

УДК 631.459.631.61

## ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЙ УРОВЕНЬ ЭРОЗИИ БУРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

© 1998 г. Ю. А. Штомпель<sup>1</sup>, Ф. Н. Лисецкий<sup>2</sup>, Ю. П. Сухановский<sup>1</sup>, А. В. Стрельникова<sup>3</sup><sup>1</sup>Кубанский государственный аграрный университет<sup>2</sup>Белгородский государственный университет<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии, Курск

Поступила в редакцию 22.01.97 г.

Установлена этапность комплексного обоснования почвозащитного обустройства агроландшафтов в условиях предгорного земледелия. Реализовано несколько подходов к оценке допустимых эрозионных потерь почвы, использованных как нормативные показатели в практике противоэрозионного проектирования.

Важнейшая научная и прикладная задача в практике почвозащитного проектирования сельскохозяйственных территорий – нормирование эрозионных потерь почвы – решалась с помощью различных методов [4, 6, 8, 10, 13]. Чаще всего допустимые эрозионные потери почвы в агроландшафте обосновывались с помощью оценок скорости природного почвообразовательного процесса, что, конечно, некорректно. Интенсивность регенерации почвенного профиля одной и той же почвы [2, 12, 14, 15] не одинакова и зависит от климата, растительности и гидрологического режима. В исследованиях зарубежных ученых дополнительно учитывались и другие факторы, например, ресурс плодородного слоя почвы, снижение урожайности сельскохозяйственных культур, загрязнение водных источников, материальные затраты на противоэрозионные мероприятия.

Принципы нормирования эрозионных потерь практически не разработаны для бурых лесных почв Краснодарского края, занимающих 1089 тыс. га. Для всесторонне обоснованного решения этой задачи нами были систематизированы многолетние почвенно-климатические характеристики предгорной зоны края (г. Крымск–г. Горячий Ключ–ст. Северская). Изучено плодородие отдельных почвенных горизонтов [7], дана статистическая характеристики их мощностей и содержания гумуса; определены критическая и оптимальная мощности гумусового горизонта, установлен вклад основного вида водно-эрозионного разрушения почв предгорий Кубани – дождевой эрозии – в норматив допустимого смыва для бурых лесных почв с разработкой математической модели дождевой эрозии.

Выбранные на Абинском опытном поле почвенно-геоморфологические профили АВ и СD

(рис. 1) заложены на склоне юго-восточной экспозиции. Длина линии тока воды 220–270 м, средний уклон – 6° (10.6%). Приводораздельная часть склона на протяжении 50 м занята лесом (*Quercus robur*, *Rugus communis*, *Crataegus*). Профиль АВ охватывает приводораздельную, среднюю и частично нижнюю части склона, профиль СD заложен в 40 м севернее профиля АВ при среднем уклоне 7°.

Автоморфные условия характеризует бурая лесная слабонасыщенная оподзоленная легко-суглинистая почва на тяжелых делювиальных глинах. Заложённые здесь разрезы отражают морфологическое строение незэродированных (эталонных) почв: мощность гор. А1 + А1А2 + В1 + В2 + ВС + С достигает 111 см.

Геморфологические предпосылки развития водно-эрозионного процесса, недавняя (с 1974 г.) земледельческая освоенность, в ограниченной степени искажившая морфологию почв агротехнологическими воздействиями (сплозание, напашь), позволили установить количественные связи профильного строения бурых лесных почв с продуктивностью растений (рис. 2). Используя “Метод реконструкции генетических горизонтов”, основанный на “морфометрическом законе развития почв” [11] (суть метода заключается в установлении связи мощности одного из горизонтов с мощностью почвенного профиля (А1 + В1 + В2)), а также биоиндикацию почвенных условий в пределах геоморфологического профиля АВ, установили, что оптимальная мощность гор. А1 + В1 + В2 бурых лесных почв равна 60–65 см. Расчеты показали, что теоретическая линия регрессии мощности гор. А1 + В1 + В2 с мощностью гор. А + В1, полученная в результате обработки полевых материалов, имеет следующий вид:  $A + B1 + B2 =$

