

1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.4:631.459

СИСТЕМА НОРМАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА И ОЦЕНКИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

**А. М. Устинова, В. Б. Цырибко, И. А. Логачев,
А. А. Митькова, С. Д. Воронович**

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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все более интенсивным становится воздействие человека на природу, которое, выражаясь в нерациональном использовании земельных ресурсов, уничтожении лесов и других естественных экосистем, развитии транспортной сети, приводит к угрозе экологического кризиса [1]. Одним из его проявлений является деградация земель [2]. В Беларуси наиболее распространенный вид деградации – эрозия почв, поскольку потеря верхнего слоя почвы может иметь разрушительные последствия для окружающей среды, приводящие к деградации экосистем, вызывая обезлесение, утрату биоразнообразия и увеличение загрязнения воздуха и воды. Негативное влияние эрозионной деградации почв проявляется как в снижении запасов органического вещества и других элементов питания в почве, так и в поступлении твердой фазы смытой почвы и биогенных элементов на другой участок водораздела и в водоемы, что способствует их заилению и загрязнению [3]. Следовательно, водно-эрозионные процессы могут также стать причиной снижения продуктивности сельскохозяйственных земель, что приведет к потере жизненно важных источников производства пищи для людей и животных [4].

Для Беларуси проблема развития водной эрозии почв предельно актуальна. Она проявляется в виде плоскостного смыва в основном на моренных возвышенностях в северной и центральной частях республики (Браславская, Свентяцкие гряды, Городокская, Витебская, Лепельская, Минская, Новогрудская, Оршанская и др. возвышенности). Глубинные (овражные) размывы приурочены к территориям, почвообразующие породы которых формировались из лёссов и лёссовидных суглинков, – это Горецко-Мстиславская возвышенность, Копыльская и Мозырская гряды, Оршанская, частично Новогрудская, Гродненская, Волковысская и Минская возвышенности [5].

Проявление эрозии обусловлено совокупным влиянием многих природных и антропогенных факторов и, в значительной степени, зависит от способности самой почвы противостоять воздействию дождевых капель и водному потоку. Средние темпы увеличения площади эродированных пахотных земель составляют

139,4 га в год [2, 4]. Интенсивностью развития эрозии определяется площадь земель, находящихся в сельскохозяйственном пользовании, урожайность культур, скорость заиления водоемов, землеустройство и эффективность сельскохозяйственного использования земель.

Установление эколого-экономических потерь в сфере природопользования и, в частности, оценка ущерба от деградации почв представляет собой сложную и актуальную задачу. Под экономическими потерями подразумеваются выраженные в стоимостной форме фактические и возможные потери (убытки), понесенные в результате процессов деградации. Эколого-экономический ущерб, как показатель экономической оценки, предполагает оценку в денежной форме возможных и фактических потерь урожая, почвенного плодородия, нарушения луговых земель, а также необходимых ресурсов для устранения отрицательных последствий антропогенной нагрузки [6].

В настоящее время методические подходы расчета потерь, причиняемых эрозийными процессами земельным ресурсам и почвенному покрову, не отражают всех аспектов негативных последствий и не позволяют точно оценить величину ущерба, адекватную реальным экологическим и экономическим потерям [6]. Отсутствует надежная, экспериментально установленная и доказательная система нормативных показателей для выполнения количественной оценки и долгосрочного прогноза потерь от эрозионной деградации почв на разных категориях эродированных земель. Это указывает на необходимость разработки принципиально новых подходов и методов и обуславливает важность и актуальность работы.

Цель работы – разработать нормативные показатели для прогноза и оценки эколого-экономических потерь в результате водно-эрозионных процессов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Величину эколого-экономической эффективности можно определить по размеру установленного предотвращенного экологического ущерба и размеру полученного (предполагаемого) экономического эффекта.

Экологический ущерб, наносимый водно-эрозионными процессами, целесообразно определять по потерянному объему почвы, питательных веществ, гумуса, величине недополученной продукции, по затратам на устранение или снижение ущерба, а также с учетом экономической оценки земель, других природных ресурсов.

Экономический ущерб (как показатель эколого-экономической оценки) подразумевает оценку в денежной форме возможных и фактических потерь урожая, почвенного плодородия, загрязнения почв и водоемов биогенными элементами, агрохимикатами и др., возникающими в результате эрозии почв и нерациональной хозяйственной деятельности, а также необходимых ресурсов для ликвидации негативных последствий [6].

