

12. Малишева Л.Л. Геохимия ландшафтов: Навч. посібник. – К.: Либідь, 2000. – 472 с.
13. Малишева Л.Л. Ландшафтно-геохімічна оцінка екологічного стану територій: Монографія – К.: РВЦ “Київський університет”, 1997 – 264 с.
14. Микроэлементы в почвах СССР / Под ред. В.А. Ковды, Н.Г. Зырина. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 281 с.
15. Микроэлементы в почвах СССР / Под ред. В.А. Ковды, Н.Г. Зырина. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 252 с.
16. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. – М.: Астрель, 1999. – 768 с.
17. Почвы Украины и повышение их плодородия. Т 1. Экология, режимы и процессы, классификация и генетико-производственные аспекты. – К.: Урожай, 1988. – 296 с.
18. Почвы Украины и повышение их плодородия. Т. 2. Продуктивность почв, пути ее повышения, мелиорация, защита почв от эрозии и управление плодородием / Под ред. Б.С. Носко, В.В. Медведева, Р.С. Трусовецкого. – К.: Урожай, 1988. – 176 с.
19. Преображенский В.С., Мухина Л.И. Современные ландшафты как природно-антропогенные системы // Известия АН СССР. Серия геогр. – 1984. – № 1. – С. 19-27.
20. Проскурняк М.М. Структура закарстованих ландшафтів (на прикладі окремих регіонів лісостепу Східно-Європейської рівнини): Автореф. ... канд. геогр. наук. – К. – 1996. – 25 с.
21. Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. - М.: Недра, 1990. - 335с.
22. Солнцева Н.П. Методика ландшафтно-геохимических исследований влияния техногенных потоков на среду // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. – М.: Наука, 1981. – С. 41-77.
23. Сорокіна Л. Антропогенізовані ландшафти як варіанти природних // Вісник Львів. ун-ту. Серія геогр. – 2004. – Вип. 31. – С. 208 – 214.
24. Сорокіна Л.Ю., Рога І.В. Геопросторовий аналіз антропогенних змін ландшафтно-геохімічних умов території (теоретичний аспект) // Укр. геогр. журн. – 2011. – № 1. – С. 38-43.
25. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / За ред. А.І. Фатєєва, Я.В. Пашенко. – Харків: КП Друкарня № 13, 2003. – 117 с.
26. Царик Л.П. Еколого-географічний аналіз і оцінювання території: теорія та практика (на матеріалах Тернопільської області). – Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2006. – 256 с.
27. Черноземы СССР (Украина) / Под ред. В.М. Фридланда, И.И. Лебедевой, Т.П. Коковиной, В.Д. Кисель. – М.: Колос, 1981. – 256 с.
28. Хилько М.І. Забруднення навколишнього природного середовища // Екологічна енциклопедія: у 3 т. / Редколегія: А.В. Толстоухов (головний редактор) та ін. – К.: ТОВ “Центр екологічної освіти та інформації”, 2007. – Т. 3. – С. 30-31.
29. Хильчевський В.К., Акіом С.Д. Оцінка впливу гіпсового карсту на стік хімічних речовин у верхній частині басейну Дністра // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К: Ніка-центр, 2001. – Т. 2 – 872 с.

Інститут географії НАН України, Київ

Отримано 15.04. 2011

УДК 631.6.02(477.75)

**О.І. Єргіна, С.Г. Чорний**

## **МОДЕЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ФОРМУВАННЯ РЕЦЕНТНИХ ҐРУНТІВ У ЛАНДШАФТАХ КРИМУ**

**О.И. Ергина, С.Г. Черный**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЦЕНТНЫХ ПОЧВ В ЛАНДШАФТАХ КРЫМА**

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь  
Николаевский государственный аграрный университет*

Рассмотрены теоретические основы моделирования процесса почвообразования. На базе накопленного материала по изменению мощности почв во времени построены модели изменения скорости почвообразования для почв, образующихся в различных эколого-географических условиях Крымского полуострова.

**Ключевые слова:** моделирование; «горбатые» модели; рецентное почвообразование; скорости почвообразования.

**O. Yergina, S. Chorny**

**THE MODELLING OF SPEED OF RECENT SOIL FORMATION IN LANDSCAPES OF CRIMEA**

*Taurida V. Vernadsky National University, Simferopol  
Mykolayiv State Agrarian University*

The theoretical foundations of modelling the process of soil formation are considered. On the basis of the data on time changes of soil thickness the models of change of soil formation rate have been made for soils in different eco-geographical conditions of the Crimean Peninsula.

