

## НОВЫЕ ПОДХОДЫ К КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ЭРОЗИОННОЙ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ

А.Ф. Черныш, В.Т. Сергеенко, А.Г. Кондаурова

*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

### ВВЕДЕНИЕ

Эрозионная деградация почв приводит к изменению их функций, количественному и качественному ухудшению состава и свойств, снижению природно-хозяйственной значимости земель.

Пристальное внимание вопросам изучения деградации почв уделяется исследователями ближнего и дальнего зарубежья. Назовем только некоторых авторов: Ф.Р. Зайдельман, 2009; М.С. Кузнецов, М.С. Ремезов, П.Н. Березин, А.С. Владыченский, 2002; И.А. Крупеников, 2008; В.В. Чербарь, 2009; В.В. Медведев, 2007; M. Roch, 2004; A. Dexter, 2004; C. Ritsema, 2005 и другие.

Исследования обусловлены необходимостью установления количественной оценки различных видов и степени деградации почв, позволяющей характеризовать экологическое состояние почвенного покрова. Количественные показатели, отражающие степень деградации почв, позволяют оценить экологический и экономический ущерб сельскому хозяйству от деградации. Поэтому объективная диагностика почв, опирающаяся на комплекс количественных параметров их деградации, а затем разработка приемов предотвращения или минимизации последствий деградации, имеет важное практическое значение.

Цель данной работы заключалась в установлении новых подходов объективной количественной оценки эрозионной деградации почв.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования явились дерново-подзолистые суглинистые почвы, развивающиеся на лессовидных и моренных почвообразующих породах различной степени эрозионной деградации (неэродированные, слабо-, средне- и сильноэродированные) северной и центральной провинций Беларуси. На рисунке приведена единая в геоморфологическом отношении почвенно-эрозионная катена дерново-подзолистых почв, развивающихся на мощных лессовидных суглинках, на примере которых выполнена количественная оценка эрозионной деградации почв.

Определение основных аналитических характеристик исследуемых почв базировалось на общепринятых методах: гранулометрический состав – по Н.А. Качинскому, валовой химический состав – рентгенофлуорисцентным методом, плотность сложения – весовым, гумус – по Тюрину, внутренняя энергия фаз почв – по В.Р. Волобуеву, максимальная гигроскопичность – весовым.

Существуют различные методы определения эрозионной деградации почв. Рассмотрим некоторые из них. В научной литературе известен метод определения эродированности пахотных дерново-подзолистых почв по спектрам отражения в видимой области спектра (длины волн 750, 620, 470 нм), снятых с эталонных

и исследуемых образцов пахотных горизонтов [1]. Метод не трудоемкий и не занимает много времени на проведение определений. В то же время спектры отражения дают информацию только о поверхности почвенных частиц исследуемых образцов, не затрагивая строения почвенного профиля, мощности горизонтов, вещественного состава образца и гумуса. По этой причине данный метод определения степени эродированности и деградации почв малоинформативный.

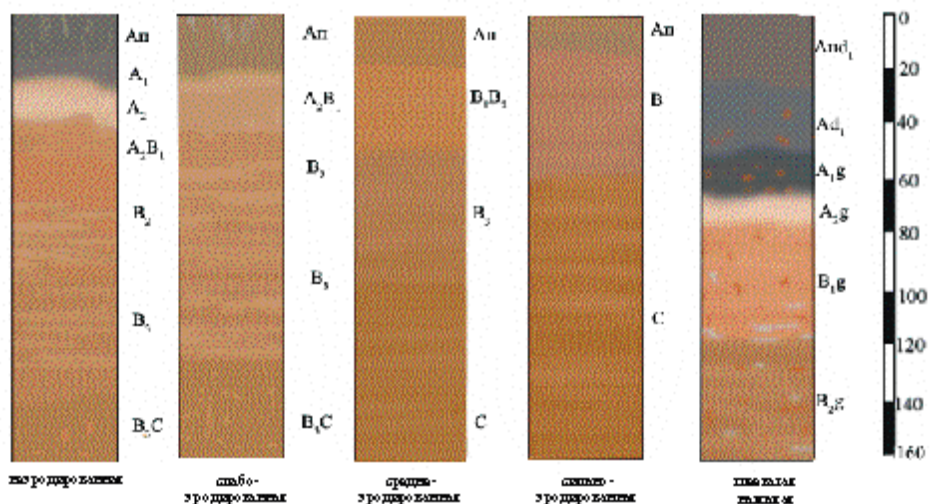


Рис. Почвенно-эрозионная катена дерново-подзолистых почв, развивающихся на мощных лессовидных суглинках

Имеются также методы определения степени эродированности почв по мощности и соотношению генетических горизонтов [3]. В методе определения деградации почв по степени их эродированности возникают трудности в установлении мощности горизонта A<sub>п</sub>: чем она меньше, тем глубже идет припашка горизонтов A<sub>2</sub> или B<sub>1</sub>. Более того, одни и те же поля обрабатываются под разные культуры на различную глубину. По этой причине установление мощности генетических горизонтов не всегда носит объективный характер.

