

## РАСЧЕТ ПОДАТЛИВОСТИ ПОЧВ УКРАИНСКОГО ПОЛЕСЬЯ К ДЕФЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ МНОЖЕСТВЕННОЙ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ

**В.П. Коляда**

*Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского», г. Харьков, Украина*

### ВВЕДЕНИЕ

Изучению ветровой эрозии почв (дефляции) уделялось много внимания такими известными учеными-почвоведом, как М.И. Долгилевич, А.И. Бараев, Г.А. Можейко, а также исследователями природы выдувания почвы под действием ветрового потока. Такая заинтересованность явлением не случайность – деградация почв под действием ветра приобретает все большее распространение, а ее негативное влияние на снижение плодородия почв, ухудшение качества и количества получаемой продукции, загрязнение атмосферы пылевой фракцией, нарушение экологического равновесия в регионах с повышенным риском дефляционных процессов наблюдается даже в тех регионах, где ее размеры имели незначительный масштаб ранее [1].

Анализируя работы, отражающие основные закономерности развития дефляционных процессов в южных регионах Украины, можно отметить отсутствие необходимого массива информации и проверенного материала по природе развития процесса в Украинском Полесье, для которого присущи частые засушливые периоды с порывистыми или шквальными ветрами в эрозионноопасный период. Так как для данной части Украины характерна высокая мозаичность почвенного покрова, чередование органогенных и минеральных типов почв, возделывание пропашных культур, то закономерно и развитие деградационных процессов, в том числе и дефляции.

Являясь процессом вероятностным и проявляющимся в различных почвенно-климатических зонах на разных типах почв с неодинаковой периодичностью и динамикой процесса, опыт по изучению дефляции в большинстве случаев ограничивается созданием прогнозного уравнения, учитывающего специфику района исследований (климат, рельеф, типы почв), а также основные и второстепенные эрозионные показатели. Прогнозирование и моделирование процессов на основе полученного материала при составлении эмпирических моделей обобщают выявленные закономерности и получают подтверждение при верификации результатов исследований (в нашем случае материалом, полученным для условий Украинского Полесья, где периодически фиксируются локальные проявления деградационных процессов) [2, 3].

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью нашей работы было определение критической и разрушительной скоростей ветрового потока для некоторых типов почв Волинского Полесья с помощью использования аэродинамической установки, сконструированной

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

на базе ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского» (г. Харьков); сравнение результатов моделирования, параметров дефляционной стойкости и дефляционных показателей с размером эквивалентного (среднего) размера почвенных частиц, содержанием гумуса, содержанием катионов Са в составе почвенно-поглощающего комплекса, а также создание прогноза развития процесса в виде эконометрической модели с учетом влияния типа почвы и скорости ветровоздушного потока на динамику процесса ветровой эрозии [2, 4].

Полевые исследования и отбор почвенных образцов производился на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах бывшей Копаяевской осушительной системы вблизи поселков Пища и Подманово Волынской области. Образцы отбирались с поверхностного слоя почвы 0–20 см в 4-кратной повторности на каждом из типов почв, представленных ниже. Гранулометрический состав почв позволяет отнести их к бесструктурным песчаным и супесчаным группам, с различной степенью оподзоленности и оглеения, что является характерным признаком зональных почв Западного Полесья Украины. Изучались следующие почвы: 1) дерново-слабоподзолистая песчаная; 2) дерновая оподзоленная песчаная; 7) дерновая оподзоленная глинисто-песчаная на флювиогляциальных отложениях; 8) дерновая оподзоленная песчаная глеевая на супесчаных отложениях; 9) дерновая оподзоленная оглеенная песчаная на алювиальных породах; 10) луговая на алювиальных породах; 12) дерновая глеевая глинисто-песчаная карбонатная; 13) дерново-карбонатная глинисто-песчаная; 14) дерновая оподзоленная легкосуглинистая глееватая.