**Key words:** modelling; “humpback” model; recent soil formation; soil formation rate.

© О.І. Єргіна, С.Г. Чорний, 2011

Активна антропогенна діяльність в Криму спричинила утворення ландшафтів, у яких повністю або частково відсутній ґрунтовий покрив. Це території, де значні площі займають відвали, що утворилися при добуванні корисних копалин (залізної руди та будівельних матеріалів), при інтенсивному меліоративному будівництві (відвали каналів), промислового та житлового будівництві, веденні військової діяльності тощо. Іншою причиною руйнування ґрунтового покриву є сучасне землеробство, яке справляє великий вплив на стан ландшафтів, активізуючи площинний змив та лінійну ерозію, що призводить до утворення на місці зональних повнопрофільних ґрунтів ґрунтоподібних субстратів майже без гумусового горизонту, які класифікуються як сильно еродовані ґрунти [5].

Найбільш швидке відновлення ґрунтів на таких субстратах можливе лише при реплантації ґрунтів (або земляванні), коли на неродючу поверхню наносять ґрунт-реплантант, який виготовляється, як правило, з намитих ґрунтів. Якість реставрації таких субстратів з майже відсутнім ґрунтовим покривом буде пропорційною потужності шару реплантанта. Але реплантація пов'язана з великими витратами на виготовлення такого ґрунту, його перевезенням та монтажем, а тому в сьогоденні економічних умовах на техногенних відвалах гірських порід та у виведених з активного землекористування еродованих ґрунтах Криму доцільнішим є процес поступової саморегенерації, відновлення (самовідновлення) ґрунтів без активного антропогенного впливу, або лише за рахунок залісення чи залуження таких ґрунтоподібних субстратів.

Процес саморегенерації ґрунтів нині відбувається у досить специфічних умовах, які відрізняються від процесу формування зональних ґрунтів Криму впродовж голоцену. Це не стільки наслідок «відновлення екологічного балансу виведених із рівноваги геосистем, які “відкинуті” по шкалі внутрішнього часу до попередніх, або до початкових стадій розвитку» [1, с.5], а якісно новий процес утворення ґрунтів, який пов'язаний з новими факторами ґрунтоутворення (кліматичними, рослинними та ґрунтоутворювальними порід). Тобто йдеться не стільки про саморегенерацію, не про відновлення якихось ґрунтів, які були утворені в інші епохи, а про утворення нових, які будуть докорінно відрізнятися від зональних. А тому терміни «регенерація» («саморегенерація»), «відновлення» ґрунтів у цьому контексті не зовсім коректні. У таких випадках краще говорити про процес сучасного або рецентного (від лат. *recenter* – недавно, тільки що) ґрунтоутворення, внаслідок якого й формуються сучасні молоді ґрунти та ґрунтоподібні субстрати [1].

На жаль, цей процес поки що порівняно мало вивчений, але дослідження процесу формування

молодих ґрунтів необхідні з цілої низки причин. Зокрема, знання процедур функціонування рецентних ґрунтів може бути основою для розроблення технологій управління їх родючістю, головним чином шляхом змін в рослинному покриві, зокрема через лісомеліорацію та залуження, а також внесення добрив.

Процес управління родючістю рецентних ґрунтів має спиратися на адекватні моделі їх формування, на моделі змін їх властивостей в часі. На наш погляд, найбільш актуальним є створення математичних моделей формування в часі гумусового горизонту – головної атрибутивної ознаки ґрунту.