Существует метод определения степени эрозионной деградации почв по запасам гумуса в пахотном горизонте [4]. Уменьшение его запасов в пахотном горизонте смытой почвы в определенной мере характеризует степень смытости, однако не может в полной мере являться надежным диагностическим признаком. В методе установления эродированности почв путем определения запасов гумуса возникает вопрос о его первоначальном содержании в почве, т.е. неизвестно сколько же гумуса было в гумусово-аккумулятивном горизонте до начала эрозионного процесса. Таким образом, кажущийся на первый взгляд объективным способ определения степени эродированности по запасам гумуса таковым являться не может.

Выполненные нами исследования направлены на получение объективных характеристик для оценки степени эрозионной деградации дерново-подзолистых почв. Данный метод основан на комплексном подходе к учету изменений, происходящих в почвенном слое мощностью 50 см, в котором сосредоточена основная масса корней сельскохозяйственных растений, естественного травостоя, древесно-кустарниковой растительности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭРОЗИОННОЙ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ

Для достижения поставленной цели предложен метод оценки эрозионной деградации дерново-подзолистых почв по их внутренней энергии с учетом строения профиля, мощности горизонтов, водно-физических свойств, вещественного состава минеральной основы почвенного поглощающего комплекса (ППК) (фракция меньше 0,001 мм) и содержания гумуса.

В процессе разрушения верхних горизонтов почв (эрозии) происходят потери твердой фазы, гумуса, элементов питания растений, а значит и меняется внутренняя энергия этих почв. Сельскохозяйственные культуры и естественная растительность основную массу питательных веществ потребляют из горизонта мощностью 0-50 см, поэтому расчет внутренней энергии фаз почвы целесообразно ограничить такой мощностью почвенного слоя.

Данные для расчета внутренней энергии гумуса и кристаллической решетки минералов фракции меньше 0,001 мм сведены в таблицах 1-3.

Таблица 1

## Строение почвенного профиля дерново-подзолистых суглинистых почв

Степень эродированности	Горизонт	Мощность горизонта, см	Глубина взятия образца, см
Неэродированная	A <sub>n</sub>	0-25	2-12
	A <sub>2</sub>	25-40	25-35
	B <sub>1</sub>	40-70	40-50
Слабоэродированная	A <sub>n</sub>	0-24	2-12
	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	24-40	25-35
	B <sub>2</sub>	40-80	40-50
Среднеэродированная	A <sub>n</sub>	0-24	2-12
	B <sub>1</sub>	24-39	26-36
	B <sub>2</sub>	39-80	45-55
Сильноэродированная	A <sub>n</sub>	0-20	2-12
	B <sub>2</sub>	20-40	25-35
	C	40-115	40-50

Таблица 2

## Показатели дерново-подзолистых эродированных легкосуглинистых почв

Степень эродированности	Горизонт	Гумус, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Максимальная гигроскопичность, %	Прочносвязанная вода, %	Содержание фракций	
						меньше 0,001 мм	больше 0,001 мм
Неэродированная	A <sub>n</sub>	1,74	1,15	2,69	0,89	8,51	91,49
	A <sub>2</sub>	0,46	1,44	-	-	7,92	92,08
	B <sub>1</sub>	0,28	1,56	-	-	10,24	89,76
Слабоэродированная	A <sub>n</sub>	1,42	1,32	2,38	0,79	8,18	91,82
	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	0,35	1,45	-	-	9,11	90,89
	B <sub>2</sub>	0,32	1,58	-	-	18,14	81,86

Степень эродированности	Горизонт	Гу-мус, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Максимальная гигроскопичность, весовых %	Прочносвязанная вода, весовых %	Содержание фракций	
						меньше 0,001 мм	больше 0,001 мм
Средне-эродированная	A <sub>n</sub>	1,27	1,43	2,45	0,81	11,82	88,18
	B <sub>1</sub>	0,36	1,54	-	-	17,00	83,00
	B <sub>2</sub>	0,20	1,57	-	-	11,48	88,52
Сильно-эродированная	A <sub>n</sub>	0,77	1,59	3,60	1,20	17,90	82,10
	B <sub>2</sub>	0,28	1,59	-	-	18,42	81,58
	C	0,04	1,62	-	-	16,11	83,89

