

Методика математичного моделювання та картографування граничної потужності гумусового горизонту ґрунтів

Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського, м. Сімферополь
e-mail: YazcivLena@ramber.ru, mikhailov_v@ramber.ru

Анотація. Обґрунтовані математичні моделі розрахунку граничної потужності гумусового горизонту ґрунтів, які можуть використовуватися при прогнозах використання деградованих ерозією ландшафтів. Запропоновано методику ГІС-картографування розрахункових значень граничної потужності гумусового горизонту з урахуванням мікрокліматичних особливостей ґрунтоутворення на схилах.

Ключові слова: ерозія, енергетичні витрати на ґрунтоутворення, математичні моделі, гранична потужність гумусового горизонту, картографування, ГІС.

Сучасні природні та антропогенні ландшафти зазнають деформаційного впливу на всі компоненти, але особливих змін зазнають рослинний покрив та ґрунти. В умовах нераціональної господарської діяльності, інтенсивність процесів деградації ґрунтів та ландшафтів катастрофічно зростає, збільшуючи площинний змив, лінійну ерозію та дефляцію. Інтенсивність ерозії ґрунтів зростає в десятки і сотні разів. Зруйновані ерозією ґрунти не можуть бути відновлені в їх первісному стані через низькі темпи компенсаційного ґрунтоутворення. Наслідком прояву цього процесу є зниження якості ґрунтових ресурсів та здібності ландшафтів до відновлення.

За останнє тисячоліття внаслідок ерозії в світі втрачено 2000 млн. гектар орних земель, що становить 46 % оброблюваної ріллі [6]. В Україні, у зв'язку з високою розораністю території ерозія досягла величезних масштабів. Згідно останніх даних на території нашої країни водній та вітровій ерозії піддається понад 14,9 мільйона гектар сільськогосподарських угідь або 35,2 % від їх загальної площі [6]. Від сильної ерозії на території Кримського півострову страждають 60% розораних земель. Особливо це проявляється у Рівнинному Криму, де внаслідок розорення території на протязі останніх 200 років, сформувалися сучасні агроландшафти. За даними Комітету із земельних ресурсів АРК найбільш схильними до спільного впливу водної та вітрової ерозії є Чорноморський (54,5 тис. га або 13% його площі) і Сакський природно-сільськогосподарські райони (26,7 тис. га, або 14% площі). Максимально схильні до дії тільки водної ерозії – Чорноморський (67,7 тис га, або 16%) і Сімферопольський райони (86,6 тис. га або 30% площі території відповідно) [7].

Еродовані ґрунти є матеріальним вираженням ерозійного процесу, його результатом, свідченням неправильної експлуатації ґрунтових ресурсів. Саме наявність змитих ґрунтів є вихідною посилкою для зміни процедур землекористування, що призводить, врешті-решт, до впровадження ґрунтозахисних систем землеробства. Загальні природні умови, що характеризують потенційну ерозійну небезпеку – похил території, зливової небезпека, низька протиерозійна стійкість ґрунтів та інші – часто є недостатнім аргументом для впровадження ґрунтозахисного землеробства, чи в деяких випадках, до вживання кардинальних заходів до відновлення природної ситуації в регіоні. Тільки наявність змитих ґрунтів, коли ерозійний процес вже в різній мірі реалізований, найчастіше призводить до зміни характеру землекористування.

Еталоном при класифікаціях ступеню еродованості ґрунтів є «не змиті аналоги». В якості останніх рекомендують приймати, частіше за все, ґрунти вододілів. Іншим еталоном порівняння може бути ґрунтовий профіль на схилі, але з нееродованими ґрунтами. Однак відшукати нееродовані ґрунти на схилі в умовах тотальної розораності території не представляється можливим. Крім цього, навряд чи можуть бути еталоном для класифікації ґрунти, де, як правило, крім ерозії протікають і інші деградаційні процеси – дефляція, механічний зсув ґрунту ґрунтообробними знаряддями, дегуміфікація. Ці процеси, до речі, роблять абсолютно неприйнятним фактом вважати еталоном плакорні ґрунти. Особливо, якщо в основу класифікації покладено вміст (запаси) гумусу, тому що втрати органічної речовини при дегуміфікації в інтенсивних системах землеробства на плакорах цілком порівняні з водно-ерозійними процесами. Таким чином, ні в цілих умовах, ні в сучасних виробничих умовах (при тотальній розораності території) і, особливо, при інтенсивній меліорації, універсального еталону для порівняння та (або) класифікації ступеня еродованості ґрунтів реально не існує [10]. Тож не існує й еталону для визначення ступеню відхилення ландшафтів від «норми» [1], в той час коли необхідна інформація (наприклад при розробці прогнозних моделей) про вихідні характеристики компонентів ландшафту, в тому числі визначення досільськогосподарської або реставрованої потужності ґрунтів.

