

УДК 379.85:712.23: 332.32

*О.А. Скрипник*

**ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ – ФОРМАЛЬНЫЙ  
МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ  
АБИОТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ  
ПОВЕРХНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ЭКОСИСТЕМ НАРУШЕННЫХ  
ГОРНЫМИ РАБОТАМИ ЗЕМЕЛЬ \***

*Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, Днепропетровск*

**Обоснована форма и содержание геометризации поверхности восстановления. Разработан стандартный набор пространственных и субстратных атрибутов точки поверхности восстановления. Произведена геометризация склона с определением ширины его плакорного аналога.**

**Обґрунтована форма і зміст геометризації поверхні відновлення. Розроблено стандартний набір просторових та субстратних атрибутів точки поверхні відновлення. Виконана геометризація схилу з визначенням широти його плакорного аналогу.**

**Вступление**

Строение поверхности Земли лежит в основе разнообразия экосистем территории. Традиционно в качестве фактора почвообразования, экосистемообразования, ландшафтообразования рассматривается рельеф. Разнообразие рельефа проявляется в виде разнообразия его форм, в основном, на качественном уровне [1,2]. Современные методы геоморфологических исследований позволяют оперировать количественными данными о поверхности Земли [3,4,5].

Теоретические основы геометрии поверхности Земли формировались, главным образом, для естественных поверхностей. На основе плоскостной геометрии Евклида, дифференциальной геометрии поверхностей, описанных кривизнами [6,7], развилась современная геоморфометрия, обосновавшая локальную систему геометрических величин [8,9,10,11], которая нашла свое применение в почвенных исследованиях [12].

Геометризация горных объектов была направлена в основном на поверхности геохимических полей месторождений [13]. Рекультивация имела целью сведение сложных поверхностей к горизонтальной плоскости лишенной разнообразия.

Использование нарушенных земель для сохранения биотического и ландшафтного разнообразия требует разработки формальных методов геометризации поверхностей нарушенных земель. Современные методы дистанционного зондирования Земли, глобального позиционирования, компьютерной обработки информации позволяют составлять цифровые модели рельефа (ЦМР) с разрешением до 1м [14], которые образуют надежную информационную основу для обоснования биотического разнообразия. Геометризация нарушенных горными работами земель открывает новые возможности разработки технологий биогодиверсификации [15].

**Материалы и методы**

Объектом исследований служили нарушенные горными работами земли Криворожского железорудного и Никопольского марганцеворудного бассейнов. Предметом исследований являлось биотическое разнообразие строения поверхности территорий, которые используются или могут быть использованы для создания техногенных ландшафтных заказников. Базы данных формировались на основе топографических

карт, маркшейдерских, геодезических съемок, космических снимков разных масштабов (1:2 000 - 1:200 000). Для оценки биотического разнообразия применялись стандартные почвенные и геоботанические методы, для обработки результатов применялись аналитические, сравнительные, генетические, картометрические [16], экосистемологиче-

\* Работа выполнена под научным руководством члена-корреспондента НАН Украины А. Г. Шапаря

ские [17] методы. Для геометризации поверхности восстановления применялись методы морфоизограф И.Н. Степанова [18] и система локальных пространственных пока-

зателей П.А. Шарого [12]. В качестве теоретической основы использовалась экологическая классификация техногенных ландшафтов [19].

**— Основные результаты и их обсуждение**

*Общие положения.* Геометризация нарушенных горными работами земель представляет собой комплекс методов сбора, систематизации, обработки, хранения, применения информации о пространственных особенностях территорий, требующей восстановления. Геометризация создает возможность проведения расчетов для оценки, прогнозирования развития природных и технологических процессов, составления графических документов, обоснования выбора технологий проведения восстановительных работ.

Геометризация поверхности восстановления выявляет пространственное положение факторов, влияющих на процессы вторичного почвообразования, появления растительности, формирования вторичных экосистем. Основным таким фактором является

рельеф, который формально представляется в виде геометрического строения. Строение поверхности образует форму. Вместе с тем, в форме существует содержание в виде пространственного положения почвообразующих пород, распространения питательных, токсичных элементов, влаги и др. И форма, и содержание поверхности восстановления требуют геометризации для решения задач восстановления.

Единичным элементом поверхности восстановления является точка, которая обладает координатами (широта, долгота, высота над уровнем моря) и соответствующими ей пространственными и непространственными атрибутами. Анализ пространственных показателей поверхности восстановления позволил сформировать стандартный набор атрибутов точки (таблица 1).

