розчленування біосфери свідчить, що живі організми, більшість з яких за біомасою складають рослини, концентруються на поверхні літосфери.

Досягнення біотичного максимуму на поверхні літосфери підтверджують наші дослідження профілю розподілу біомаси модельних степової дернини та дерева дуба звичайного в лісових екосистемах у заказнику «Кільченський» та результати досліджень інших авторів (В.А. Усольцев, Н.А. Сидель-

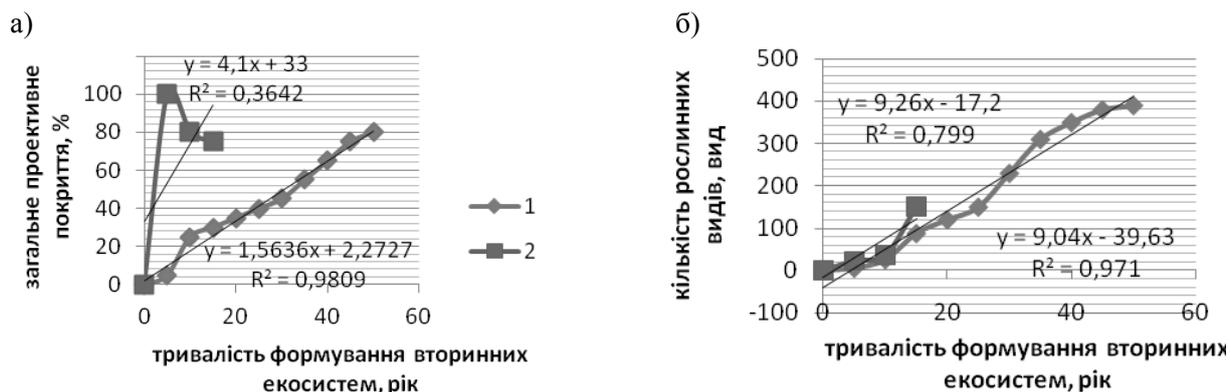


Рисунок 1 – Динаміка параметрів стану вторинних екосистем: а- загального проективного покриття; б – рослинного біорізноманіття; 1 – природний процес; 2 – технологічне прискорення.

ник та інші), виконаних у багатьох екосистемах планети (рисунок 2).

Аналогічний вертикальний розподіл, як свідчать наші узагальнення, спостерігається для вмісту гумусу, що є основним едафічним параметром у більшості ґрунтів помірної зони (рисунок 3). З ним корелює розподіл вмісту основних біогенних макроелементів азоту (N), фосфору (P) та калію (K), вологи.

Особливу актуальність набуває просторове представлення поверхнею розподілу

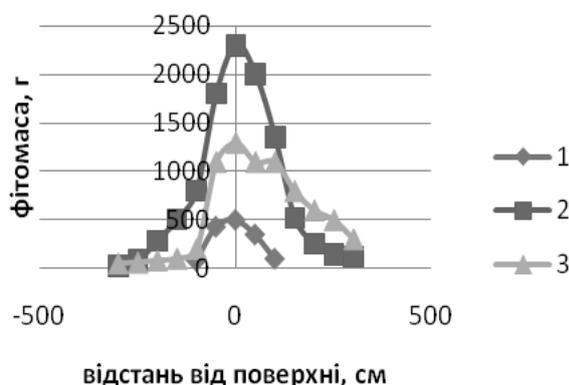


Рисунок 2 – Вертикальний розподіл середньої фітомаси для: 1- модельної ділянки степу; 2- модельного дерева дуба звичайного; 3 – модельного дерева сосни звичайної

*Обґрунтування ППГРЗ в якості функціональної основи розвитку природних та техногенних процесів.* Теоретично підтверджено, що максимуму інтенсивності сягають природні процеси на поверхнях розділу фаз агрегатного стану речовини. Це твердження є актуальним і для поверхні літосфери.

вторинних екосистем порушених гірничими роботами земель, потужність розвитку яких залишається мінімальною.

В результаті геометризації просторової будови біосфери у тривимірному просторі було доведено необхідність використання поверхні літосфери, зокрема, для порушених земель, яка є центральною ланкою розповсюдження біоти, для розробки технологічних рішень з реабілітації земель.