Транспортирование отобранных почвенных образцов в лабораторию осуществлялось крайне осторожно – особое внимание уделялось нормам сохранения почвенной структуры, для чего почву высушивали до воздушно-сухого состояния и принимали меры по предупреждению ее переуплотнения в пути [1].

В данной статье представлены результаты, полученные при исследовании минеральных почв за период с 2009 по 2012 гг. в количестве 9 разновидностей. Отобранные образцы высушивались до воздушно-сухого состояния и для каждого из типов почв создавалась усредненная проба, с сохранением ее структуры и фракционного состава. Поскольку целью исследований было определение критической скорости ветра, при которой начинается процесс дефляции, отобранные пробы, подвергались калибровке по податливости к выдуванию ветровоздушным потоком фиксированных скоростей [4]. Скорость потока, при которой выдувалось до 1% от массы всего образца в установке, была обозначена нами как начальная (пороговая), при которой выдувалось более 1% от массы всего образца без прекращения выноса, но не все количество – критическая, при которой за время экспозиционирования (3 минуты) выдувался весь образец – разрушительная. Дополнительно были определены такие важные дефляционные показатели почв, как содержание почвенных агрегатов менее 0,25 мм и более 1 мм в диаметре, содержание фракции физической глины (менее 0,01 мм), а также средний эквивалентный размер почвенных частиц и степень податливости дефляции [4, 5, 6].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основные агрофизические показатели почв приведены ниже в таблице 1. Моделирование действия ветровоздушного потока на образцы почвы с помощью аэродинамической установки и прогноз ветровой эрозии, учитывающий скорость ветрового потока и тип исследуемой почвы, с последующим составлением множественной линейной модели основывались на данных таблицы 2.

Таблица 1

**Некоторые агрофизические показатели почв и дефляционные параметры, используемые в системе опыта при исследовании податливости почв к ветровой эрозии**

№ почвы в эксперименте	Характер использования	Содержание почвенных агрегатов, %		Противодефляционная стойкость при 7 м/с, %	Содержание частиц <0,01 мм, %	Эквивалентный диаметр почвенных частиц, мм	Содержание гумуса, %	Критическая скорость ветра, м/сек	Степень податливости дефляции
		<0,25 мм	>1 мм						
Дерново-слабоподзолистая песчаная									
1	Луга	25,3	7,9	19,9	5,3	0,45	1,25	3,9	Высокая
Дерновая оподзоленная песчаная									
2	Луга	39,2	29,6	14,5	4,4	0,72	1,27	4,0	Высокая
Дерновая оподзоленная глинисто-песчаная									
7	Пастбища	51,5	22,0	34,9	5,1	0,63	1,29	3,9	Высокая
Дерновая оподзоленная песчаная глеевая									
8	Пастбища	70,6	15,9	46,8	3,1	0,56	0,79	3,9	Высокая
Дерновая оподзоленная оглеенная песчаная									
9	Пастбища	52,2	17,1	14,0	1,7	0,57	1,5	3,9	Высокая
Луговая									
10	Луга	60,5	33,7	54,5	4,2	0,92	0,65	4,0	Средняя
Дерновая глеевая глинисто-песчаная карбонатная									
12	Пастбища	52,8	17,1	93,9	6,7	4,45	2,0	4,9	Низкая
Дерново-карбонатная глинисто-песчаная									
13	Пастбища	55,4	84,2	93,6	6,4	4,87	2,03	5,0	Низкая
Дерновая оподзоленная легкосуглинистая глееватая									
14	Пастбища	87,0	83,3	92,7	2,6	4,78	1,95	5,0	Низкая

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

В таблице 1 представлены 9 типов минеральных почв, которые по результатам эксперимента можно разделить на ветростойкие, неветростойкие, частично ветростойкие. Данная градация является предварительной и используется до установления продолжительности периодов с повышенной скоростью ветра для данного региона на основании агрометеорологических показателей местных метеостанций.