Таблица 3

**Валовой химический состав илистых фракций дерново-подзолистых разной степени эродированных легкосуглинистых почв, % на прокаленное вещество**

Горизонт	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма
Неэродированная									
A <sub>n</sub>	<u>83.13*</u>	<u>7.95</u>	<u>1.80</u>	<u>0.84</u>	<u>0.68</u>	<u>0.08</u>	<u>0.86</u>	<u>2.85</u>	<u>98.19</u>
	53,16	22,50	11,83	1,16	2,93	0,81	0,90	2,71	96,00
A <sub>2</sub>	<u>82.87</u>	<u>9.04</u>	<u>2.16</u>	<u>1.03</u>	<u>0.83</u>	<u>0.11</u>	<u>0.85</u>	<u>2.92</u>	<u>99.81</u>
	50,12	26,23	12,45	1,42	2,94	0,56	0,89	2,70	97,31
B <sub>1</sub>	<u>81.89</u>	<u>8.71</u>	<u>2.70</u>	<u>0.98</u>	<u>0.84</u>	<u>0.08</u>	<u>0.90</u>	<u>3.06</u>	<u>98.32</u>
	51,85	26,27	12,24	1,48	2,75	0,83	1,01	2,83	99,26
Слабоэродированная									
A <sub>n</sub>	<u>82.16</u>	<u>9.15</u>	<u>2.44</u>	<u>0.79</u>	<u>0.62</u>	<u>0.11</u>	<u>0.93</u>	<u>2.72</u>	<u>98.92</u>
	52,15	26,23	12,11	1,41	2,89	0,56	0,95	3,30	99,60
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	<u>80.31</u>	<u>9.30</u>	<u>3.28</u>	<u>0.85</u>	<u>0.66</u>	<u>0.05</u>	<u>1.16</u>	<u>3.04</u>	<u>98.65</u>
	50,85	26,23	12,90	1,79	2,90	0,81	1,10	3,28	99,81
B <sub>1</sub>	<u>82.57</u>	<u>8.44</u>	<u>2.66</u>	<u>0.87</u>	<u>0.58</u>	<u>0.07</u>	<u>0.89</u>	<u>3.00</u>	<u>98.50</u>
	51,16	25,27	12,88	1,65	2,75	0,80	0,90	3,40	98,81
Среднеэродированная									
A <sub>n</sub>	<u>82.99</u>	<u>8.14</u>	<u>2.14</u>	<u>0.66</u>	<u>0.62</u>	<u>0.07</u>	<u>0.93</u>	<u>2.78</u>	<u>98.33</u>
	49,46	26,25	13,97	1,48	2,93	0,81	0,99	3,30	99,19
B <sub>1</sub>	<u>81.32</u>	<u>9.28</u>	<u>3.29</u>	<u>0.71</u>	<u>0.63</u>	<u>0.07</u>	<u>0.76</u>	<u>2.87</u>	<u>98.93</u>
	52,00	22,03	13,07	1,73	2,90	0,80	0,83	2,95	96,31
B <sub>2</sub>	<u>83.06</u>	<u>8.87</u>	<u>2.36</u>	<u>0.83</u>	<u>0.83</u>	<u>0.10</u>	<u>0.70</u>	<u>2.80</u>	<u>99.55</u>
	49,81	26,27	13,15	1,16	2,94	0,56	0,80	3,31	98,00
Сильноэродированная									
A <sub>n</sub>	<u>83.03</u>	<u>8.59</u>	<u>2.41</u>	<u>0.89</u>	<u>0.72</u>	<u>0.09</u>	<u>0.84</u>	<u>2.95</u>	<u>99.52</u>
	52,16	26,23	12,96	1,16	2,37	0,63	0,92	2,91	99,34
B <sub>2</sub>	<u>83.53</u>	<u>7.98</u>	<u>2.05</u>	<u>0.99</u>	<u>0.71</u>	<u>0.08</u>	<u>0.87</u>	<u>2.85</u>	<u>99.06</u>
	51,00	26,24	11,87	1,42	2,35	0,46	0,99	2,80	97,13
C	<u>85.81</u>	<u>7.37</u>	<u>1.39</u>	<u>0.90</u>	<u>0.64</u>	<u>0.07</u>	<u>0.92</u>	<u>2.59</u>	<u>99.69</u>
	52,64	22,50	12,45	1,41	2,93	0,81	1,02	2,65	96,41
Очень сильноэродированная									
A <sub>n</sub>	<u>84.28</u>	<u>7.92</u>	<u>2.07</u>	<u>0.88</u>	<u>0.63</u>	<u>0.10</u>	<u>0.83</u>	<u>2.87</u>	<u>99.58</u>
	52,49	24,11	15,0	0,78	2,50	0,94	0,89	2,37	99,08
B <sub>2</sub>	<u>83.85</u>	<u>7.81</u>	<u>2.51</u>	<u>0.79</u>	<u>0.67</u>	<u>0.12</u>	<u>0.87</u>	<u>2.84</u>	<u>99.46</u>
	52,87	23,89	14,98	0,64	2,54	0,62	0,91	2,26	98,76
C	<u>82.10</u>	<u>8.62</u>	<u>2.70</u>	<u>0.90</u>	<u>0.73</u>	<u>0.12</u>	<u>0.80</u>	<u>2.71</u>	<u>98.74</u>
	53,00	26,24	11,87	1,12	2,96	0,51	0,94	2,65	98,72