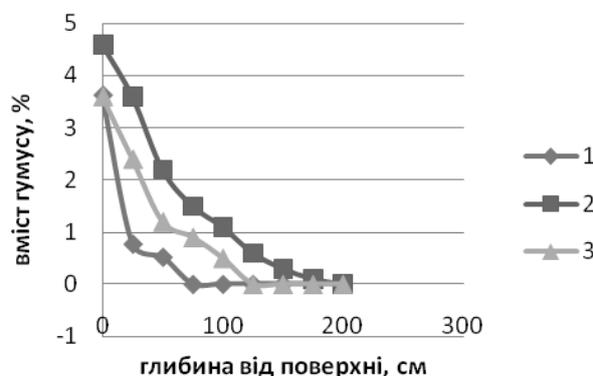


Рисунок 3 – Вертикальний розподіл середнього вмісту гумусу у природних ґрунтах: 1 – підзоли; 2 – чорноземи; 3 – каштанові ґрунти

Як відомо, порушення природної поверхні літосфери послідовно збільшувалось в процесі індустріального зростання, що проявлялось у появі порушених гірничими роботами земель, затопленні водосховищами, житловому будівництві, яружній ерозії, оранці та інших.

Це сприяло деградації природних механізмів функціонування біосфери. Особливо нищівного впливу завдають навколишньому середовищу порушені гірничими роботами землі. Результати наших досліджень чорноземів степової зони (рисунок 4) та висновки інших авторів (Ю.М. Дмитрук, Ю.К. Стульцева та інших) свідчать про загальну тенденцію до накопичення забруднення ґрунтів важкими металами у поверхневих горизонтах.

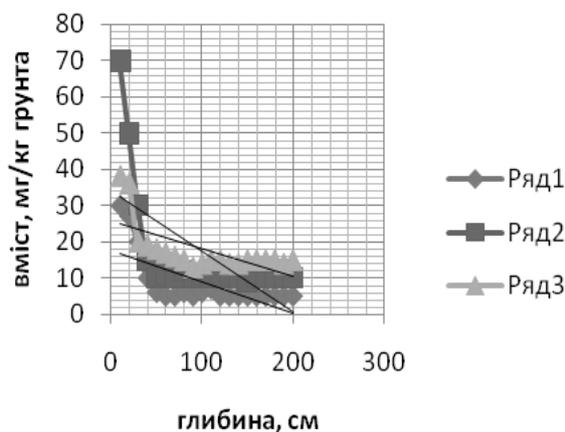


Рисунок 4 – Зменшення забруднення ґрунтів важкими металами з глибиною: 1 – Zn; 2 – Mn; 3 – Cu

*Концептуальні основи геометризації будови ППГРЗ як засобу кількісного визначення стану екосистем.* Геометризаційна концепція полягає у твердженні: екологічні умови представляють собою результат взаємодії геополів Землі на зрізі денної поверхні. Формування екосистем здійснюється під дією екологічних умов, отже, екосистеми мають структуру еквівалентну геометричній будові поверхні.

Геометрична будова поверхні Землі F є базисом розвитку процесів формування екосистем. Енергетичний вплив на формування екосистем здійснюють геофізичні поля (теплого опромінювання Землі, гравітації, тощо) і їх необхідно виділяти як чинники 1 порядку впливу F1 (фактори-результати за І.М. Степановим). Під фізичним впливом формуються геохімічні поля, які проявляються в закономірному розташуванні речовин (гірських порід, поживних елементів, води), які слід визначати як чинники 2 порядку впливу F2. Як прояви геохімічних полів в атмосфері, треба визначати кліматичні чинники. Геохімічне поле ґрунтових вод

Проведений нами аналіз даних про забруднення атмосфери Кривбасу свідчить, що незважаючи на складну циркуляцію повітря, загальна тенденція до максимального забруднення пилом та шкідливими газами зберігається біля поверхні літосфери (рисунок 5).

Таким чином, нами доведено, що ППГРЗ є визначальним функціональним елементом системи екобезпеки території.