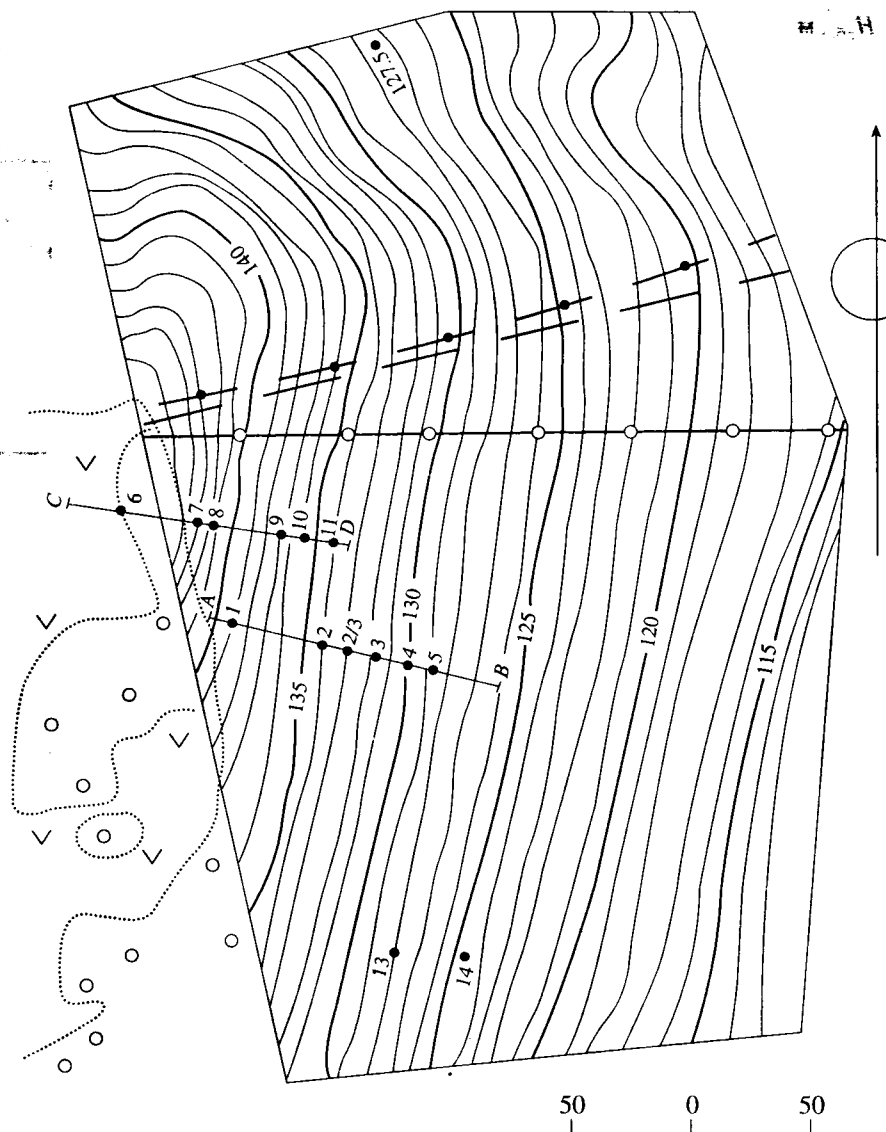


Рис. 1. Месторасположение почвенных разрезов на Абинском опытном поле.

$= 6.12(A + B1)^{0.62}$  при величине корреляционного отношения 0.81. По этим данным оптимальная мощность гумусового горизонта бурых лесных почв составляет 40–45 см.