Полученные результаты показали, что более стойкими к действию ветра оказались почвы 12, 13, которые характеризуются присутствием карбонатов Са, содержание которых до 1% в совокупности с гумусом оказывает дополнительное цементирующее воздействие на частицы. Критическая скорость для этих типов почв находится на уровне 5 и 6 м/с соответственно, разрушающая (та, при которой за период экспозиции в ветровом потоке, а в нашем случае – за период 180 секунд выдувается 100% анализируемого образца) составила 10 и 11 м/с соответственно.

Таблица 2

**Количество почвенного материала после продувания образцов массой 50 г в аэродинамической установке при различных значениях скорости ветровоздушного потока (U) за период 3 мин с указанием критической ( $U_{кр.}$ ) и разрушительной ( $U_{р.}$ ) скоростей**

Тип почвы	U	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$n_{ср.}$	Вы- дуто, г	Вы- дуто, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Грунт 1 Дерново-слабоподзолистая песчаная $U_{кр.}=4$ м/с, $U_{р.}=8$ м/с	4	49,66	49,48	49	49,96	49,52	0,48	0,96
	5	48,39	47,68	48,89	48,55	48,38	1,62	3,24
	6	42,04	43,74	45,74	47,15	44,67	5,33	10,66
	7	10,11	15,01	9,72	5,04	9,97	40,03	80,05
Грунт 2 Дерновая оподзоленная песчаная $U_{кр.}=4$ м/с, $U_{р.}=8$ м/с	4	49,38	49,78	49,61	49,45	49,55	0,45	0,9
	5	49,06	48,45	48,34	48,2	48,51	1,49	2,98
	6	35,28	32,18	34,8	40,08	35,58	14,42	28,84
	7	8,35	6,64	6,98	7,12	7,27	42,73	85,46
Грунт 7 Дерновая оподзоленная глинисто-песчаная $U_{кр.}=4$ м/с, $U_{р.}=8$ м/с	4	49,71	49,45	49,62	49,54	49,58	0,42	0,84
	5	47,33	48,82	46,27	45,76	47,04	2,96	5,92
	6	35,27	32,18	31,71	40,48	34,91	15,09	30,18
	7	18,66	18,44	17,61	15,1	17,45	32,55	65,1
Грунт 8 Дерновая оподзоленная песчаная глеевая $U_{кр.}=4$ м/с, $U_{р.}=8$ м/с	4	49,53	49	49,56	49,65	49,43	0,57	1,14
	5	49,4	47,58	47,71	49	48,42	1,58	3,16
	6	34,87	41,71	37,57	39,34	38,37	11,63	23,26
	7	24,78	23,14	22,78	22,95	23,17	26,83	53,66