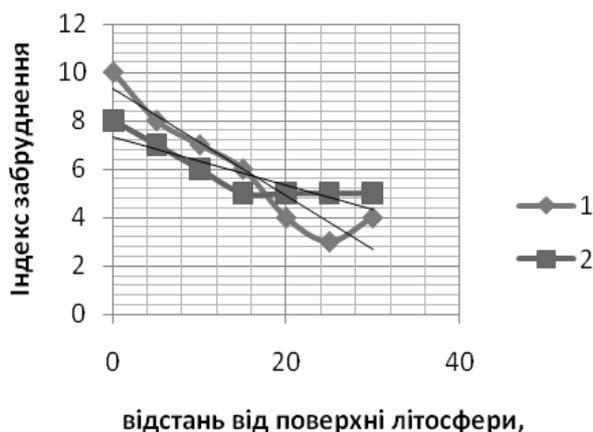


Рисунок 5 – Зменшення забруднення атмосфери з віддаленням від поверхні літосфери: райони (1 – промисловий; 2 – селітебний)

здійснює істотний вплив на екосистеми при розташуванні на відстані не більше 3–5 м від поверхні літосфери. Відповідно з дією геофізичних і геохімічних полів формуються біогенні поля, які проявляються у вигляді множин екосистем, в тому числі, біосфери, їх вплив на формування екосистем слід розглядати як чинники 3 порядку впливу F3. Як біогенні поля слід розглядати поля розповсюдження наступних компонентів екосистеми: ґрунтів, рослинності, мікроорганізмів та тварин. Техногенні чинники, зокрема, гірничопромислової діяльності, провідної до створення порушених гірничими роботами земель, будемо визначати факторами 4 порядку впливу F4.

Геометризація поверхні функціонування природних процесів дає змогу визначити їх просторову структуру, зважаючи на загальні залежності між інтенсивністю та відстанню взаємодії.

На ППГРЗ відповідно до потенціалу геополів утворюються потоки речовини та енергії, в результаті яких відбувається їх перерозподіл, утворюються зони акумуляції (на-

копичення) та дисперсії (виносу). Застосування відомих моделей масо- та теплопереносу в результаті дії Сонця, атмосферних опадів, вітру, розповсюдження біоти дало нам змогу виконувати розрахунки параметрів екологічних умов та оцінки екологічної безпеки території для точок та їх множин (ліній, полігонів, ареалів) ППГРЗ. На основі розрахунків досягається можливість розробки більш ефективних методів досягнення вимог екологічної безпеки. Вирішення прямих та зворотних задач сприяє зменшенню екологічних збитків як шляхом зміни будови поверхні на гірничотехнічному етапі, так і пристосуванням вторинних екосистем до умов, що визначає будова, вже створених відвалів, кар'єрів та хвостосховищ.

Таким чином, геометризація ППГРЗ створює можливість кількісної просторової оцінки стану екосистем порушених гірничими роботами земель, розробки технічних рішень зменшення екозбитків.

*Параметризація системи формування вторинних екосистем території.* Вторинні екосистеми території є функцією складної техноекосистеми. Вона включає енергетичні

та субстанційні, біотичні та абіотичні, стаціонарні та динамічні елементи, що взаємодіють.

Параметризація головних елементів системи дозволяє кількісно оцінювати, порівнювати з нормою, розробляти заходи з досягнення мети реабілітації.

*Геометризаційні параметри ППГРЗ.* Алгоритми розрахунку на базі ЦМР, в тому числі, і за даними ДЗЗ, дозволяють отримувати головні геоморфометричні параметри в рамках багатьох ГІС-технологій. Сьогодні розробляються системи геоморфометричних параметрів для вирішення екологічних проблем.

Найбільш прийнятною для ППГРЗ є система П.А. Шарого. Однак, вона не відображає взаємодію поверхні з вітром, який є одним з визначальних природних агентів.

Запропонована нами система включає додаткові параметри кута вітрової експозиції, довжини розгону вітрового потоку, площі полігону джерела, форми поверхні. Вона є структурована з виділенням класів координат, експозицій, довжини, кривизни, площ та форм (таблиця 1).