\* Над чертой – содержание оксидов в почве; под чертой – содержание оксидов в илистой фракции.

Запас внутренней энергии гумуса в дерново-подзолистой незэродированной легкосуглинистой почве в горизонтах  $A_n$ ,  $A_2$  и  $B_1$  рассчитывался по формуле:

$$U_{rK_r} = S \cdot H \cdot D \cdot C \cdot 5,5 \text{ ккал,}$$

где  $U_{rK_r}$  – внутренняя энергия гумуса в слое почвы 50 см на  $1 \text{ м}^2$ , ккал;

$S$  – площадь,  $\text{см}^2$ ;

$H$  – мощность слоя, см;

$D$  – плотность,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;

$C$  – содержание гумуса, %; 5,5 – энергия гумуса, ккал/г [5].

$$U_{rA_n} K_{rA_n} = 100 \cdot 100 \cdot 25 \cdot 1,15 \cdot 0,0174 \cdot 5,5 = 27513 \text{ ккал;}$$

$$U_{rA_2} K_{rA_2} = 100 \cdot 100 \cdot 15 \cdot 1,44 \cdot 0,0046 \cdot 5,5 = 5464 \text{ ккал;}$$

$$U_{rB_1} K_{rB_1} = 100 \cdot 100 \cdot 10 \cdot 1,56 \cdot 0,0028 \cdot 5,5 = 2402 \text{ ккал.}$$

Внутренняя энергия гумуса дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в 50 см слое на  $1 \text{ м}^2$  равна 35 379 ккал.

Таким же путем рассчитывается внутренняя энергия гумуса для эродированных почв.

Внутренняя энергия кристаллической решетки минералов фракции меньше 0,001 мм (минеральная основа почвенного поглощающего комплекса) рассчитывалась методом, при котором энергия кристаллических решеток минералов, составляющих почвенный поглощающий комплекс, рассматривают как сумму бинарных компонентов оксидов [6].

Удельная энергия оксидов по В.Р. Волобуеву [5] равна:  $\text{H}_2\text{O}$  – 55,55 ккал/г;  $\text{SiO}_2$  – 51,61;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 24,12;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 35,07;  $\text{TiO}_2$  – 36,78 ккал/г;  $\text{CaO}$  – 15,20;  $\text{MgO}$  – 23,50;  $\text{K}_2\text{O}$  – 6,63;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 9,93;  $\text{MnO}$  – 13,50;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 3,61 ккал/г;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 3,05 ккал/г; энергия гумуса – 5,5 ккал/г.

Используя приведенные данные и результаты валового химического состава илистых фракций почвы, рассчитывалась внутренняя энергия фракций меньше 0,001 мм, то есть энергию минеральной основы почвенного поглощающего комплекса. Внутренняя энергия фракции меньше 0,001 мм равна произведению массового объема этой фракции на долевую часть каждого оксида с умножением на энергию оксида. Валовой химический состав илистой фракции дерново-подзолистой незэродированной легкосуглинистой почвы отражен в таблице 3.

В качестве примера приводим расчет внутренней энергии кристаллической решетки минералов илистой фракции дерново-подзолистой незэродированной легкосуглинистой почвы горизонта  $A_n$  для оксида кремния:

$$U_{\text{фр}(<0,001\text{м})}^{\text{AnSiO}_2} K_{\text{фр}(<0,001\text{м})}^{\text{AnSiO}_2} = 100 \cdot 100 \cdot 25 \cdot 1,15 \cdot 0,0851 \cdot 0,5316 \cdot 51,61 = 671253 \text{ ккал,}$$

где  $U_{\text{фр}(<0,001\text{м})}^{\text{AnSiO}_2} K_{\text{фр}(<0,001\text{м})}^{\text{AnSiO}_2}$  – внутренняя энергия оксида кремния фракции

$< 0,001 \text{ мм}$ ;

$100 \cdot 100$  – площадь,  $\text{см}^2$ ;

25 – мощность слоя, см; 1,15 – плотность,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;

0,0851 – доля илистой фракции; 0,5316 – доля  $\text{SiO}_2$ ; 51,61 – энергия  $\text{SiO}_2$ , ккал/г [5].