Критическую мощность гумусовых горизонтов бурых лесных почв определяли с помощью специальных вегетационных опытов. Известно, что интегральным показателем плодородия является продуктивность растений. Метод анализа данных урожая, полученного на почве с фиксированной долей участия гумусового горизонта [3], позволил определить критическую его мощность для основных сельскохозяйственных культур, входящих в полевой севооборот предгорной зоны края [10]. Схемой опытов предусматривались варианты, характеризующие категории смывтости почв по морфологическому критерию: 1) почва

несмытая – гор. А (100% по массе); 2) слабосмытая – 80% гор. А + 20% гор. В; 3) среднесмытая – 60% гор. А + 40% гор. В; 4) сильносмытая – 40% гор. А + 60% гор. В; 5 и 6) очень сильносмытая – 20% гор. А + 80% гор. В и 100% гор. В соответственно. Так как зависимость урожая от доли участия гор А в моделируемых почвенных профилях имеет нелинейный характер, была использована логарифмическая анаморфоза этой связи для обоснования критической мощности гумусового горизонта. Установлено, что критическая мощность этого горизонта бурых лесных почв колеблется от 16–17 см (зерновые культуры) и 19 см (табак) до 26 см (кукуруза).

Фактическая мощность гумусового горизонта бурых лесных почв определена путем их полевого обследования. Для определения морфологиче-

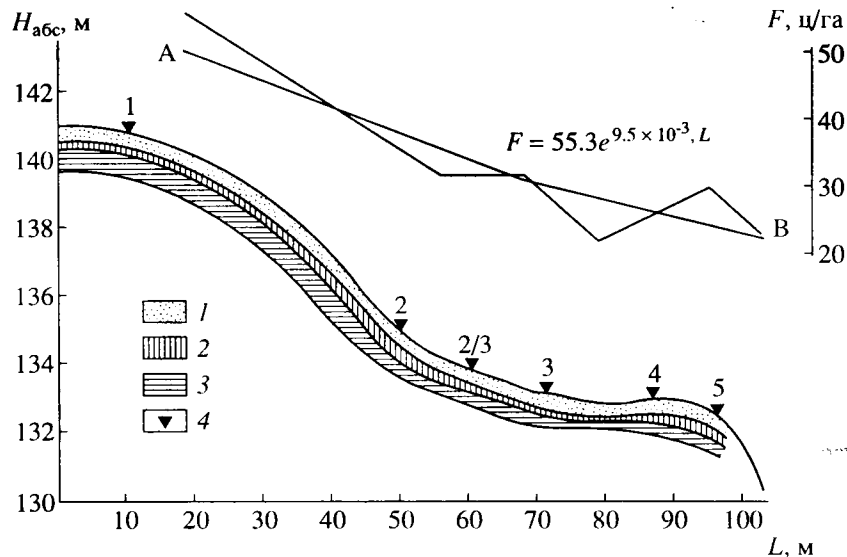


Рис. 2. Морфология почв и распределение урожая клевера ( $F$ ) по почвенно-геоморфологическому профилю АВ. Горизонты: 1 – А1; 2 – В1; 3 – В2. 4 – почвенные разрезы.

ских и физико-химических показателей бурых лесных почв различной степени смытости был заложен 31 почвенный разрез. Получены статистические характеристики фактических мощностей гумусовых горизонтов и содержания гумуса в них (табл. 1). В результате полевого почвенно-эрозийного обследования и лабораторного анализа установлено: в профиле бурых лесных слабонасыщенных и кислых почв отмечаются два основных генетических горизонта: А – гумусово-аккумулятивный и В – текстурный с интенсив-

ным оглинением. Нижняя часть гумусового горизонта, захватывая текстурный, формирует переходный гор. АВ. Общая мощность гор. А + АВ равна  $38 \pm 1.4$  см.

Вклад дождевой эрозии в норматив допустимого смыва почв определяли с помощью специальной подвижной дождевальной установки (ВНИИЗиЗПЭ), обеспечивающей интенсивность дождя в интервале 0.3–2.0 мм/мин. Исследования проводили на склонах крутизной от  $2^\circ$ – $3^\circ$  до  $6^\circ$ – $7^\circ$  (табл. 2). Дождевой смыв почвы моделировали

Таблица 1. Статистическая характеристика фактических мощностей генетических горизонтов бурой лесной почвы и содержания в них гумуса ( $n = 31$ )