А тому слід вважати, що найбільш точно ступінь ерозійної деградації ґрунтового покриву може бути визначена лише при прямих оцінках обсягів вже втраченого при ерозійних процесах ґрунту в кожній точці схилу. В цьому випадку, більш-менш точно визначається величина ерозії за всі роки використання ґрунтового ресурсу і, отже, величина реальної нинішньої змитості ґрунту. Очевидно, що кількісною основою оцінки еродованості буде величина втраченого внаслідок експлуатації ґрунтового ресурсу, розрахованого по формулі [8]:

$$\Delta H_{\Gamma} = H_{\Gamma}(gr) - H_{\Gamma}(c), \quad (1)$$

де ΔH_{Γ} – втрачений ґрунтовий ресурс, мм;
 $H_{\Gamma}(gr)$ – граничне значення потужності ґрунту, мм;
 $H_{\Gamma}(c)$ – сучасна потужність гумусового горизонту, мм.

Нинішню потужність гумусового горизонту ($H_{\Gamma}(c)$) легко визначити в результаті польових досліджень. Показник $H_{\Gamma}(gr)$ можна розрахувати з допомогою математичних моделей. Вихідними матеріалами для визначення функції граничної потужності гумусового горизонту послужили архівні дані ДП Кримський науково-дослідний та проектний інститут землеустрою – карти, польові щоденники, технічні звіти, які містили основні відомості про ґрунтовий покрив в межах адміністративно-територіальних одиниць на рівні сільських рад: потужність гумусового горизонту ($H+H_{\Gamma}$), характеристика гранулометричного складу, ґрунтоутворюючі породи. Для аналізу вибиралися ґрунти вододілів. Основний тип використання угідь – рілля або пасовище. Всього було проаналізовано 85 розрізів на всій території Кримського півострова. Всі вихідні дані, згідно їх термодинамічних здібностей до ґрунтоутворення [5], були об'єднані у дві вибірки: ґрунти на пухких ґрунтоутворюючих породах (леси, лесовидні суглинки, глини, піски), та ґрунти на елювію та делювію щільних порід (вапняків, глинистих сланців, конгломератів та інших)

Виходячи з теоретичних положень ґрунтознавства логічно припустити, що максимальна потужність гумусового горизонту буде спостерігатися в стані клімаксу, тобто в умовах рівноваги чинників ґрунтоутворення і повної реалізації ґрунтоутворювального потенціалу факторів ґрунтоутворення. Для кількісної оцінки ґрунтоутворюючих можливостей ландшафту можна застосувати функцію В.Р. Волобуєва [2]:

$$Q = 41.868 \cdot \left[R \cdot e^{\frac{118.8 \cdot R \cdot 0.73}{P}} \right], \quad (2)$$

де Q – енергетичні затрати на ґрунтоутворення, ккал/см²·рік;
 R – радіаційний баланс, ккал/см²·рік;
 P – річна сума опадів, мм.

Підсумкові математичні моделі, які були отримані шляхом графічного аналізу даних, приведених до умов середньосуглинистих ґрунтів, мають вигляд [10]:

$$\Delta H_{\Gamma}(gr) = g \cdot (442.1 \cdot \ln Q - 2232.4), \quad (3)$$

$$\Delta H_{\Gamma}(gr) = g \cdot (393.4 \cdot \ln Q - 1905.1), \quad (4)$$

де $H_{\Gamma}(gr)$ – граничне значення потужності ґрунту, мм;
 g – поправка на гранулометричний склад [10];
 Q – енергетичні затрати на ґрунтоутворення по В.Р. Волобуєву [2].