Таблиця 1 – Геометризаційні параметри ППГРЗ

| Клас       | Параметри                   | Розмірність      |
|------------|-----------------------------|------------------|
| Координати | Широта                      | град             |
|            | Довгота                     | град             |
|            | Висота над рівнем моря      | м                |
| Експозиції | Кут стрімкості схилу        | град             |
|            | Кут азимуту експозиції      | град             |
|            | Кут вітрової експозиції     | град             |
| Довжина    | Схилу                       | м                |
|            | Розгону водного потоку      | м                |
|            | Розгону вітрового потоку    | м                |
| Кривизна   | Вертикальна кривизна        | 1/м              |
|            | Горизонтальна кривизна      | 1/м              |
|            | Повна гаусова кривизна      | 1/м <sup>2</sup> |
|            | Мінімальна кривизна         | 1/м              |
|            | Максимальна кривизна        | 1/м              |
|            | Повна акумуляційна кривизна | 1/м <sup>2</sup> |
| Площа      | Полігону                    | м <sup>2</sup>   |
|            | Водозбору                   | м <sup>2</sup>   |
|            | Водороздачі                 | м <sup>2</sup>   |
| Форми      | Сферичність                 | -                |
|            | Видовженість                | -                |
|            | Шорсткість                  | -                |

Проективне покриття рослинності – основний параметр стану екосистем. Оцінка стану екосистем являє складну багатоаспектну задачу. Для прийняття інженерних рішень необхідно з множини параметрів вибрати головний та надати йому критеріальної ваги.

Для загальної оцінки стану екосистем найбільш придатним є загальне проективне покриття рослинності.

В результаті формалізації параметра, з'явилася можливість його визначення, разом з традиційними глазомірними методами,

більш об'єктивними за співвідношеннями площ, як в інтерактивному, так і автоматичному режимі, також, з використанням ДЗЗ (індексів LAI та NDVI).

Дослідження природних екосистем дозволили виявити регресійні залежності між загальним проективним покриттям рослинності та вмістом фракції пилу у ґрунтах (рисунки а), фактором вологості, розрахунок якого виконується за будовою ППГРЗ або прямим вимірюванням термостатно-ваговим методом (рисунк б).

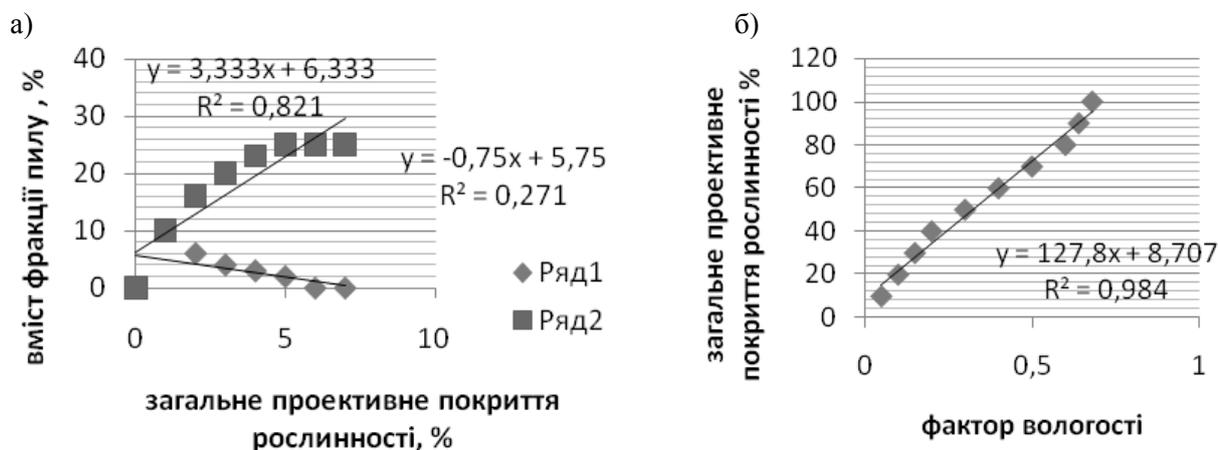


Рисунок 6 – Лінійні регресійні залежності між загальним проективним покриттям рослинності та: а) інтенсивністю вітрової ерозії за вмістом фракції пилу у ґрунтах (1-злакова; 2-буркунова), б) фактору вологості

Вміст фракції пилу у ґрунтах свідчить про акумулятивний вплив проективного покриття на пиловий потік під час розвитку пиління від вітрової ерозії.

Таким чином, було доведено, що фактор забезпеченості вологою в умовах Кривбасу виступає як основний чинник формування екосистем, визначає проективне покриття рослинних угруповань.