Таким же образом выполнены расчеты энергии каждого оксида в горизонтах  $A_n$ ,  $A_2$  и  $B_1$ . Внутренняя энергия кристаллической решетки минералов фракции меньше 0,001 мм (минеральная основа почвенного поглощающего комплекса) дерново-подзолистой неэродированной легкосуглинистой почвы приведена в таблице 4.

Таблица 4

**Внутренняя энергия кристаллической решетки минералов фракции меньше 0,001 мм дерново-подзолистой неэродированной легкосуглинистой почвы слоя 50 см 1 м<sup>2</sup>, ккал**

Горизонт	Толщина слоя, см	Внутренняя энергия оксидов фракции меньше 0,001 мм ккал								
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма
$A_n$	25	671253	193057	69811	4313	16846	715	2186	4395	962576
$A_2$	15	442510	157366	51371	3692	11819	345	1511	3062	671676
$B_1$	10	427471	147170	47161	3593	10323	461	1602	2997	640778

Полная внутренняя энергия кристаллической решетки минералов фракции меньше 0.001 мм дерново-подзолистой неэродированной легкосуглинистой почвы слоя 50 см на 1 м<sup>2</sup> равна 2275030 ккал.

Аналогичным образом рассчитаны внутренние энергии кристаллических решеток минералов фракции меньше 0,001 мм дерново-подзолистых разной степени эродированных легкосуглинистых почв (табл. 5).

Таблица 5

**Внутренняя энергия гумуса и кристаллической решетки минералов фракции меньше 0.001 мм дерново-подзолистых неэродированных и эродированных легкосуглинистых почв слоя 50 см 1 м<sup>2</sup>, ккал**

Степень эродированности почв	Энергия гумуса	Энергия кристаллической решетки минералов фракции <0,001 мм	Отношение энергии фракции <0,001 мм к энергии гумуса
Неэродированная	35379	2275030	64,30
Слабоэродированная	31988	2963656	92,64
Среднеэродированная	30444	3905647	128,28
Сильноэродированная	21928	5460912	249,03

Из таблицы 5 видно, что по мере нарастания степени эродированности внутренняя энергия кристаллической решетки минералов фракции меньше 0,001 мм возрастает, а внутренняя энергия гумуса уменьшается. Минералогический состав илистой фракции (<0,001 мм) дерново-подзолистых легкосуглинистых почв представлен глинистыми минералами: гидрослюдой, вермикулитом, каолинитом и почвенными хлоритами [7]. Глинистые минералы влияют на физико-химические свойства почв, определяют их плодородие, от них зависит поглощательная способность почв, их гидрофильность. Более того, глинистые минералы способны пополнять почвенные растворы элементами питания растений [8]. Гумус представляет совокупность специфических и неспецифических органических веществ почв, обладает высокой емкостью катионного обмена, содержит элементы пита-

ния в легкодоступной форме [9]. Как отмечает Д.В. Хан, основными закрепителями гумусовых веществ почв являются глинистые минералы фракции меньше 0,001 мм [10]. Гумусовые вещества и глинистые минералы формируют органо-минеральные соединения и создают водопрочную структуру почв [11].

В связи с этим принципиально новым признаком в предлагаемом методе количественной оценки эрозионной деградации дерново-подзолистых почв может быть отношение внутренней энергии минералов кристаллической решетки фракции меньше 0,001 мм к внутренней энергии гумуса.

На большом количестве почвенных разрезов дерново-подзолистых легкосуглинистых почв Минской, Могилевской и Витебской областей (несмытых – 48 разрезов, слабосмытых – 34, среднесмытых – 31, сильносмытых – 20) установлены пределы изменения соотношений внутренних энергий кристаллической решетки минералов фракции <0,001 мм к внутренней энергии гумуса, которые рассматриваются как количественные показатели степени эрозионной деградации почв.

Сравнительный анализ данных по всем исследуемым разрезам свидетельствует, что показатели соотношения внутренней энергии минералов кристаллической решетки фракции <0,001 мм к внутренней энергии гумуса составляют величины: для незеродированных дерново-подзолистых легкосуглинистых почв < 70, для слабоэродированных – 70-110, среднеэродированных – 110-210, сильноэродированных – 210-320.