Особенно ценны для разработки нормативных показателей для прогноза и оценки эколого-экономических потерь в результате водно-эрозионных процессов материалы длительных многофакторных стационарных опытов, посвященных одновременному изучению всех основных элементов технологии (предшественников, типов севооборотов, обработки почвы, систем удобрения), проводимые на стационарах «Стоковые площадки» и «Браслав». Отметим, что возделывание сельскохозяйственных культур на них проводится с соблюдением всех агротехнологий, что в производственных условиях не всегда наблюдается.

Поэтому, наряду с выполнением полевых стационарных опытов, проведены маршрутные полевые исследования методом закладки почвенно-геоморфологических профилей (катен) на пахотных и луговых землях сельскохозяйственных организаций (хозяйств).

Выбор ключевых почвенно-геоморфологических катен для изучения агрохимических свойств почв разной степени эродированности определялся масштабами и географией распространения склоновых земель, генезисом почвообразующих пород, их гранулометрическим составом, интенсивностью проявления водно-эрозийных процессов. Почвенно-геоморфологические катены заложены на эродированных дерново-подзолистых почвах на территории Браславского, Городокского, Витебского, Оршанского районов Витебской области, Мстиславского, Горецкого районов Могилевской области, Минского, Мядельского, Логойского, Воложинского районов Минской области, Новогрудского, Кореличского, районов Гродненской области, Барановичского района Брестской области. В ходе почвенных экспедиций, проведенных в 2021–2022 гг., заложено 86 почвенно-геоморфологических катен (рис. 1). Всего в центральной почвенно-экологической провинции заложено 57 почвенно-эрозийных профилей, из них 38 включают почвы, сформированные на лессовидных суглинках, 11 – на моренных супесях, 8 – на моренных суглинках. В северной провинции почвообразующая порода – моренные суглинки (20 катен) и супеси (9 катен) [7].



Рис. 1. Размещение почвенно-геоморфологических катен в северной и центральной почвенно-экологических провинциях Беларуси [7]

По почвенно-эрозионным профилям заложены почвенные разрезы и отобрано более 700 почвенных образцов из пахотного слоя (0–20 см) для определения содержания гумуса, общего и минерального азота, подвижных соединений фосфора и калия.

Лабораторно-аналитические анализы выполнялись по следующим методам: органическое вещество (гумус) – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212-91; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207-91.

Наряду с отбором почвенных образцов проводился сопряженный учет урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур методом пробного снопа в 5-кратной повторности.

Полученные данные обрабатывали статистическими методом дисперсионного анализа с использованием компьютерного программного обеспечения MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ранее опубликованных статьях приведено влияние водно-эрозионных процессов на продуктивность основных сельскохозяйственных культур и изменение параметров основных агрохимических показателей плодородия почв склоновых сельскохозяйственных земель [7–9].

На основании обобщения массива данных, полученных как в полевых стационарных опытах, так и в маршрутных полевых исследованиях, сформированы нормативы снижения содержания элементов питания в зависимости от генезиса почвообразующих пород и степени эродированности почв (табл. 1).

Таблица 1

Нормативные показатели потерь гумуса и элементов питания дерново-подзолистых почв под влиянием процессов эрозионной деградации

Степень эродированности	Почвообразующая порода	Гумус		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		содержание, %	норматив потерь, %	содержание, %	содержание, %	содержание, %	норматив потерь, %
Неэродированная	моренные суглинки	100	–	100	–	100	–
Слабая		85–95	5–15	70–80	20–30	75–80	20–25
Средняя		70–95	15–30	60–70	30–40	70–75	25–30
Сильная		55–70	30–45	50–60	40–50	60–70	30–40
Неэродированная	моренные супеси	100	–	100	–	100	–
Слабая		80–90	10–20	75–85	15–25	80–85	15–20
Средняя		70–80	20–30	70–75	25–30	70–80	20–30
Сильная		55–75	35–45	60–65	35–40	60–70	30–40
Неэродированная	лесовидные суглинки	100	–	100	–	100	–
Слабая		85–95	5–15	80–90	10–20	80–90	10–20
Средняя		75–85	15–25	70–80	20–30	70–80	20–30
Сильная		60–70	30–40	60–70	30–40	60–70	30–40

Как следует из приведенных данных, в зависимости от степени эродированности почв содержание гумуса составляет 55–95 % от показателя незэродированных почв. Следовательно, норматив потерь изменяется от 5–15 % на слабоэродированной почве до 30–45 % на сильноэродированной независимо от почвообразующей породы.

В пахотном горизонте слабоэродированных почв содержится фосфора 80–95 % от количества в незэродированной, в среднеэродированной – 60–80 %, сильноэродированной – 50–70 %, т. е. норматив потерь составляет 10–50 % в зависимости от степени эрозионной деградации почв.