Для отримання вихідного емпіричного матеріалу використано дані ґрунтово-хронологічних досліджень рецентних ґрунтів Кримського півострова. Ґрунтово-хронологічні дослідження включали, насамперед, вивчення квазіґрунтових об'єктів, які виникли на залишках різноманітних історико-археологічних пам'яток (стародавніх поселень, оборонних валів, курганів тощо). Дослідницька цінність таких об'єктів полягає в тому, що можна досить надійно за допомогою археологічних та історичних методів датувати початок формування рецентних ґрунтів. У нашому випадку досліджували історико-археологічні пам'ятки, які мали квазіґрунтові об'єкти з початком ґрунтоутворення в діапазоні від XIV ст. до н.е. до IX ст. н.е. Для аналізу були взяті також сучасніші ґрунтоподібні субстрати, які утворилися в XV–XX ст. на залишках житлових та господарських будівель, відвалах окопів Кримської та Другої світової воєн, техногенних відвалах гірських порід тощо, що забезпечило можливість вивчати рецентні ґрунти на початкових етапах ґрунтоутворення.

Всього було вивчено 77 різновікових об'єктів. Методика проведення ґрунтово-хронологічних досліджень докладніше представлена в роботах [3, 4].

Кількісна інтерпретація вихідних даних має певні проблеми щодо виду функції, яка повинна описувати швидкість утворення гумусового шару, як функцію від його потужності. Слід зауважити, що при кількісній інтерпретації даних щодо процесу утворення гумусового шару голоценових ґрунтів (неточним аналогом цього є поняття «ґрунтоутворення» або «soil production» в англійській літературі), використано два типи кривих [7, 8].

Зокрема, швидкість ( $G$ , мм/рік) утворення гумусового шару зменшується разом зі збільшенням його потужності ( $H_g$ , мм) у вигляді оберненої експоненти (рис. 1):

$$G = G_0 \cdot \exp(-k \cdot H_g), \quad (1)$$

де  $G_0$  - максимальна стартова швидкість утворення гумусового шару, мм/рік,  $k$  - емпірична константа.

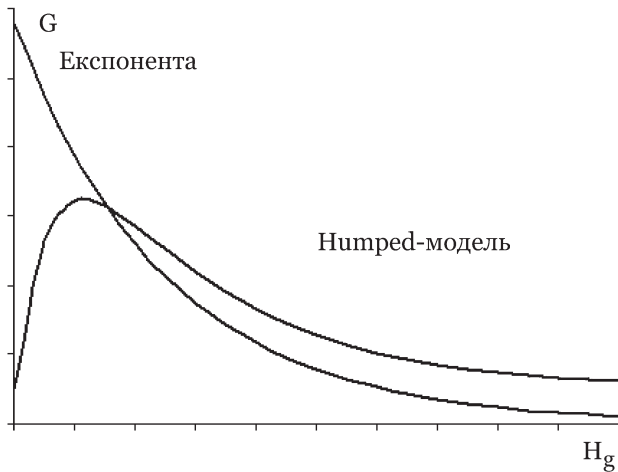


Рисунок 1. Схематичний вигляд кривих, які описують процес ґрунтоутворення

Зниження швидкості утворення гумусового шару зі збільшенням його потужності пов'язано із затуханням з глибиною таких важливих факторів внутрішньоґрунтового вивітрювання як добова та річна амплітуди температури і водонепроникності ґрунтоутворювальної породи. Слід зауважити, що з глибиною зменшується дія на породу також біотичних складових ґрунтоутворення – вищих рослин і мікроорганізмів, а тому з глибиною зменшується інтенсивність гумусонакопичення.

Величина параметрів  $G_0$  і  $k$  у формулі (1) залежать від параметрів клімату і властивостей ґрунтоутворювальних порід. Зокрема, згідно [7,8] величина максимальної швидкості ґрунтоутворення коливається від 0,08 до 2,0 мм/рік для ґрунтів Північної Каліфорнії і від 0,05 до 0,14 мм/рік для ґрунтів південного сходу Австралії.

Але разом з тим існує думка, що еволюція ґрунтів у біогенному циклі, як і еволюції всього ландшафту, може відбуватися по складнішій траєкторії. При цьому посилюються на роботи американського геоморфолога і геолога Дж. К. Гілберта, який вважав, що найкращою моделлю еволюції ландшафтів є так звані «горбаті» моделі (*humped model*) (рис.1). Учений припускав, що найбільшою швидкістю вивітрювання гірських порід, а, отже, й інтенсивністю ґрунтоутворення, буде у верхньому 10-30-сантиметровому шарі, де найінтенсивніше відбуваються процеси фізичного і хімічного вивітрювання. Очевидно, що це можливо лише за наявності води. А саме цей шар найчастіше зволожується опадами, тому в ньому відбувається максимальне фізичне та біологічне вивітрювання. Подальше збільшення шару вивітрених порід призводить до поступового зменшення швидкості ґрунтоутворення, що пов'язано зі зменшенням контрастів у добовому і річному ході температур, зниженням ймовірності повного промочування вивітреного шару гірських порід, зменшенням дії

біотичної складової ґрунтоутворення, особливо мікроорганізмів [7,8].