### Висновки

1. Серед технологій реабілітації порушених гірничими роботами земель найбільш адекватним вимогам сталого розвитку є формування вторинних екосистем через залучення природних процесів. Дослідження свідчать, що рослинність вторинних екосистем здатна не тільки компенсувати екозбитки від знищення екосистем на місці розташування порушених гірськими роботами земель, а й зводити водну та вітрову ерозію поверхні до нуля. Технології активізації природних процесів дозволяють прискорити природні процеси через накопичення біомаси та розвиток біорізноманіття.

2. Поверхня порушених гірничими роботами земель (ППГРЗ) є основною передумовою розвитку природних процесів, що забезпечують функціонування вторинних екосистем. Параметри ППГРЗ можуть використовуватися як інформаційна основа визначення сучасного екологічного стану. Екологічні умови створюються при впливі на поверхню літосфери геополів Землі. Формування вторинних екосистем відбувається під дією екологічних умов, отже, екосистеми мають структуру еквівалентну геометричній будові поверхні.

3. Параметризація системи дозволяє сформувати сукупність геометризаційних показників, яка структурована на класи: координат, кутів, довжин, кривизн, площ і

форм. Головним критерієм оцінки стану екосистем є параметр загального проективного покриття рослинності.

#### Перелік посилань

1. Формування стійких екосистем на рекультивованих землях / Забалуєв В.О., Таріка О.Г. Бабенко М.Г., Горячковский С.В., Білоног Ю.Ф. // Мат. міжн. конф. Рациональне використання рекультивованих та еродованих земель. Дніпропетровськ. – 2006. – С. 34-36.
2. Рыженков Д.Д. Конструирование почвоподобных экосистем на основе дерново-подзолистой почвы с использованием копролита : диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук : 03.00.16 / Рыженков Д.Д.; Брянск, 2009.- 209 с.
3. Харитонов М.М. Геохімічна оцінка ефективності використання трьохшарової моделі сільськогосподарської рекультивациі в Західному Донбасі / М.М. Харитонов // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія. – Суми, 2004. – Вип.1(8). – С.131-132.
4. Наукові засади розробки стратегії сталого розвитку України / [Букринський Б.В., Харічков С.К., Купінець Л.Є. та інші]: за ред. Б.В. Буркинського, В.П. Кухара, Л.Г. Руденко, А.Г. Шапара – Одеса: ІПРЕД НАН України, 2012. – 714 с.
5. Гаусс К.Ф. Общие исследования о кривых поверхностях/ Гаусс К.Ф. // Об основаниях геометрии. М.: Гостехтеориздат, 1956.
6. Соколевский П.К. Современная горная геометрия / Соколевский П.К. //Социалистическая реконструкция и наука. – Вып. 7. – 1932. – С. 42-78.
7. Степанов И.Н. Пространство и время в науках о почвах / Степанов И.Н. - М.: Наука, 2003. - 184 с.
8. Шарый П.А. Топографический метод вторых производных / Шарый П.А. //Геометрия структур земной поверхности. Пушино: Пушинский научный центр АН СССР, 1991,1. - С. 28-58.

*Стаття надійшла до редколегії 06.11.2015 р. українською мовою  
Стаття рекомендована членом редколегії д-ром геол. наук О.К. Тяпкіним*

#### О.О. СКРИПНИК

*Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины,  
г. Днепропетровск, Украина*

#### СТРОЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НАРУШЕННЫХ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ ЗЕМЕЛЬ - ОСНОВНОЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ

**Определены концептуальные основы формирования вторичных экосистем. Выполнена параметризация геометрического строения поверхности. Проективное покрытие растительности определено как критерий оценки состояния экосистем.**

**Ключевые слова:** поверхность нарушенных горными работами земель, формирование вторичных экосистем.

**O.O. SKRIPNIK**

*Institute of Nature Management and Ecology of NAS of Ukraine,  
Dnepropetrovsk, Ukraine*

**STRUCTURE SURFACE MINING OF DISTURBED LANDS –  
THE MAIN FACTORS OF DEVELOPMENT OF SECONDARY ECOSYSTEM**

**Define a conceptual basis for the formation of secondary ecosystems. Parameterize the geometric structure of the surface. Plant cover is defined as a criterion for assessing the status of ecosystems.**

***Keywords:* surface mining operations disturbed lands, formation of secondary ecosystems.**