Несколько менее выражено влияние водно-эрозионных процессов на содержание K_2O . Так нормативные показатели потерь снижаются с 10–20 % на слабоэродированных до 30–40 % на сильноэродированных почвах.

В целом полученные нормативы находятся в сопоставимых друг с другом диапазонах, что указывает на ключевую роль интенсивности эрозионных процессов в снижении плодородия почв склоновых земель.

Следует отметить, что данные нормативы целесообразно использовать при наличии подробной почвенной карты и детального агрохимического обследования, т. е. в условиях отдельного землепользования (сельскохозяйственного предприятия).

В случае оценки ущерба от эрозионной деградации на территории административного района в целом стоит использовать данные, полученные в полевых экспериментах на стационарах лаборатории агрофизических свойств и защиты почв от эрозии Института почвоведения и агрохимии (табл. 2.).

Таблица 2

Потери гумуса и элементов питания под разными группами сельскохозяйственных культур

Группа сельскохозяйственных культур	Степень эродированности	Потери, кг/га в год		
		гумус	P_2O_5	K_2O
Пропашные (картофель, свекла сахарная, столовая и кормовая, кукуруза, овощные)	слабая	100	4,0	4,0
	средняя	170	7,0	7,0
	сильная	240	10,0	10,0
Яровые зерновые и зернобобовые (пшеница, ячмень, тритикале, овес, горох, пелюшка, люпин), яровой рапс	слабая	75	3,0	3,0
	средняя	120	5,0	5,0
	сильная	180	7,5	7,5
Озимые зерновые (рожь, пшеница, тритикале), озимый рапс	слабая	20	1,0	1,0
	средняя	30	1,5	1,5
	сильная	40	2,0	2,0
Однолетние травы (горохо-, пелюшко-, вико-овсяные смеси)	слабая	80	3,0	3,0
	средняя	125	5,0	5,0
	сильная	165	7,5	7,5
Многолетние бобовые (клевер, люцерна, галега), бобово-злаковые и злаковые травы	слабая	< 3	0,1	0,1
	средняя	< 5	0,2	0,2
	сильная	5	0,3	0,3

Результаты, приведенные в таблице 2, получены в ходе полевых стационарных экспериментов, проводимых с соблюдением всех технологических регламентов возделывания сельскохозяйственных культур (обработка почвы, посев, внесение гербицидов), поэтому данные нормативы потерь являются в значительной степени консервативными величинами.

Одним из показателей эколого-экономического ущерба, наносимого водно-эрозионными процессами, является снижение урожайности сельскохозяйственных культур на почвах склоновых земель.

В ходе исследований проанализирована урожайность многолетних бобовых (клевер, люцерна, галега восточная), многолетних злаковых, а также однолетних трав, возделываемых на склоновых землях. В результате были разработаны нормативные показатели снижения урожайности однолетних и многолетних трав на эродированных почвах, сформированных на лессовидных и моренных суглинках (табл. 3).

Недоборы урожая однолетних и многолетних трав самые низкие из исследованных сельскохозяйственных культур, что обусловлено их высокой почвозащитной способностью.

При соблюдении технологических регламентов возделывания однолетних и многолетних трав негативное воздействие эрозионных процессов минимально, а потери урожая не превысят 15–20 % даже на сильноэродированных почвах.

Таблица 3

Нормативные показатели снижения урожайности однолетних и многолетних трав под влиянием процессов эрозионной деградации

Степень эродированности	Почвообразующая порода	Однолетние травы		Многолетние травы	
		урожайность, %	норматив потерь, %	урожайность, %	норматив потерь, %
Неэродированная	моренные суглинки	100	–	100	–
Слабая		85–100	0–15	90–100	0–10
Средняя		75–85	15–25	80–90	10–20
Сильная		70–75	25–30	75–80	20–25
Неэродированная	лессовидные суглинки	100	–	100	–
Слабая		90–100	0–10	90–100	0–10
Средняя		80–90	10–20	85–90	10–15
Сильная		70–80	20–30	75–85	15–25

В таблице 4 представлены критерии оценки потерь урожайности зерновых культур и рапса в результате процессов эрозионной деградации. Ключевым отличием озимых культур является то, что в ряде случаев не выявлено недобора урожая на слабоэродированных почвах, вследствие их высокой почвозащитной способности и незначительного уменьшения агрохимических и водно-физических свойств почв.

Под яровыми зерновыми культурами на средне- и сильноэродированных почвах нормативы несколько ниже (до 40 %) относительно озимых (до 45 %), так как озимые культуры подвергаются водно-эрозионным процессам как в период выпадения стокообразующих дождей, так и во время весеннего снеготаяния.