Складнішим є процес ґрунтоутворення на схилах, коли частина вивітрених гірських порід буде піддаватися ерозії. У цьому випадку швидкість ґрунтоутворення, крім описаних вище факторів, залежатиме ще й від інтенсивності ерозії.

На наш погляд, аналогічно за двома сценаріями утворення гумусового горизонту відбуваються і процеси утворення рецентних ґрунтів Кримського півострова. А тому для кількісного аналізу весь масив даних було розділено на дві відносно генетично однорідні вибірки. Перша вибірка об'єднувала різновікові квазіґрунтови рецентні об'єкти, які утворилися на пухких породах (на лесах і лесовидних суглинках, червоно-бурих і жовто-бурих глинах), друга об'єднувала об'єкти, які утворилися на щільних карбонатних породах, пісковиках і глинистих сланцях, змінених у процесі ґрунтоутворення.

Впродовж голоцену на субстратах першої групи утворилися південні чорноземи та темно-каштанові ґрунти, а на субстратах другої групи – коричневі ґрунти Південного берега Криму, бурі лісові та дерново-карбонатні ґрунти гірських районів.

Аналіз першої вибірки показав, що експонента досить точно описує процес формування гумусових горизонтів рецентних ґрунтів (рис. 2).

$$G = 1,2436 \cdot \exp(-0,0055 \cdot H_g), \quad (2)$$

де  $G$  – швидкість формування гумусових горизонтів, мм/рік,  $H_g$  – потужність гумусового горизонту, мм.

Перевірку гіпотези про відповідність моделі (2) реальним даним здійснено за допомогою непараметричного критерію узгодженості Смирнова-Коломогорова [2], який дає змогу вирішувати задачі в умовах відносно невеликих вибірок. Розрахунки показали, що цей критерій ( $\lambda$ ) дорівнює 0,018, що набагато менше критичного при 95% вірогідності ( $\lambda_{05}$ ) – 1,36. Це вказує на те, що істотної різниці між вихідними даними щодо швидкості ґрунтоутворення та значеннями  $G$ , розрахованими за моделлю (2), немає.

Складнішою є ситуація з рецентними ґрунтоподібними субстратами, які утворюються на щільних карбонатних породах, пісковиках і глинистих сланцях. Повний набір можливих функцій та докладний кількісний аналіз за допомогою критерію узгодженості Смирнова-Коломогорова показав, що найкраще ( $\lambda=1,18$  при  $\lambda_{05}=1,36$ ) процес утворення гумусового горизонту описується таким рівнянням:

$$G = 0,0004 \cdot \exp(-0,00014 \cdot H_g^2) \cdot H_g^2 \quad (3)$$

Параметри рівняння (3) визначені вище.

Графічний аналіз показує (рис. 3), що залежність (3) є типовою «горбатою» функцією, змістовний сенс якої щодо процесу ґрунтоутворення був описаний вище. Максимальна швидкість рецентного ґрунтоутворення ( $G = 1,00 - 1,05$  мм/рік) спостерігається при потужності гумусового горизонту 10-12 см, а потім поступово зменшується.

Отже, процеси ґрунтоутворення (утворення гумусових горизонтів) рецентних ґрунтів Криму мають різні сценарії залежно від властивостей материнської породи. Адекватні математичні моделі показують, що при ґрунтоутворенні на пухких гірських породах залежність швидкості утворення гумусового горизонту від його потужності описується як обернена експонента, а при ґрунтоутворенні на щільних гірських породах – як «горбата» функція.

Це дає змогу визначити основні закономірності процесу рецентного ґрунтоутворення та розробити різні сценарії відтворення родючості таких ґрунтів шляхом створення штучних або напівприродних лісових чи степових ландшафтів в різноманітних геосистемах Кримського півострова.