Показатель	Статистические характеристики				
	$\bar{X}$	$\sigma$	$A$	$V$	$\bar{X} \pm t_{0.5} S_{\bar{x}}$
Мощность горизонтов, см					
А	31	3.5	-0.30	11	$31 \pm 1.3$
АВ	7	2.7	-0.15	38	$7 \pm 1.0$
А + АВ	38	3.8	-1.72	10	$38 \pm 1.4$
Содержание гумуса в горизонте, %					
А	2.52	0.4	-0.02	15	$2.52 \pm 0.01$
АВ	0.65	0.08	-0.36	12	$0.65 \pm 0.03$
Содержание азота в горизонте, %					
А	0.126	0.02	-0.02	15	$0.126 \pm 0.007$
АВ	0.032	0.004	0.55	13	$0.032 \pm 0.002$

Примечание.  $n$  – количество определений;  $\bar{X}$  – среднее значение;  $\sigma$  – стандартное отклонение;  $A$  – значение асимметрии;  $V$  – коэффициент вариации, %.

Таблица 2. Дождевание экспериментальных опытных участков

Вариант опыта	Крутизна склона, град.	Интенсивность дождя, мм/мин	Количество и качество смыва почвы	
			смыв, г/м <sup>2</sup> абсолютно сухой почвы	содержание гумуса в смытой почве, %
1	} 2-3	0.3	28.1	1.14
2		0.5	96.0	1.40
3		0.8	72.0	1.20
4	} 4-5	1.0	77.1	1.05
5		1.5	82.0	1.20
6	} 6-7	2.0	89.3	1.02

после привязки модели к рассматриваемым условиям: создания базы метеорологических данных для моделирования дождевого смыва почвы за многолетний период, привязки блока модели, описывающего динамику влажности почвы за этот же период, проверки модели по результатам дождевания (табл. 3). В базу данных включены дожди со слоем осадков более 10 мм, выпавшие с апреля по октябрь за 25 лет. В привязку блока модели, описывающего динамику влажности почвы, входила идентификация коэффициентов фильтрации и испарения влаги. Допустимая скорость потока для почвы  $v_{\text{доп}} = 0.045$  м/с рассчитана по формуле Кузнецова [5].

После привязки модели к особенностям ключевого участка моделировали смыв почвы за многолетний период на заданном профиле склона для условий обработки почвы и севооборота. Морфология склона определена по топографической основе. С учетом противозерозионной устойчивости чередование культур на выбранном участке было следующим: 1 – кукуруза; 2 – пшеница озимая; 3–4 – табак; 5 – ячмень яровой; 6 – кукуруза; 7–9 – травы многолетние (табл. 4).

В силу различного рода факторов мощность почвенных горизонтов, диагностирующих степень эродированности, определяется с некоторой погрешностью. Исходя из этого, по методу, изложенному в работах [2, 12], за допустимый принимается такой смыв почвы, который за время  $T$  не превысит погрешности определения мощности гумусового горизонта. Таким образом, в основу расчетов положены величины: а) абсолютная погрешность определения мощности, мм; б)  $T$  – время (лет), за которое допускается смыв слоя почвы, равный 0.20–0.76 мм/год. Следовательно, чем больше значение  $T$ , тем меньше допустимый смыв. В таблице 5 приведены значения допустимого смыва для бурых лесных слабонасыщенных почв на 20-летний период. При этом принято, что мощность эталона равна 600 мм, точность определения  $P = 5\%$ , а плотность сложения пахотно-

го горизонта равна 1.10 г/см<sup>3</sup>. Для каждой степени эродированности при определении мощности взята нижняя граница. Например, для слабоэродированной почвы  $H = 0.75 \times 600 = 450$  мм. Это означает, что в течение 20 лет степень эродированности почвы не изменится. Сильноэродированные почвы должны быть законсервированы.