Примеры использования предлагаемого метода при определении степени эрозионной деградации по показателям соотношения внутренней энергии кристаллической решетки минералов фракции меньше 0,001 мм и энергии гумуса приведены в таблице 5. Анализируемые соотношения для почв разной степени эродированности укладываются в разработанные градации. Это дает основание считать, что предлагаемый метод соответствует критерию применимости и позволяет в количественном выражении оценивать степень эрозионной деградации почв. Необходимо также отметить, что оценка степени эродированности в исследуемых почвенно-эрозионных катенах по ранее известным методам и предлагаемому практически совпадают.

#### *ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОГО ПОДХОДА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭРОЗИОННОЙ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ ПРИ ЭКОЛОГО- ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ УЩЕРБА ОТ ЭРОЗИИ*

Многолетними наблюдениями установлено, что с одного гектара водосборной площади поверхностным стоком смывается в среднем 10-15 т твердой фазы почвы, около 150-180 кг гумусовых веществ, одновременно теряется до 10 кг азота, 4-5 кг фосфора и калия, 5-6 кг кальция и магния. Потери элементов питания, гумуса приводят к значительному ухудшению агрофизических и биологических свойств эрозионно деградированных почв, что влияет на их производительную способность. В результате деградации почв средний недобор урожаев по нашим многолетним данным составляет в зависимости от степени эрозионной деградации: зерновых культур – 12-40%, пропашных – 20-60%, льна – 15-40%, многолетних трав – 5-30% [12]. В количественной оценке эрозионной деградации дерново-подзолистых почв верхний предел отношения внутренней энергии ППК к внутренней энергии гумуса составляет 320. При наличии данных по максимальному недобору в процентах

урожая сельскохозяйственных культур (для зерновых – 40%, пропашных – 60%, льна – 40%, многолетних трав – 30% и т.д.) легко определить, какой процент недобора приходится на одну единицу отношения. В нашем случае для зерновых культур – 40:320 = 0,125%, для пропашных 60:320=0,187%, для льна 40:320 = 0,125% и многолетних трав 30:320 = 0,093%.

Недобор урожая сельскохозяйственных культур рассчитывается по выражению:

$$N\% = \frac{U_{\text{фр}<0,001\text{мм}} \cdot K_{\text{фр. 0,001мм}}}{U_r \cdot K_r} \cdot \frac{P_{\text{с/х культур}}}{320}$$

где N% – недобор урожая от эрозионной деградации;

$U_{\text{фр}<0,001\text{мм}} \cdot K_{\text{фр. 0,001мм}}$  – внутренняя энергия ППК (Фракция < 0,001мм);

$U_r \cdot K_r$  – внутренняя энергия гумуса;  $P_{\text{с/х культур}}$  – максимальный недобор урожая с/х культур;

320 – минимальное отношение внутренней энергии почвенного поглощающего комплекса к энергии гумуса очень сильно эрозионно деградированной почвы.

Для нашей почвенно-эрозионной катены на дерново-подзолистых почвах, развивающихся на лессовидных суглинках недобор урожая сельскохозяйственных культур сведен в таблице 6.

Таблица 6

**Недобор урожая сельскохозяйственных культур от эрозионной деградации, %**

Эрозионная деградация почв	Сельскохозяйственные культуры			
	Зерновые	Пропашные	Лен	Многолетние травы
Слабозеродированные	12	17	12	8
Среднезеродированные	16	24	16	12
Сильнозеродированные	36	54	36	27

Таким образом, определив количественные показатели эрозионной деградации дерново-подзолистых почв, можно рассчитать недоборы урожая сельскохозяйственных культур, а значит, можно прогнозировать экономический ущерб на деградированных почвах при условии соблюдения агротехники, сроков посадки и посева растений, мероприятий защиты.

Вторым направлением использования нового подхода количественной оценки степени может быть установление количества смываемого мелкозема почвы. При этом внутренняя энергия пахотных горизонтов является достаточно надежным критерием.

В процессе разрушения верхних горизонтов почв (эрозии) происходят потери твердой фазы, гумуса, элементов питания растений, следовательно, меняется и внутренняя энергия этих почв. По внутренней энергии пахотных горизонтов эрозионно деградированных почв можно установить количество потерянного мелкозема почвы со склонов.

На долю первых четырех составляющих приходится свыше 99% всей внутренней энергии почвы [13], поэтому расчет внутренней энергии почвы целесообразно проводить по четырем составляющим (гумусу, воде, фракциям больше 0,001 мм и меньше 0,001 мм).