Таблица 1 - Пространственные атрибуты точки поверхности восстановления

Индекс	Атрибут	Определение
GA	Крутизна склона	Количественная мера максимальной скорости убывания высоты в гравитационном поле; она изменяется от 0 до 90°. Геометрически GA - это угол между горизонтальной и касательной к поверхности плоскостями
EA	Экспозиция склона	Количественная мера ориентации точки на Солнце. Отсчитываемый от южного направления по часовой стрелке азимут направления склона
L	Длина склона	Количественная мера действия склоновых процессов. Геометрически L - это кратчайшее расстояние от точки до водораздела
KV	Кривизна	Сложный атрибут (14 элементов), определяющих кривизну поверхности [8,12]
MCA	Максимальная сборная площадь	Мера способности точки к аккумуляции поверхностного стока
MDA	Максимальная дисперсивная площадь	Мера способности точки к пропусканню поверхностного стока
F	Освещенность	Мера способности точки аккумулировать энергию солнечного излучения

Содержание поверхности определяется ее способностью к восстановлению, его определяет комплекс атрибутов, характеризующих субстратные свойства. Атрибуты, характеризующие субстратные свойства явля-

ются сложными, для их характеристики требуется определение нескольких простых показателей (таблица 2). Самым сложным субстратным атрибутом является биологическая активность почв (БАП), которая определяет-

ся через видовой состав, численность и биомассу почвообитающих беспозвоночных, водорослей, бактерий, грибов, простейших и др.; интенсивность дыхания по количеству выделившегося углекислого газа; характер микробных «пейзажей», формирующихся на заложенных в почву агаризированных предметных стеклах, представляющих активную микрофлору почвы; ферментативный потен-

циал протеазы, амилазы, каталазы, инвертазы, фосфатазы, дегидрогеназы; морфологическое состояние и активность вегетативных клеток свободноживущих простейших (цитодиагностика почвенной среды); суммарное количество аминокислот и белков (нингидринположительных веществ); нитрификационную, аммонификационную способность почв.

Таблица 2 – Сложные субстратные атрибуты точки поверхности восстановления

№	Атрибут	Индекс	Показатель	Индекс
1.	Пористость	П	Удельная масса. Объемная масса. Порозность.	УМ; ОМ; ПР
2.	Водопроницаемость	ВПР	Коэффициент впитывания. Коэффициент фильтрации. Высота капиллярного поднятия.	КВП; КФ; ВКП
3.	Влагоемкость	ВЛГ	Максимальная гигроскопическая влажность. Влажность завядания. Наименьшая влагоемкость. Полная влагоемкость.	МГВ; ВЗ; НВ; ПВ
4.	Минералогический состав	МН	Весовое участие минералов.	МНп
5.	Гранулометрический состав	ГР	Весовое участие частиц по фракциям крупности.	ГРп
6.	Агрегатный состав	АГ	Микроагрегатный состав. Структурноагрегатный состав	МАГп; САГп
7.	Питательность	ПТ	Содержание N, P, K.	[N],[ P],[ K]
8.	Ионный состав	ИН	Реакция среды. Засоленность	pH; ЗС
9.	Коллоидный состав	КЛ	Емкость поглощения. Состав поглощенных оснований.	ППК; [Ca]; [Mg]; [Na]
10.	Гумусность	Г	Содержание гумуса.	[G]
11.	Окраска	О	Тон. Интенсивность. Насыщенность.	H; V; C
12.	Биологическая активность почв	БАП	Биомасса. Биоразнообразие и др.	БМ; БР и др.

*Геометризация пространственного положения элементов поверхности восстановления.* Теоретически геометризация топографической поверхности состоит в выявлении инвариантных [13] геометрических элементов (точек, линий, плоскостей, поверхностей и др.). Геометризация поверхности восстановления выявляет инвариантные геометрические элементы для восстановления экосистем, формирования абиотического и биотического разнообразия. Для проведения геометризации необходимо, прежде всего, в соответствии с необходимым уровнем приближения обосновать применение

геометрической модели. Простая плоскостная модель позволяет применять методы планиметрии евклидовой геометрии. Усложнение модели ведет к усложнению расчетов. Криволинейные модели, например, потребуют применения методов дифференциальной геометрии. Результатом геометризации является определение пространственного положения элементов абиотического и соответствующего биотического разнообразия через проведение границ (рисунок).