Расчеты среднегодового предельно допустимого смыва почв по методу, разработанному в США [16] и усовершенствованному на Украине [1], выполнены на основе следующих данных: величины минимально допустимой мощности гумусового горизонта, обоснованной для отдельных сельскохозяйственных культур по результатам вегетационных опытов; величины оптимальной мощности почв, обоснованной по результатам почвенно-эрозионных обследований; величин

Таблица 3. Математическое моделирование дождевого смыва почвы (по методу ВНИИЗиЗПЭ)

Расстояние, м	Крутизна, град	Смыв почвы, т/га в год	Слой почвы, смытый за 23 года, мм
0.0	0	0	0.0
3.0*	3.0	6.0	12.9
5.4		9.8	20.9
9.7*	11.0	14.3	30.5
10.8		16.1	34.3
15.5*	12.0	26.8	57.1
16.2		27.2	59.2
21.6		26.2	55.8
26.2*	7.6	25.4	54.1
27.0		25.6	54.5
32.4		28.0	59.6

\*Значения смыва почвы для этих расстояний определены с помощью интерполяции с использованием сплайн-функции. Для расчета слоя смытой почвы плотность сложения пахотного горизонта принимали равной 1.1 г/см<sup>3</sup>.

**Таблица 4.** Смыв почвы под кукурузой (над чертой) и озимой пшеницей (под чертой), т/га в год

Расстояние, м	Уклон склона, град				
	1	3	5	7	9
0	0	0	0	0	0
30	<u>5.9</u> 3.5	<u>17.7</u> 9.9	<u>28.3</u> 22.0	<u>39.6</u> 22.0	<u>49.2</u> 27.5
60	<u>10.0</u> 5.8	<u>28.1</u> 17.8	<u>44.4</u> 25.0	<u>62.0</u> 35.1	<u>77.2</u> 43.9
90	<u>13.2</u> 7.6	<u>36.3</u> 20.5	<u>57.3</u> 32.5	<u>79.9</u> 45.7	<u>99.7</u> 57.2
120	<u>15.9</u> 9.2	<u>43.3</u> 24.6	<u>68.3</u> 39.0	<u>95.4</u> 54.9	<u>119.2</u> 68.8
150	<u>18.3</u> 10.6	<u>49.6</u> 28.3	<u>78.1</u> 44.9	<u>109.4</u> 63.2	<u>136.8</u> 79.3
180	<u>20.5</u> 11.8	<u>55.2</u> 31.7	<u>87.1</u> 50.2	<u>122.2</u> 70.8	<u>153.0</u> 88.9
200	<u>22.5</u> 12.9	<u>65.5</u> 34.8	<u>95.5</u> 55.0	<u>134.1</u> 77.9	<u>168.0</u> 98.1

**Таблица 5.** Допустимый смыв для бурых лесных слабонасыщенных среднесуглинистых почв предгорий Кубани

Степень эродированности почвы	Потеря слоя почвы эталона, %	Допустимый смыв почвы (Q)	
		мм/год	т/га в год
Неэродированная	0-5	0.76	8.4
Слабоэродированная	5-25	0.60	6.6
Среднеэродированная	25-50	0.40	4.4

эрозионных потерь почв под основными культурами, полученных методом моделирования. Преимущество этого подхода связано с возможностью учета изменения качества почвенного ресурса через баланс гумуса в агроэкосистемах. При

этом решается задача поддержания баланса гумуса в почве, позволяющего на протяжении одной ротации севооборота обеспечивать регенерацию мощности гумусового горизонта, утраченной в результате смыва. Модель по [1] имеет вид

$$Q_{\text{доп}} = \left\{ \frac{Q_h}{\Delta t} \left[ 1 + \sin \left( 0.5\pi \frac{2h - h_1 - h_2}{h_2 - h_1} \right) \right] - \frac{Q_m}{\Delta t} \right\} \frac{10}{gpk}$$

где  $Q_{\text{доп}}$  – предельно допустимый смыв почвы, мм/год;  $Q_h$  – масса гумуса, которая образуется за ротацию севооборота, т/га;  $\Delta t$  – длительность севооборота, годы;  $h, h_1, h_2$  – соответственно фактическая, предельно допустимая, оптимальная мощности гумусовых горизонтов почвы;  $Q_m$  – масса гумуса, которая минерализуется за ротацию севооборота, т/га;  $p$  – плотность сложения верхнего (0–10 см) слоя почвы, т/м<sup>3</sup>;  $g$  – содержание гумуса в пахотном слое, %;  $k$  – коэффициент увеличения содержания гумуса в твердом стоке по сравнению с его содержанием в почве.