Тип почвы	U	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	n <sub>4</sub>	n <sub>ср.</sub>	Вы- дуто, г	Вы- дуто, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Грунт 9 Дерновая оподзоленная оглеенная песчаная U <sub>кр.</sub> =4 м/с, U <sub>р.</sub> =8 м/с	4	49,63	49,33	49,38	49,52	49,46	0,54	1,08
	5	48,69	48,72	49,23	49,43	49,02	0,98	1,96
	6	32,92	39,04	39,11	35,16	36,56	13,44	26,88
	7	8,53	5,78	5,77	7,87	6,99	43,01	86,02
Грунт 10 Луговая U <sub>кр.</sub> =4 м/с, U <sub>р.</sub> =8 м/с	4	49,4	49,37	49,85	49,86	49,62	0,38	0,76
	5	48,92	49,3	47,94	49,27	48,86	1,14	2,28
	6	45,29	40	45,61	43,17	43,52	6,48	12,96
	7	29,61	30	26,85	22,45	27,23	22,77	45,54
Грунт 12 Дерновая глеевая глинисто-песчаная карбонатная U <sub>кр.</sub> =6 м/с, U <sub>р.</sub> =11 м/с	6	49,79	48,2	49,87	49,66	49,38	0,62	1,24
	7	47,98	46,87	47,58	45,4	46,96	3,04	6,08
	8	42,64	42,62	39,77	42,98	42	8	16
	9	35,61	29,21	34,83	33,56	33,3	16,7	33,4
	10	10,9	9,38	12,87	9,88	10,76	39,24	78,48
Грунт 13 Дерново-карбонатная глинисто-песчаная U <sub>кр.</sub> =5 м/с, U <sub>р.</sub> =10 м/с	5	49,94	49,88	49,78	49,85	49,86	0,2	0,4
	6	49,82	49,62	49,4	49,72	49,64	0,36	0,72
	7	46,62	46,42	47,25	47,42	46,93	3,07	6,14
	8	43,4	43,84	44,31	45,17	44,18	5,82	11,64
	9	36,87	35,12	40,76	41,74	38,62	11,38	22,76
Грунт 14 Дерновая оподзоленная легкосуглинистая глееватая U <sub>кр.</sub> =6 м/с, U <sub>р.</sub> =10 м/с	6	49,17	49,4	48,98	49,17	49,18	0,82	1,64
	7	46,7	48,62	42,77	47,35	46,38	3,62	7,24
	8	29,69	36,9	35,12	33,79	33,87	16,13	32,62
	9	17,34	21,47	20,05	18,11	19,24	30,76	61,52

Менее стойкими к выдуванию оказались почвы 1, 2, 7, 8, 9, 10, их критическая скорость – 4 м/с, а разрушающая – 8 м/с.

Параллельно с составлением множественной модели дефляции производилось определение среднего (эквивалентного) размера почвенных частиц каждой почвы, стойкости почвы к выдуванию ветровым потоком со скоростью 7 м/с, критических для почв скоростей ветра и содержания отдельных фракций, обладающих наибольшей (>1 мм) и наименьшей (<0,25 мм) стойкостью к выдуванию (табл. 1).

Учитывая результаты выдувания почвы в аэродинамической установке, составим модель процесса ветровой эрозии, предполагая, что показатель

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

выдувания почвы в граммах ( $Y$ ) находится в некоторой зависимости от скорости ветровоздушного потока ( $X_1$ ) и типа исследуемой почвы ( $X_2$ ), двух переменных  $a$ , общее количество данных представлено в таблице 2.

Взаимосвязь между этими факторами предполагается линейная, что отображено в таблице 3.

*Таблица 3*

**Значения показателей выдувания почвы в граммах, количественные значения скоростей ветровоздушного потока и типы исследуемой почвы при составлении множественной линейной модели**

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потери	0,48	1,62	5,33	40,03	0,45	1,49	14,42	42,73	0,42	2,96
Почва	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Скорость	4	5	6	7	4	5	6	7	4	5

*Продолжение табл. 3*

№ опыта	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Потери	15,09	32,55	0,57	1,58	11,63	26,83	0,54	0,98	13,44	43,01
Почва	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Скорость	6	7	4	5	6	7	4	5	6	7

*Продолжение табл. 3*

№ опыта	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Потери	0,38	1,14	6,48	22,77	0,62	3,04	8	16,7	39,24	0,20
Почва	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Скорость	4	5	6	7	6	7	8	9	10	5

*Окончание табл. 3*

№ опыта	31	32	33	34	35	36	37	38
Потери	0,36	3,07	5,82	11,38	0,82	3,62	16,13	30,76
Почва	1	1	1	1	1	1	1	1
Скорость	6	7	8	9	6	7	8	9

Таким образом, предполагаются зависимости, указанные в формулах (1), (2):

$$\hat{Y}_i = a_0 + a_1 * X_{i1} + a_2 * X_{i2} \quad \text{или} \quad \hat{Y} = a_0 + a_1 * X_1 + a_2 * X_2 \quad (1), (2)$$