Одной из важнейших задач геометризации является вычисление площади. Традиционно площадь земель, подлежащих вос-

становленню, измеряется площадью горизонтальной проекции поверхности, которая принята в качестве учетной государственными органами землеустройства, кадастра, геодезии. Если для целей учета эта «условная» площадь и может рассматриваться как стандартная, то для целей охраны природы и рационального использования природных ресурсов требуется вычисление реальной площади поверхности в

трехмерном пространстве. Для нарушенных земель, имеющих значительные уклоны поверхности, вычисление реальной площади ареалов особенно актуально. Вычисление площади сегодня производится аналитическим (по координатам точек), графическим (разбиением на геометрические фигуры), квадратическим (палеткой), механическим (планиметром) методами.

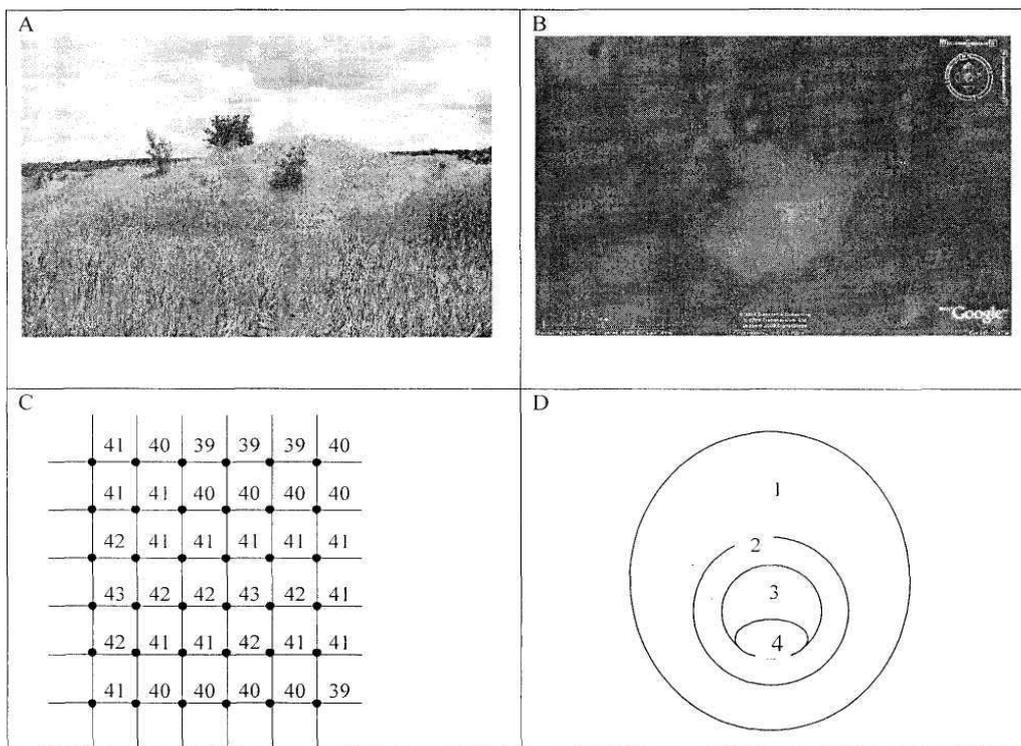


Рисунок - Геометризация бестранспортного отвала Грушевого карьера

*A – фотоизображение B - космический снимок; C - цифровая модель рельефа (ЦМР); D - геометрическая модель почвенного разнообразия: 1 - литоземы влажные глиноморфные среднеглинистые, литоземы свежие глиноморфные легкоглинистые; 3 - литоземы сухие глиноморфные легкоглинистые; 4 - литоземы суперсухие глиноморфные легкоглинистые.*

Аналитическое определение поверхностного объекта в трехмерном пространстве может в первом приближении производиться через вычисление площади поверхности полигонального поверхностного ареала, путем разбиения его на плоские треугольники, площадь которых вычисляется по формуле Герона.

Для вычисления площади полигона в трехмерном пространстве по координатам вершин может использоваться несложная компьютерная программа.

Вычисления площади трехмерной поверхности восстановления техногенных

ландшафтных заказников («Визирка», «Богдановский», «Вершина», «Грушевский») свидетельствуют о том, что реальная площадь превышает учетную в среднем на 12%.

Геометризация склона и вычисление ширины плакорного аналога. Энергетические потоки в субстрате определяются, главным образом, взаимодействием поверхности со световым излучением Солнца. Результат такого взаимодействия (температурный режим, режим увлажнения, испарения, формирование почвенного разнообразия) зависит от пространственного взаиморасположения поверхности и Солнца. Этот эффект опреде-

ляет фундаментальный закон зональности, впервые сформулированный В.В. Докучаевым.