Расчеты, выполненные по американскому варианту метода [16], который учитывает прежде всего различную сенсорность отдельных культур севооборота к мощности плодородного слоя почвы, представлены в табл. 6. Из-за значительных в районе проектирования эрозионных потерь одним из наиболее влиятельных факторов уравнения гумусового баланса следует считать смыв почвы. Это в определяющей степени детерминирует зависимость предельно допустимых эрозионных потерь почвы от фактических величин смыва. Увеличение величин допустимых эрозионных потерь на более эродированных почвах не противоречит выявленной в работе [9] закономерности более активной регенерации гумусового горизонта в почвах, которые вышли из квазиравновесного состояния в результате эрозионной “сработки профиля”.

**Таблица 6.** Расчетные значения предельно допустимых эрозионных потерь для бурых лесных почв Краснодарского края, т/га

Крутизна склона, град	Пропашно-технические культуры			Табак			Озимые и яровые колосовые культуры			Травы многолетние (3 года и более)		
	Степень смытости*/длина склона, м											
	1/125	2/202	3/131	1/125	2/202	3/131	1/125	2/202	3/131	1/125	2/202	3/131
2-4	0.64	–	–	0.84	–	–	0.88	–	–	0.21	–	–
4-6	–	1.45	–	–	1.96	–	–	2.02	–	–	0.30	–
6-8	–	–	1.70	–	–	2.29	–	–	2.38	–	–	0.78

Примечание. Прочерк означает отсутствие культуры. \* 1 – несмытая; 2 – слабосмытая; 3 – среднесмытая.

Зависимость допустимых эрозионных потерь почв от их морфологического строения, необходимость дифференциации набора и эффективности противоэрозионных мероприятий на севооборотной площади определяют задачу адаптации культур севооборота к пространственному распределению мощности гумусового горизонта или (в более общем виде) к контурам почв, различающихся по степени эродированности. Для этого целесообразно после почвенно-эрозионного картографирования произвести агроэкологическую структуризацию территории, увязав чередование сельскохозяйственных культур с особенностями производственных участков.

## ВЫВОДЫ

Результаты расчетов допустимого смыва почв по двум основным методикам позволяют сделать следующие выводы.

1. Метод расчета допустимых эрозионных потерь, ориентированный на сохранение в определенный интервал времени имеющегося морфологического строения склоновых почв через оценку интенсивности смыва, допускает ежегодную потерю от 4.4 до 6.6 т/га почвы. При дополнении учета фактической мощности гумусового горизонта нормативами оптимальной и критической мощностей ежегодные эрозионные потери бурых лесных почв могут составлять 0.85–2.3 т/га на табачных плантациях; 0.64–1.7 т/га при выращивании пропашных культур и 0.2–0.8 т/га на полях многолетних трав (табл. 6). Эти нормативы можно интерпретировать как допустимые потери, позволяющие неограниченно долго использовать бурые лесные почвы в агроландшафтах за счет компенсации регулируемых эрозионных потерь только естественным почвообразованием.

2. Расчеты для условий простого воспроизводства гумусового состояния бурых лесных почв показывают, что ежегодные допустимые потери почвы в районе проектирования могут составлять 3.5–4.6 т/га для зерновых культур и 4.3–6.6 т/га для пропашных.

Исследования позволяют рекомендовать следующий порядок работ по обоснованию допустимых эрозионных потерь почвы:

1. Обобщение и статистическая обработка гидрометеорологических и почвенно-генетических характеристик для выбранных моделей водно-эрозионного процесса, включая определение противоэрозионной стойкости почв методом искусственного дождевания и химический анализ твердого стока. Расчет величин смыва для типичных сочетаний геоморфологических, почвенных условий и выделенных (по почвозащитной эффективности) групп сельскохозяйственных культур.

2. Обоснование оптимальной мощности гумусового горизонта почв методом почвенно-геоморфологического профилирования эрозионных катен и с помощью периодического тестирования.