Формула (3) дає можливість розраховувати максимальні потужності гумусового горизонту для ґрунтів на пухких ґрунтоутворюючих породах, а (4) для ґрунтів, що утворилися на елювії і делювії різноманітних щільних гірських порід.

Значення Q для розрахунку граничної потужності гумусового горизонту для схилових земель коригуються через зміни величини річної суми опадів (P_c) і радіаційного балансу (R_c) [8,10]:

$$P_c = P_0 \cdot \frac{W_c}{W_0}, \quad (5)$$

$$W_c = v \cdot k_R \cdot W_0 + \frac{L}{\sqrt{i}}, \quad (6)$$

де P_0 – кількість опадів на плакорній ділянці, мм;
 W_c – запаси вологи в метровому шарі ґрунту на схилі, мм;
 W_0 – запаси вологи в метровому шарі ґрунту на плакорі, мм;
 v – параметр, який для північних схилів дорівнює 1, а для південних – 0,95;
 k_R – співвідношення між прямою сонячною радіацією на схилі і на плакорі (S_c/S_0);

L – довжина схилу, м;
l – похил, ‰.

Зміна величини радіаційного балансу на схилі R_c в порівнянні з плакорами R_0 , відбувається тільки за рахунок прямої радіації, тоді як інші складові (альbedo, розсіяна радіація) є постійними, тобто:

$$R_c = R_0 \cdot \frac{S_c}{S_0}, \quad (7)$$

де R_c – радіаційний баланс на схилі, ккал/см² в рік;

R_0 – радіаційний баланс на плакорі, ккал/см² в рік;

S_c і S_0 – відповідно пряма сонячна радіація на схилі і на плакорних ділянках, ккал/см².

Співвідношення між прямою сонячною радіацією на схилі і на рівнинних ділянках визначається за відомими мікрокліматичними відношеннями [8,10]:

Використання моделей (3) та (4) для розрахунку максимально можливих потужностей гумусових горизонтів ґрунтів надає також унікальні можливості для оцінки ступеню антропогенного перетворення території через розрахунок максимальної потужності гумусового горизонту і тим самим робить такий підхід до моделювання незамінним при оцінці екологічних ситуацій територій, адже на сьогодні вкрай мало робіт, в яких би наголошувалося про необхідність врахування ступеню відхилення кожного типу ландшафту (як природного, так і антропогенного) від «норми» [1], та й поняття «норми» для ландшафтного комплексу методологічно та практично не обґрунтоване.

Алгоритм побудови карти розрахункової потужності ґрунтів був апробований на ключовій ділянці, розташованій в західній частині Тарханкутського півострова. Ділянка, що має площу 323,1 км², характеризується структурно-денудаційним рельєфом – переважанням пологих (2-5°) схилів, широких опуклих вододілів, широких балок і долин тимчасових водотоків (рис.1).

В ґрунтовому покриві території переважають дерново-карбонатні ґрунти та чорноземи південні в комплексах з виходами корінних порід (рис. 2).