Аналогичные закономерности зависимостей распространения типа растительности на склоне от его экспозиции были сформулированы в виде правила «предварения» В.В. АLEXИНЫМ: «Плакорный вид или плакорная растительность предваряются на юге или на севере в соответствующих условиях местообитания» [20]. Отклонения от правил зональности в распределении растительных сообществ (появление по северным склонам более "северной" растительности, а по южным - более "южной"), обусловлены различиями угла падения солнечных лучей и, следовательно, различиями температурного режима (<http://ievbran.ru>). Аналогичные отклонения проявляются в пространственном распределении почвенных индивидуумов. Однако, точных оценок, определеннее, чем «более или менее», правило не несет.

Взаимодействие поверхности почвенного покрова с солнечным излучением происходит в соответствии с положением Солнца на небесной сфере, которое все время изменяется. Энергия солнечного излучения зависит от множества факторов (широты, угла наклона, угла экспозиции, угла склонения, часового угла, прозрачности атмосферы, облачности, рассеянной радиации).

Критерием оценки энергетического воздействия Солнца может служить угол падения солнечных лучей в ясный полдень (часовой угол солнца равен 0), в день равноденствия, когда угол склонения Солнца, также, равен 0.

Такие условия позволяют существенно упростить известную формулу угла падения прямых солнечных лучей на произвольно ориентированную поверхность [21]:

$$\cos IA = \sin GA \sin \varphi \cos EA + \cos GA \cos \varphi, \quad (1)$$

где,  $IA$  - угол падения солнечных лучей в полдень в день равноденствия, град;  $GA$  - угол наклона поверхности к горизонту, град;  $EA$  - угол экспозиции поверхности, град;  $\varphi$  - угол географической широты, град;

Величина  $\cos IA$ , которая фигурирует в большинстве формул, имеет безразмерный характер, может рассматриваться как фактор освещенности. При помощи этого показателя в точке поверхности восстановления определяется количественная характеристика взаимодействия с основным источником

энергии, который определяет микроклиматические, а, следовательно, и экологические особенности точки поверхности.

Используя (1), нетрудно получить уравнение зависимости правила «предварения», устанавливающее соответствие плакорной точки на широте  $\varphi_1$  и склоновой точки на широте  $\varphi_2$ :

$$\cos \varphi_1 = \sin GA \sin \varphi_2 \cos EA + \cos GA \cos \varphi_2. \quad (2)$$

Используя полученное уравнение, путем несложных вычислений, можно любому склону поставить в соответствие плакорный аналог.

Например, на склоне южной экспозиции долины р. Днепр в ксп Украина Днепропетровского района Днепропетровской области (наклон  $8^\circ$ ) должны формироваться почвы, имеющие плакорный аналог под  $42^\circ 40'$  (широта Северного Узбекистана). В аналогичных условиях увлажнения на широте  $42^\circ 40'$  образуются бурые полупустынные легкосуглинистые почвы с маломощным гумусовым профилем ( $LGH=10-15CM$ ), с содержанием гумуса 2,5%, вскипающие с поверхности. Подобными показателями обладают черноземы обыкновенные сильносмытые легкосуглинистые, которые сегодня традиционно диагностируются на склоне южной экспозиции. Из расчетов, очевидно, что почвы склона имеют редуцированный гумусовый профиль не в результате водной эрозии, а в результате полупустынного температурного режима.

Восстановление почв нарушенных горными работами земель (отвалов, бортов карьеров, зон обрушения), происходит в соответствии с правилом предварения. Исходя из крутизны и ориентации склонов, широты местности здесь можно прогнозировать температурный и водный режим вторичных почв. Расчеты показывают, что на склонах южной экспозиции ( $EA=0^\circ$ ), создаются микроклиматические условия аналогичные каменистым пустыням Сахары (гамадам), где формируются слабо развитые пустынные почвы и, соответствующая им, пустынная растительность. Требования создания здесь, например, лесов или садов, нельзя удовлетворить без осуществления искусственных и дорогостоящих мероприятий (орошение, выполаживание и др.). Неадекватные экологическим условиям почвы и растительность обречены здесь на деградацию и вырождение.

Дальнейшее совершенствование модели, применение компьютерных средств (по «средним» суткам», по среднемесячным значениям, по «типичному году», программы TRNSYS) создает возможность вычислять мгновенные значения теплового воздействия

Солнца. Геометризация, в целом, создает возможности расчетов разработки плоскостных, дифференциальных, фрактальных моделей развития деградационных процессов эрозии почв и пород, аккумуляции питательных и токсичных веществ, влагооборота.