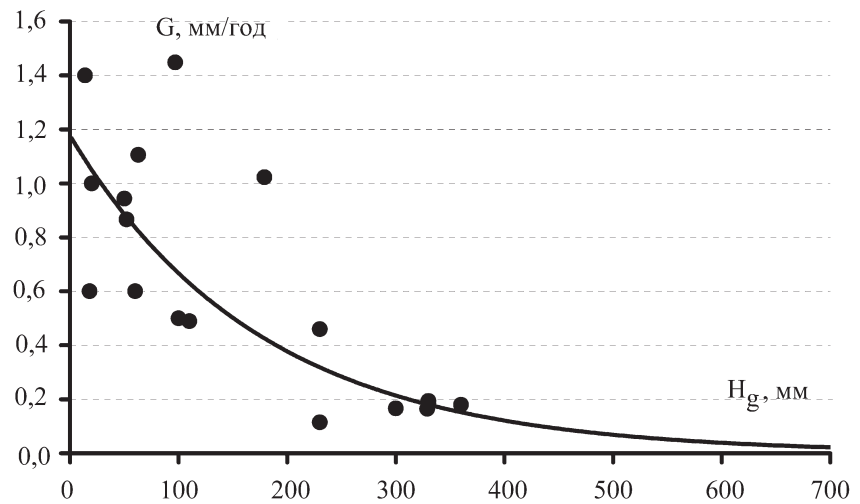


Рисунок 2. Залежність швидкості ґрунтоутворення від потужності гумусового горизонту ґрунтів, які сформувалися на пухких породах Кримського півострова

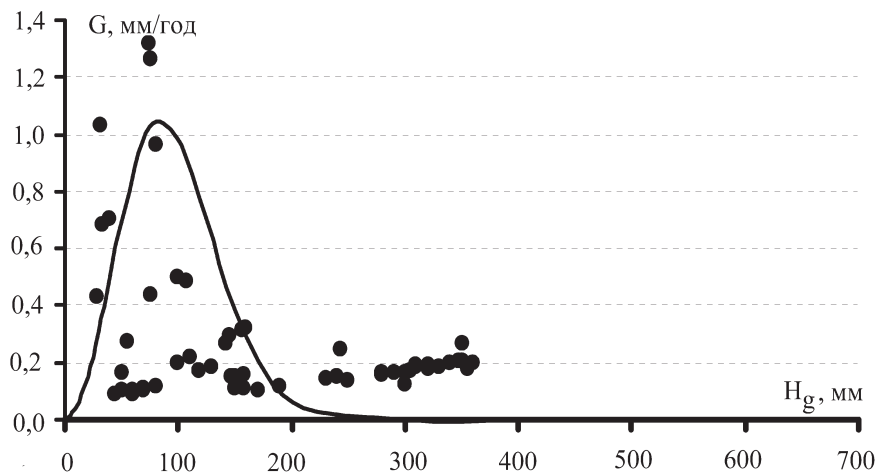


Рисунок 3. Залежність швидкості ґрунтоутворення від потужності гумусового горизонту ґрунтів, які сформувалися на щільних породах Кримського півострова

1. Голєусов П.В., Лисецкий Ф.Н. Воспроизводство почв в антропогенных ландшафтах лесостепи. – Белгород: Изд-во Белгор. гос. ун-та, 2005. – 232 с.
2. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 319 с.
3. Єрґіна О.І. Ґрунтово-хронологічні дослідження в Криму // Фізична географія та геоморфологія. – 2005. – Вип. 49. – С. 206-212.
4. Єрґіна О.І. Ґрунтово-хронологічні дослідження процесу ґрунтоутворення в Криму // Вісник Львів. ун-ту. Серія географічна. – 2007. – Вип. 34. – С.90-96.
5. Светличный А.А., Черный С.Г., Швец Г.И. Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты: Монография. – Сумы: Университетская книга, 2004. – 410 с.
6. Humphreys, G. S., Wilkinson, M. T. The soil production function: a brief history and its rediscovery // Geoderma. – 2007. – V. 139. – P. 73-78.
7. Wilkinson M. T., Chappell J., Humphreys G. S., Fifield K., Smith B., Hesse, P. P. Soil production in heath and forest, Blue Mountains, Australia: influence of lithology and palaeoclimate // Earth Surface Processes and Landforms. – 2005. – V. 30. – P. 923-934.