3. Проведение вегетационных опытов для обоснования критической мощности гумусового горизонта почв применительно к основным группам районированных сельскохозяйственных культур (определяются по структуре корневой системы и почвенно-адаптационному потенциалу).

4. Оценка скорости природного почвообразования в автоморфных условиях с помощью полевых почвенно-хронологических исследований на объектах, датированных археологическими методами и отражающих основные биоклиматические однотипные хронозоны голоцена.

5. Сбор информации для оценки гумусового баланса почв.

6. Обоснование двухступенчатой системы нормативов допустимых потерь почвы: для замыкающих створов полевых севооборотных площадей и водосбора в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гродзинский М.Д., Шищенко П.Г. Ландшафтно-экологический анализ в мелиоративном природопользовании. Киев: Либідь, 1993. 225 с.
2. Иванов В.Д. Обоснование границ динамического равновесия между эрозией почв и скоростью почвообразования на пахотных склонах ЦЧО // Почвоведение. 1984. № 1. С. 85–89.
3. Капитанов А.Н., Лисецкий Ф.Н., Швец Г.И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. М.: Колос, 1994. 127 с.
4. Кузнецов М.С. К вопросу о методике исследования эродируемости почв // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 3. М., 1973. 126 с.
5. Кузнецов М.С. Противоэрозионная стойкость почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 136 с.
6. Ларионов Г.А. Методика определения смыва на пахотных землях // Методика исчисления условной цены земли как средства производства. М., 1987. 23 с.
7. Лисецкий Ф.Н. Профильное распределение плодородия в почвах степи Украины и его изменение под влиянием эрозионных процессов // Почвоведение. 1988. № 4. С. 68–76.
8. Лисецкий Ф.Н. Применение результатов оценки почвообразования для расчета допустимых эрозионных потерь почвы // VIII съезд ВОП: Тез. докл. Новосибирск, 1989. Кн. V. С. 285.
9. Лисецкий Ф.Н. Закономерности формирования гумусового горизонта зональных почв Русской равнины // Агрохимия и почвоведение. 1990. Вып. 53. С. 3–7.
10. Махлин Т.Б. и др. Математическая модель профильного распределения гумуса в почве // Почвоведение. 1986. № 6. С. 27–37.

11. Степанов И.Н. Закономерность постоянства отношений мощностей гумусового и подгумусового горизонтов в современных почвах // Докл. АН СССР. 1981. Т. 261. № 6. С. 1437–1439.
12. Сурмач Г.П. Выбор обеспеченности стока для расчетов смыва в целях построения комплекса противозерозионных мероприятий // Науч.-техн. бюл. по проблеме "Защита почв от эрозии". Курск. 1979. Вып. 2(21). С. 78–81.
13. Сухановский Ю.П., Хан К.Ю. Эрозионная характеристика дождя // Почвоведение. 1983. № 9. С. 123–125.
14. Шидула Н.К., Рожков А.Г., Трегубов П.С. К вопросу о картировании территории по интенсивности эрозионных процессов // Оценка и картирование эрозионноопасных и дефляционных земель. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. С. 30–34.
15. Штомпель Ю.А., Лисецкий Ф.Н., Стрельниковская А.В. Значение оценки скорости почвообразования в проблеме нормирования эрозионных потерь // Тр. Кубанск. гос. аграрн. ун-та. Краснодар, 1996. Вып. (350) 378. № 14.
16. Skidmore R.W. Soil loss tolerance // Determinants of soil loss tolerance / Madison: ASA special publication, 1982. № 45. P. 87–93.

## Soil Loss Tolerance Erosion of Brown Forest Soils of Northwestern Caucasus under Intensive Agriculture

Yu. A. Shtompel', F. N. Lisetskii, Yu. P. Sukhanovskii, and A. V. Strel'nikova

The graded actions in substantiation soil erosion control measures in foothill agrolandscapes are discussed. Several approaches for the evaluation of soil loss tolerance were investigated. The values of this loss were used as normative indicators in the development of measures on soil erosion control.