Параметры модели  $a_0, a_1, a_2$  оценим методом наименьших квадратов, а решение и получение оценок параметров модели множественной линейной регрессии представим, используя матричную форму записи системы нормальных уравнений (3):

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 4 & 5 & 6 & 7 & 4 & \dots & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 4 & 0 \\ 1 & 5 & 0 \\ 1 & 6 & 0 \\ 1 & 7 & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & 9 & 1 \\ 1 & 6 & 1 \\ 1 & 7 & 1 \\ 1 & 8 & 1 \\ 1 & 9 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 38 & 237 & 14 \\ 237 & 1571 & 105 \\ 14 & 105 & 14 \end{pmatrix} \cdot (3)$$

Тогда для определения вектора  $\hat{a}$  находим матрицу  $B^{-1}$ , т.е. матрицу, обратную матрице B (4):

$$\overline{YX} = X * Y = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 4 & 5 & 6 & 7 & 4 & \dots & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0,48 \\ 1,62 \\ 5,33 \\ 40,03 \\ \dots \\ 11,38 \\ 0,82 \\ 13,62 \\ 16,13 \\ 30,76 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 462,68 \\ 3155,46 \\ 139,76 \end{pmatrix} \cdot (4)$$

## 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

Матрицу  $B^{-1}$  находим следующим способом (5):

$$B^{-1} = \frac{1}{\det B} * \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} \end{pmatrix}^T, \quad (5)$$

где  $B_{ij}$  – алгебраическое дополнение элемента  $b_{ij}$  матрицы  $B$ .

$B_{ij} = (-1)^{i+j} * M_{ij}$ , где  $M$  – минор для элемента  $b_{ij}$ , т.е. определитель матрицы, полученной из исходной путем вычеркивания  $j$ -го столбца и  $i$ -й строки.

$\det B$  – определитель матрицы  $B$ . Тогда получаем (6):

$$\begin{aligned} \det B &= (-1)^{1+1} * 38 * \begin{vmatrix} 1571 & 105 \\ 105 & 14 \end{vmatrix} + (-1)^{1+2} * 237 * \begin{vmatrix} 237 & 105 \\ 14 & 14 \end{vmatrix} + (-1)^{1+3} * 14 * \begin{vmatrix} 237 & 1571 \\ 14 & 105 \end{vmatrix} = \\ &= 38 * (1571 * 14 - 105 * 105) - 237 * (237 * 14 - 105 * 14) + 14 * (237 * 105 - 14 * 1571) = 19320 \end{aligned} \quad (6)$$

Определитель квадратной матрицы  $A \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}$  типа находится так (7):

$$\det A = a_{11} * a_{22} - a_{21} * a_{12}. \quad (7)$$

Матрица  $B^{-1}$  приобретает следующий вид (8):

$$B^{-1} = \begin{pmatrix} 0,568 & -0,096 & 0,150 \\ -0,096 & 0,017 & -0,035 \\ 0,150 & -0,035 & 0,183 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Определим неизвестные параметры модели  $(a_0, a_1, a_2, \dots, a_m)$  или вектор  $a$  (9):

$$\bar{a} = B^{-1} * Y\bar{X} = \begin{pmatrix} -38,664 \\ 9,203 \\ -20,379 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Таким образом, получена теоретическая линейная зависимость между факторами  $X_1$  и  $X_2$  и фактором  $Y$ , т.е. (10):

$$\hat{Y} = -38,664 + 9,203 \cdot X_1 - 20,376 \cdot X_2. \quad (10)$$

Рассчитаем статистическую значимость факторов  $X_1$  и  $X_2$ , приведенных в нашей модели.



Для этого необходимо рассчитать среднеквадратическое отклонение для параметров  $a_0, a_1, a_2$  (11):

$$\sigma_{a_j}^2 = \sigma_e^2 \times B_{jj}^{-1}, \quad (11)$$

где  $\sigma_e^2$  – оценка дисперсии случайной величины  $e$ ;

$B_{jj}^{-1}$  – диагональный элемент матрицы  $B^{-1}$ .