Известно, что в результате эрозии потери почвенного мелкозема происходят из верхних горизонтов почвы, что позволяет расчет внутренней энергии почвы



ограничить мощностью пахотного слоя. Для расчета внутренней энергии почвы используются данные о почвах, приведенные в таблицах 1-3.

Запас внутренней энергии прочносвязанной влаги определяется для воды, имеющей определенную, упорядоченную структуру, то есть химически связанную в решетках минералов. В наших исследованиях прочносвязанная вода принята как 1/3 часть максимальной гигроскопичности [13]. Внутреннюю энергию почвенной влаги рассчитывают по формуле:

$$U_{в}K_{в} = S \cdot H \cdot D \cdot C \cdot 55,55 \text{ ккал,}$$

где  $U_{в}K_{в}$  – внутренняя энергия прочносвязанной влаги, ккал;

$S$  – площадь, см<sup>2</sup>;  $H$  – мощность слоя, см;

$D$  – плотность, г/см<sup>3</sup>;  $C$  – доля прочно связанной почвенной влаги; 55,55 – энергия H<sub>2</sub>O, ккал/г [4].

$$U_{вАп} K_{вАп} = 100 \cdot 100 \cdot 25 \cdot 1,15 \cdot 0,087 \cdot 55,55 = 130\,944 \text{ ккал.}$$

Запас внутренней энергии прочносвязанной влаги дерново-подзолистой неэродированной легкосуглинистой почвы в слое 25 см на 1 м<sup>2</sup> равен 130944 ккал.

Таким же образом определяется запас внутренней энергии прочносвязанной влаги для эродированных почв.

Запас внутренней энергии кристаллических решеток минералов фракций более 0,001 мм равен произведению объемной части этой фракции на долевую часть составляющих ее оксидов с умножением на энергию каждого оксида. В данном случае используют валовой химический состав дерново-подзолистой неэродированной легкосуглинистой почвы (табл. 3).

Пример расчета внутренней энергии кристаллической решетки минералов фракции больше 0,001 мм в 25 см слое горизонта А<sub>п</sub> оксида кремния дерново-подзолистой неэродированной почвы (табл. 7):

$$U_{фр(<0,001м)}^{AnSiO_2} K_{фр(<0,001м)}^{AnSiO_2} = 100 \cdot 100 \cdot 25 \cdot 1,15 \cdot 0,9149 \cdot 0,8313 \cdot 51,61 = 1\,228\,1129 \text{ ккал,}$$

где  $U_{фр(<0,001м)}^{AnSiO_2} K_{фр(<0,001м)}^{AnSiO_2}$  – внутренняя энергия оксида кремния горизонта А<sub>п</sub>

фракции больше 0,001мм;

100 · 100 – площадь, см<sup>2</sup>;

25 – мощность слоя, см; 1,15 – плотность, г/см<sup>3</sup>; 0,9149 – доля фракции больше 0,001 мм;

0,8313 – доля оксида кремния;

51,61 – энергия оксида кремния, ккал/г [5].

Таблица 7

**Внутренняя энергия кристаллической решетки минералов фракции больше 0,001 мм дерново-подзолистой легкосуглинистой неэродированной почвы слоя 25 см 1 м<sup>2</sup>, ккал**

Горизонт	Толщина слоя, см	Внутренняя энергия оксидов фракции больше 0,001 мм, ккал								
		SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма
А <sub>п</sub>	25	11285040	733353	114198	33584	42032	759	22462	49701	12281129

Полная внутренняя энергия кристаллической решетки минералов фракции больше 0,001 мм 25 см слоя 1 м<sup>2</sup> A<sub>n</sub> дерново-подзолистой неэродированной легкосуглинистой почвы равна 12281129 ккал.

Аналогичным образом рассчитывают внутренние энергии кристаллических решеток минералов дерново-подзолистых легкосуглинистых почв (табл. 8).

Таблица 8

**Внутренняя энергия дерново-подзолистых неэродированных и эродированных легкосуглинистых почв в A<sub>n</sub> слое 1 м<sup>2</sup>, ккал**

Степень эродированности почв	Внутренняя энергия 1 м <sup>2</sup>				полная внутренняя энергия
	гумуса	прочной связанной воды	кристаллической решетки минералов		
			фр.<0,001 мм	фр.>0,001 мм	
Неэродированная	27513	130944	962567	12281129	13402153
Слабоэродированная	24742	139026	1043368	13595328	14802464
Среднеэродированная	23972	154424	1596738	14141193	15916327
Сильноэродированная	13467	211978	2293093	20001804	22520342

Из таблицы 8 видно, что по мере нарастания степени эродированности сумма внутренних энергий кристаллической решетки фракций меньше и больше 0,001 мм<sup>2</sup> почв и энергия прочно связанной воды возрастают.