### Выводы

1. Геометризация поверхности нарушенных горными работами земель создает возможность формальных решений задач восстановления.

2. Геометризация позволяет вычислять реальную площадь поверхности восстановления в трехмерном пространстве, ко-

торая в техногенных ландшафтных заказниках, в среднем, на 12% превышает учетную.

3. Плакорный аналог склона свидетельствует, что на крутых склонах южной экспозиции создаются экотопы с микроклиматическими условиями пустынь.

### Перечень ссылок

1. Бондарчук В.Г. Геоморфология УССР. – Киев: Радянська школа, 1949. – 241 с.
2. Маринич О.М., Шищенко П.Г., Щербань М.І., Ланько А.І. Фізична географія Української РСР. – К: Вища школа, 1982. – 206 с.
3. Современный рельеф. Понятия, цели, методы изучения. – Новосибирск: Наука, 1989. – 156 с.
4. Симонов Ю.Г. Геоморфология фундаментальных исследований. – СПб: Питер, 2005. – 427 с.
5. Симонов Ю.Г. Болысов С.И. Методы геоморфологических исследований. Методология. – М.: Аспект-Пресс, 2002. – 191 с.
6. Gauss, C.F., 1827. Disquisitiones generales circa area superficies curvas. Gott. gel. Anz., No. 177, S. 1761-1768. (in Latin). Имеется перевод: Гаусс К.Ф. (1827). Общие исследования о кривых поверхностях. В сборнике: Об основаниях геометрии. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1956. – С.123-161.
7. Maxwell, J.C., 1870. On hills and dales. Philosophical Magazine, Series 4, Vol. 40, No. 269, pp. 421-427.
8. Evans, I.S., 1990. General geomorphometry. In: Goudie, A., et al. (Eds.), Geomorphological Techniques, 2nd edition. Allen & Unwin, London, Chap. 2.3, pp. 44-56.
9. Horton R.E. Erosional development of streams and their drainage basin. In "Bull. Geol. Soc. Am." 1945. №3. 275-370.
10. Krcho, J., 1973. Morphometric analysis of relief on the basis of geometric aspect of field theory. Acta Geographica Universitatis Comenianae, Geographico-Physica, No. 1, 7-233.
11. Strahler A.N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. Handbooks of applied hydrology/New-York – San-Francisco – Toronto – London, 1964. 4.39 – 4.136
12. Shary, P.A., Sharaya, L.S., Mitusov, A.V., 2002. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. Geoderma v.107, no.1-2, p.1-32.
13. Соболевский П.К. Современная горная геометрия // Социалистическая реконструкция и наука – Вып. 7. – 1932. – С. 42-78.
14. Скрипник О.О. Розробка наукових основ технологій біогеодиверсифікації порушених гірничими роботами земель для розбудови екологічної мережі // Екологія і природокористування. Зб. наук. праць ІППЕ України. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 11. – С. 55-70.
15. ГОСТ 22268-76. Геодезия. Термины и определения.
16. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. – М.: Мысль, 1972. – 423 с.
17. Голубець М.А. Екосистемологія. – Львів: В-во «Поллі», 2000. – 316 с.
18. Степанов Н.И. Формы в мире почв. – М.: Наука, 1986. – 192 с.
19. Сметана С.М. Екологічна класифікація техногенних ландшафтів гірничодобувних регіонів // Екологія і природокористування. Зб. наук. праць ІППЕ України. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 11. – С. 30-41.

20. Алехин В.В. География растений (основы фитогеографии, экологии и геоботаники). - М.: Учпедгиз, 1950. - 420 с.

21. Трошкина Г.Н. Математическое моделирование процессов теплообмена в системе «Солнечный коллектор – аккумулятор тепла». Автореф. канд. дисс. - Барнаул. – 2006. – 22 с.

*O.A. Skrypnyk*    **GEOMETRIZATION - THE FORMAL METHOD  
OF REVEALING ABIOTIC DIVERSITY  
SURFACES OF ECOSYSTEM RESTORATION  
OF DESTRUCTED BY MINING LANDS**

*Institute of Problems on Nature Management and Ecology National Academy of Sciences  
of Ukraine, Dnipropetrovsk*

**Form and content geometrization of surface of restoration are founded. The standart collection of space and substrate attribute are developed. Geometrization of slope with defining plakor analog is executed.**

*Надійшла до редколегії 16 вересня 2009 р.  
Рекомендовано членом редколегії докт.техн.наук Т.І. Долговою*