По теоретической модели (12) рассчитываем значения зависимой переменной  $Y$ , подставляя в уравнение соответствующие значения переменных скорости ветра и типа почвы:

$$\hat{Y} = -38,664 + 9,203 \cdot X_1 - 20,376 \cdot X_2. \quad (12)$$

Рассчитанные отклонения  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$  представлены в таблице 4 и в формулах (13), (13.1), (13.2), (13.3):

$$\sigma_e^2 = \frac{e^2}{n - m} = \frac{2007,188}{38 - 3} = 57,348; \quad (13)$$

$$\sigma_{a_0}^2 = 57,348 \cdot 0,568 = 32,57; \quad \sigma_{a_0} = 5,71; \quad (13.1)$$

$$\sigma_{a_1}^2 = 57,348 \cdot 0,017 = 0,97; \quad \sigma_{a_1} = 0,99; \quad (13.2)$$

$$\sigma_{a_2}^2 = 57,348 \cdot 0,183 = 10,49; \quad \sigma_{a_2} = 3,24. \quad (13.3)$$

Найдем расчетные значения критерия Стьюдента (14):

$$t_{a_0} = \frac{-38,664}{5,71} = -6,7744; \quad t_{a_1} = \frac{9,203}{0,99} = 9,3206; \quad t_{a_2} = \frac{-20,376}{3,24} = -6,2898. \quad (14)$$

Сравнение расчетных значений критерия Стьюдента с табличным данными  $t(0,05; 35) = 2,03$  позволяет сделать вывод о статистической значимости параметров  $a_0, a_1, a_2$  и подтверждает влияние таких факторов, как тип почвы, скорость ветра на показатели выдувания почвы.

# 1. Почвенные ресурсы и их рациональное использование

Таблица 4  
**Значения отклонений переменных количественных значений скоростей воздушного потока и типов почв при составлении множественной линейной модели**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$Y_i$	0,48	1,62	5,33	40,03	0,45	1,49	14,42	42,73	0,42	2,96
$Y_i^*$	-1,850	7,353	16,557	25,760	-1,850	7,353	16,557	25,760	-1,850	7,353
$e_i$	2,330	-5,733	-11,227	14,270	2,300	-5,863	-2,137	16,970	2,270	-4,393
Продолжение табл. 4										
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
$Y_i$	15,09	32,55	0,57	1,58	11,63	26,83	0,54	0,98	13,44	43,01
$Y_i^*$	16,557	25,760	-1,850	7,353	16,557	25,760	-1,850	7,353	16,557	25,760
$e_i$	-1,467	6,79	2,420	-5,773	-4,927	1,070	2,390	-6,373	-3,117	17,250
Продолжение табл. 4										
1	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
$Y_i$	0,38	1,14	6,48	22,77	0,62	3,04	8,0	16,7	39,24	0,2
$Y_i^*$	-1,850	7,353	16,557	25,760	-3,822	5,381	14,585	23,788	32,992	-13,026
$e_i$	2,230	-6,213	-10,077	-2,990	4,442	-2,341	-6,585	-7,088	6,248	13,226
Окончание табл. 4										
1	32	33	34	35	36	37	38	39		
$Y_i$	0,36	3,07	5,82	11,38	0,82	3,62	16,13	30,76		
$Y_i^*$	-3,822	5,381	14,585	23,788	-3,822	5,381	14,585	23,788		
$e_i$	4,182	-2,311	-8,765	-12,408	4,642	-1,761	1,545	6,972		

Коэффициент множественной корреляции для нашей модели составляет (15):

$$R = \sqrt{1 - \frac{2007,188}{6912,059}} = \sqrt{0,7096} = 0,8424 \quad (15)$$

Поскольку значение R близко к единице, то данную эконометрическую модель можно использовать для анализа и прогноза.

Рассчитаем прогноз и ошибку прогноза (16), (17).