Прирост внутренней энергии пахотного горизонта за счет припашки нижележащих горизонтов для слабосмытых почв составляет 1400311 ккал на 1 м<sup>2</sup>, для среднесмытых – 2514174 ккал на 1 м<sup>2</sup> и для сильносмытых – 9118189 ккал на 1 м<sup>2</sup>. По величине прироста внутренней энергии пахотного горизонта масса припаханной почвы нижележащих горизонтов рассчитываются по соотношению:

$$m = U / (C \cdot 10), \text{ кг/га,}$$

где m – масса, кг;

C – удельная внутренняя энергия, ккал/г;

10 – коэффициент для перевода массы в кг на 1 га.

Удельная внутренняя энергия пахотного горизонта слабосмытой почвы равна 46,72 ккал/г, для среднесмытой – 46,37 ккал/г и сильносмытой – 70,81 ккал/г.

Масса смытого пахотного горизонта составляет для слабосмытой почвы 1400311/(10\*46,72)=2997 кг/га примерно 3 т/га, для среднесмытой – 5422 кг/га более 5 т/га, для сильносмытой – 12876 кг/га около 13 т/га. По существующей градации смыва 3 т/га почва относится к слабосмытой, 5 т/га – среднесмытой, 13 т/га – сильносмытой [12].

## ВЫВОДЫ

1. Количественная оценка степени эрозионной деградации дерново-подзолистых почв может осуществляться по внутренней энергии активных составляющих – почвенного поглощающего комплекса и гумуса. При этом надежным критерием является отношение энергии фракции < 0,001 мм к энергии гумуса. Для исследуемых неэродированных почв это отношение составляет < 70, для слабоэродированных – 70-110, для среднеэродированных – 110-210, для сильноэродированных – 210-320.

2. Количественные показатели эрозионной деградации почв, основанные на внутренней энергии, позволяют прогнозировать недоборы урожая сельскохозяйственных культур при соблюдении соответствующей агротехники, а также обеспечивают возможность установления потерь почвенного мелкозема в результате водной эрозии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Способ определения степени смывости пахотных дерново-подзолистых почв: а.с. 1062531. Афіцыйны бюл. – № 47, 23, 12, 83.
2. Соболев, С.С. Защита почв от эрозии / С.С. Соболев. – М.: Колос, 1961. – С. 26
3. Жилко, В.В. Эродированные почвы Белоруссии и их использование / В.В. Жилко. – Минск: Ураджай, 1976. – 168 с.
4. Заславский, М.Н. Эрозия почв / М.Н. Заславский. – М., Высшая школа, 1979. – С. 108.
5. Волобуев, В.Р. Введение в энергетику почвообразования / В.Р. Волобуев. – М.: Наука, 1974. – 180 с.
6. Ковда, В.А. Основы учения о почвах / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1973. – 447 с.
7. Сергеенко, В.Т. Минералогический количественный состав и свойства илистой части основных типов почв Белоруссии: дис. ... канд. с.-х. наук / В.Т. Сергеенко. – Минск, 1984. – 242 с.
8. Горбунов, Н.И. Высокодисперсные минералы и методы их изучения / Н.И. Горбунов. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 302 с.
9. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1985. – 376 с.
10. Хан, Д.В. Процессы взаимодействия гумусовых веществ с минеральной частью почвы и значение их в формировании почвенной структуры: автореф. дис. ... доктора с.-х. наук / Д.В. Хан. – М., 1963. – 40 с.
11. Хан, Д.В. Органо-минеральные соединения и структура почвы / Д.В. Хан. – М.: Наука, 1969. – 141 с.
12. Проектирование противозерозионных комплексов и использование эрозионноопасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси: рекомендации. – / Институт почвоведения и агрохимии; под общ. ред. А.Ф. Черныша. – Минск, 2005. – 52 с.
13. Роде, А.А. Почвенная влага / А.А. Роде. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 445 с.

## NEW METHODS OF THE MEASUREMENT OF SOIL EROSION DEGRADATION

A.F. Chernysh, V.T. Sergeenko, A.G. Kondaurova

### Summary

The measurement of erosion degradation degree of the sod-podzolic soils by attitude of internal energy of soil absorbed complex to the internal energy of humus are presented at the article. For Noneroded soils this ratio is less 70, slightly eroded – 70-110, moderately eroded – 110-210, severely eroded – 210-320. Quantitative measures of erosion soil degradation can predict crop shortage and loss of melkozema.

*Поступила 2 мая 2012 г.*