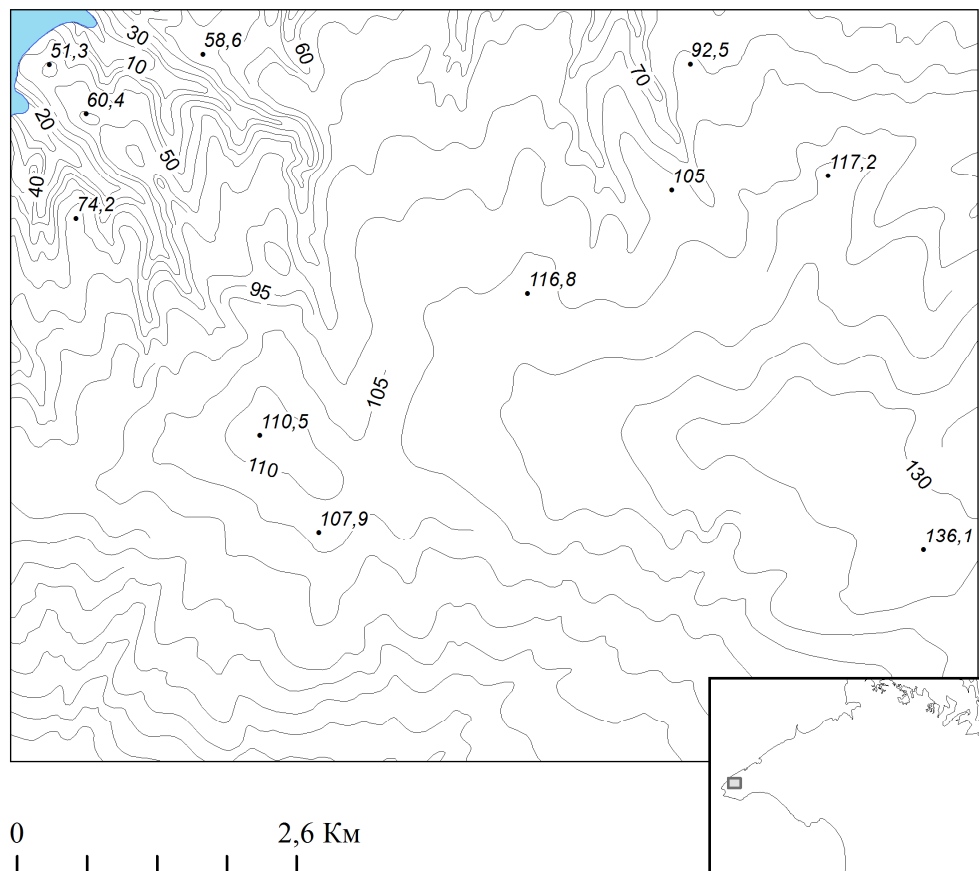
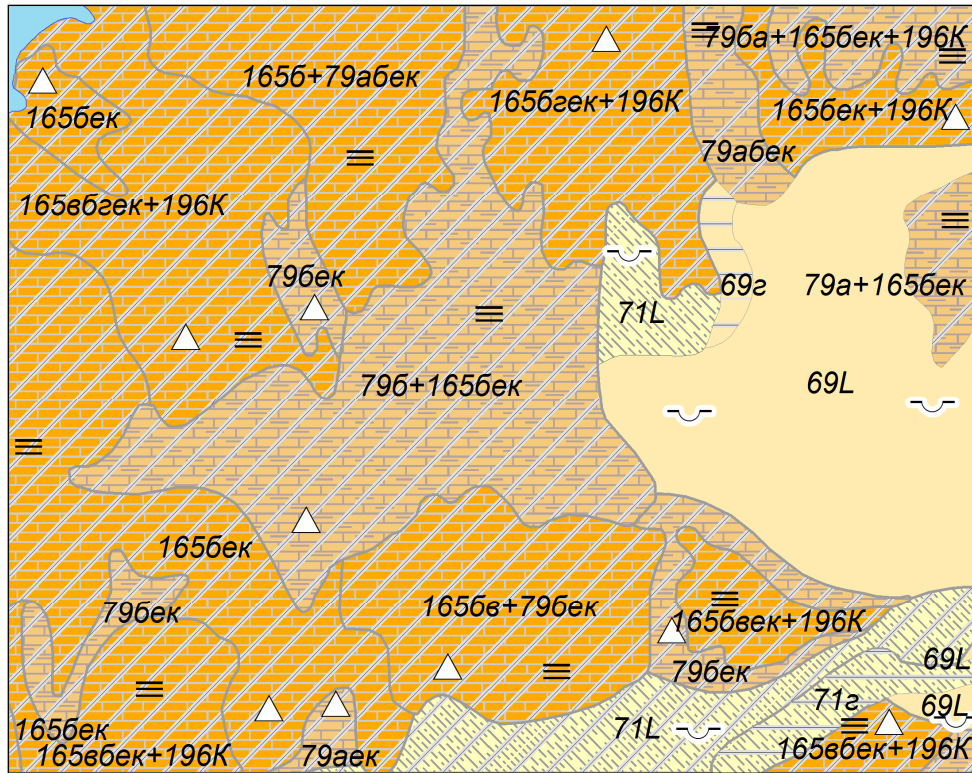


Рис. 1. Географічне положення і рельєф ключової ділянки.