Пусть  $X_1 = 7$ ,  $X_2 = 0$ , тогда уравнение имеет вид:

$$\hat{Y}_{\text{пр}} = -38,664 + 9,203 \times 7 - 20,376 \times 0 = 25,8 \quad (16)$$

а вектор  $X^T_{\text{пр}} = (1; 7; 0)$ ,  $Y_{\text{пр}} = 25,8$ ,

где  $\Delta Y_{\text{пр}}$  – ошибка прогноза, вычисляемая по формуле:

$$\Delta Y_{\text{пр}} = t_{\text{пр}} \cdot \sigma_e \cdot \sqrt{X^T_{\text{пр}} \cdot B^{-1} \cdot X_{\text{пр}}} \quad (17)$$

Доверительный интервал для полученного прогнозного значения представлен в формуле (18):

$$\Delta Y_{\text{пр}} = 2,03 \times 7,572846 \times \sqrt{(1 \ 7 \ 0) \times \begin{pmatrix} 0,568 & -0,096 & 0,150 \\ -0,096 & 0,017 & -0,035 \\ 0,150 & -0,035 & 0,183 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 7 \\ 0 \end{pmatrix}} = 3,670228 \quad (18)$$

$$[Y_{\text{пр}} - \Delta Y_{\text{пр}} \leq Y_{\text{пр}} + \Delta Y_{\text{пр}}], \text{ или } 22,13 \text{ и } 29,47.$$

## ВЫВОДЫ

1. С помощью аэродинамической установки определены количественные значения критической и разрушительной скоростей ветрового потока для основных минеральных почв Украинского Полесья, различающиеся степенью оподзоливания и оглеения, с учетом почвенно-климатических условий региона.

2. Построение множественной линейной модели с последующим анализом на примере расчета выдувания почвенного материала ветровоздушным потоком позволило установить параметры возникновения ветровой эрозии на конкретных типах почв.

3. Приведен практический способ определения скоростей ветрового потока, позволяющий диагностировать процесс ветровой эрозии для подтверждения данных моделирования на основе агрофизических показателей почв.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гендугов, В.М. Ветровая эрозия почв и запыление воздуха / В.М. Гендугов, Г.П. Глазунов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 240 с.
2. Гурьянова, Л.С. Адаптивные модели в системах принятия решений: монография / Л.С. Гурьянова; под ред. Н.А. Кизима, Т.С. Клебановой. – Харьков: ИНЖЕК, 2007. – 368 с.
3. Черныш, А.Ф. Совершенствование методики количественной оценки дефляции почв / А.Ф. Черныш, Н.А. Лихацевич. – Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 2(49). – С. 8–16.
4. Долгилевич, М.И. Аэродинамические показатели почв Краснодарского края и их физико-химические свойства / М.И. Долгилевич, Ю.И. Васильев, Л.С. Фролова // Методы изучения дефляции и охрана почв. – Алматы: Кайнар, 1986. – С. 37–43.
5. Медведев, В.В. Гранулометрический состав почв Украины (генетический, экологический и агрономический аспекты) / В.В. Медведев, Т.Н. Лактионова. – Харьков: Апостроф, 2011. – 292 с.
6. Медведев, В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). – Харьков: 13 типография, 2008. – 406 с.

**CALCULATION OF SOIL FIRMNESS TO DEFLATION  
ON THE BASE OF MULTYVALUE LINEAR MODEL  
FOR CONDITIONS OF UKRAINIAN POLISSYA**

**V.P. Koljada**

**Summary**

The calculation of wind erosion model on the base of parameters: type of soil and wind velocity, which were described with step-by-step algorithm that includes results of wind blowing imitation in aerodynamic installation tool. Such diagnostic indexes as critical and destructive stream velocities were verified with such agrophysical parameters as mean soil particles size, index of soil firmness to wind, humus content, deflation appearance degree and another that indicate phases of process activity.

*Поступила 18.07.13*