Номенклатура ґрунтів

- 69 Чорноземи південні слабогумусовані
- 71 Чорноземи південні слабогумусовані міцелярно-висококарбонатні
- 79 Чорноземи переважно карбонатні щебенюваті і рінякові на елювії щільних і рінякових карбонатних і окарбонатованих порід
- 165 Дернові карбонатні ґрунти на елювії щільних карбонатних порід
- 196 Виходи порід

Механічний склад ґрунтів

- Важкосуглинкові
- Легкоглинисті
- Щебенюваті

Ґрунтоутворюючі породи

- L Леси і лесовидні породи
- ек Елювий щільних карбонатних порід
- К Щільні карбонатні породи

Змиті та намиті ґрунти

- б Слабозмиті
- в Середньозмиті
- г Намиті



Рис. 2. Фрагмент карти ґрунтів та ґрунтоутворюючих порід [3].

Побудова карти розрахункової потужності ґрунтів виконувалася за допомогою програмного комплексу ArcGIS 10.0. В основі побудованих карт енергетичних витрат на ґрунтоутворення покладені растрові шари радіаційного балансу і суми опадів [9], побудовані для території Кримського півострова, і отримані в результаті інтреполяції (спосіб локальних поліномів – Local Polynomial Interpolation) по метеостанціях (рис. 3). На основі цифрової моделі рельєфу для досліджуваної території за допомогою модуля Spatial Analyst були створені карти похилів (в градусах) і експозиції схилів (по 4 румбах).

Всі обчислення, пов'язані з визначенням розрахункової потужності ґрунтів, велися для сітки квадратів площею 1 км², що була утворена на ключовій ділянці; всього отримано 323 квадрати. Для точок, розташованих у центрі квадратів, за допомогою функції витягу з растрових шарів були отримані конкретні значення радіаційного балансу, суми опадів, експозиції і крутизни. Окремо, по карті ґрунтів [2], для розрахункових квадратів визначалися, з занесенням в таблицю атрибутивних даних центральних точок, механічний склад ґрунтів (з присвоєнням відповідного значення поправки (g) і характер ґрунтоутворюючої породи (рис. 2).



Рис. 3. Карта енергетичних витрат на ґрунтоутворення на ключовій ділянці.

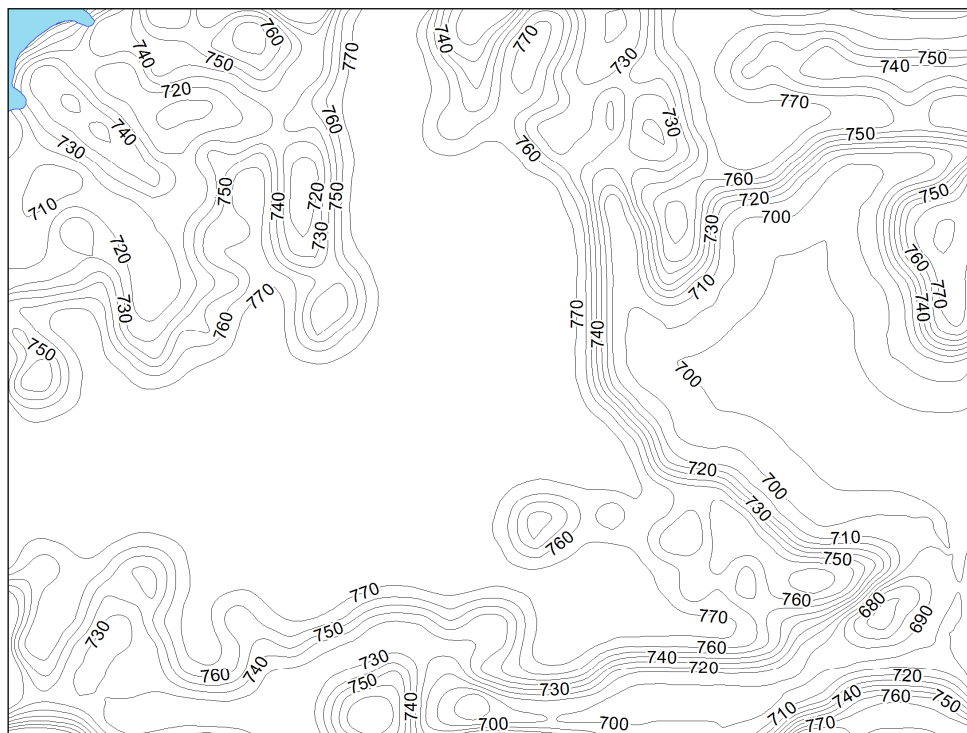


Рис. 4. Карта граничної потужності гумусового горизонту ґрунтів.

Подальші обчислення проводилися для центральних точок розрахункових квадратів за допомогою функції калькулятора поля. Розрахунки енергетичних витрат на ґрунтоутворення і розрахункової потужності ґрунтів проводилися окремо для квадратів з щільними і пухкими ґрунтоутворюючими породами. За отриманими значеннями була виконана інтерполяція (за допомогою модуля Geostatistical Analyst, спосіб Local Polynomial Interpolation) і отримана підсумкова карта розрахункової потужності ґрунтів (рис. 4).

Таким чином, запропонована методика дозволяє перейти до картографічних моделей ерозійної змитості ґрунтів і більш точно класифікувати ґрунти Криму за ступенем еродованості, та визначати досільськогосподарську потужність ґрунтів з метою відновлення природних ландшафтів при реставраційних та природоохоронних заходах на конкретній території.

Література

1. Боков В.А. К методике оценки экологической ситуации / В.А. Боков, С.А. Карпенко // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «География». – Том 23(62), № 3 – 2010. – С. 284 – 289.
2. Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования / В.Р. Волобуев – М.: Наука, 1974. – 126 с.
3. Ґрунти Української РСР / Гол. ред. проф. М.К. Крупський. М 1: 200 000. – Лист № 144. – К.: 1967.
4. Добровольский Г.В. Тихий кризис планеты / Г.В. Добровольский // Вестник РАН.– Т. 67, № 4.–1997. – С. 313–319.
5. Ергина Е.И. Термодинамические свойства и энергетика гумуса разновозрастных почв Крымского полуострова / Е.И. Ергина // Электронное периодическое издание ЮФУ «Живые и биокосные системы». – № 3. – 2013. // Режим доступа: <http://www.jbks.ru/archive/issue-3/article-5>
6. Палиенко В.П. Изменение рельефа территории Украины на рубеже тысячелетий / В.П. Палиенко, Н.Е. Барщевский, Р.А. Спица, С.В. Жилкин // Труды Международной электронной конференции. Тбилиси-Москва, 2006. – С. 41-51 // Режим доступа: <http://www.cetm.narod.ru/pdf/palienko.pdf>
7. Региональная программа защиты почв Республики Крым от водной ветровой эрозии и других видов деградации. Академия Аграрных наук. Институт землеустройства. Крымский филиал. – Симферополь, 1995. – 230 с.
8. Светличный А.А. Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты: Монография / А.А. Светличный, С.Г. Черный, Г.И. Швобс – Сумы: Университетская книга, 2004. – 410 с.
9. Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. Вып.10., Ч.1 и Ч.4. – 700с.
10. Черный С.Г. К вопросу о классификации эродированных почв Крыма / С.Г. Черный, Е.И. Ергина // Геополитика и экогеодинамика регионов – №1. – 2010. – С. 45 – 53.
11. Швобс Г.И. Теоретические основы эрозиоведения / Г.И. Швобс. – Киев-Одесса: Вища Школа, 1981. – 221с

Аннотация Е. И. Ергина, В. А. Михайлов **Методика математического моделирования и картографирования предельной мощности гумусового горизонта почв.** Обоснованы математические модели расчета предельной мощности гумусового горизонта почв, которые могут использоваться при прогнозах использования деградированных эрозией ландшафтов. Предложена методика ГИС-картографирования расчетных значений предельной мощности гумусового горизонта с учетом микроклиматических особенностей почвообразования на склонах.

Ключевые слова: эрозия, энергетические затраты на почвообразование, математические модели, предельная мощность гумусового горизонта, картографирование, ГИС

Abstract. E. Yergina, V. Mikhailov **Method of mathematical modeling and mapping limit humus soil horizon.** Validated mathematical models to calculate the maximum capacity of the humus horizon of soils, which can be used for predictions of erosion degraded landscapes. The technique of GIS-mapping the calculated values of maximum thickness of the humus horizon with the microclimatic features of soil formation on the slopes.

Keywords: erosion, energy consumption for soil formation, mathematical models, the maximum thickness of the humus horizon, mapping, GIS.

Поступила в редакцию 20.01.2014 г.