Таблица 4

Нормативные показатели снижения урожайности зерновых культур и рапса под влиянием процессов эрозионной деградации

Степень эродированности	Почвообразующая порода	Озимые зерновые и озимый рапс		Яровые зерновые и яровой рапс	
		урожайность, %	норматив потерь, %	урожайность, %	норматив потерь, %
Неэродированная	моренные суглинки	100	–	100	–
Слабая		85–95	0–15	85–90	10–15
Средняя		70–95	15–30	75–85	15–25
Сильная		55–70	30–45	65–75	25–35
Неэродированная	моренные супеси	100	–	100	–
Слабая		80–90	0–15	85–90	10–15
Средняя		70–80	15–25	80–85	15–20
Сильная		55–75	25–40	55–75	25–45
Неэродированная	лессовидные суглинки	100	–	100	–
Слабая		85–100	0–15	85–90	10–15
Средняя		70–85	15–30	70–85	15–30
Сильная		55–70	30–45	60–70	30–40

В ходе маршрутных исследований проводился учет урожая льна-долгунца, сахарной свеклы и зеленой массы кукурузы. Полученные результаты позволили разработать критерии оценки ущерба для всех этих культур на лессовидных суглинках, а для кукурузы и на моренных суглинках (табл. 5).

Таблица 5

Нормативные показатели снижения урожайности льна-долгунца, сахарной свеклы и зеленой массы кукурузы на под влиянием процессов эрозионной деградации

Степень эродированности	Почвообразующая порода	Лен-долгунец		Сахарная свекла		Кукуруза (з/м)	
		урожайность, %	норматив потерь, %	урожайность, %	норматив потерь, %	урожайность, %	норматив потерь, %
Неэродированная	моренные суглинки	–	–	–	–	100	–
Слабая		–	–	–	–	80–90	10–20
Средняя		–	–	–	–	60–80	20–40
Сильная		–	–	–	–	40–60	40–60
Неэродированная	лессовидные суглинки	100	–	100	–	100	–
Слабая		85–95	5–15	90–100	0–10	80–90	10–20
Средняя		80–85	15–20	75–85	15–25	60–80	20–40
Сильная		65–70	30–35	55–60	40–45	50–60	40–50

Нормативы потерь урожайности по сахарной свекле и кукурузе наибольшие среди всех культур, особенно на сильноэродированных почвах (45–50 %). Данные культуры довольно требовательны к почвенному плодородию, которое заметно ниже на эродированных почвах. Кроме того, возделывание пропашных культур способствует интенсификации эрозионных процессов на склонах.

Результаты оценки потерь урожайности от эрозионной деградации позволили сгруппировать все культуры по степени устойчивости к водной эрозии (табл. 6).

Наиболее устойчивы к негативному влиянию водной эрозии однолетние и многолетние травы, что обусловлено их высокой почвозащитной способностью.

При соблюдении технологических регламентов потери урожайности не превышают 15–20 % даже на сильноэродированных почвах.

Во вторую группу входят зерновые, рапс, лен-долгунец и сахарная свекла, недоборы урожая которых на слабоэродированных почвах составляют до 15 %, среднеэродированных – до 30 %, сильноэродированных – до 45 %.

Таблица 6

**Степень устойчивости сельскохозяйственных культур
к водно-эрозионным процессам**

Степень устойчивости	Культуры	Снижение урожайности от эрозии, %		
		степень эродированности почв		
		слабая	средняя	сильная
Высокая	Однолетние травы, многолетние травы	менее 5	6–15	15–20
Средняя	Озимые и яровые зерновые, озимый и яровой рапс, лен-долгунец, сахарная свекла	менее 15	15–30	31–45
Низкая	Кукуруза (зеленая масса)	10–20	21–40	41–60

Наименее устойчива к водно-эрозионным процессам кукуруза, снижение урожайности зеленой массы на слабоэродированных почвах варьируют в пределах 10–20 %, на среднеэродированных – 20–40 %, на сильноэродированных – 40–50 %, а на почвах, сформированных на моренных суглинках, достигает 60 %.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что наиболее доступным способом оценки экологического ущерба, наносимого водно-эрозионными процессами, является определение величины утраченного плодородия почв и объем недополученной продукции.

Экономический ущерб (как показатель эколого-экономической оценки) подразумевает оценку в денежной форме возможных и фактических потерь урожая, почвенного плодородия, загрязнения почв и водоемов биогенными элементами и агрохимикатами и др., возникающими в результате эрозии почв и нерациональной хозяйственной деятельности, а также необходимых ресурсов для ликвидации негативных последствий.

Разработаны нормативы потерь элементов питания, которые зависят, в первую очередь от степени эрозионной деградации почв. Снижение содержания гумуса варьирует в пределах 5–15 % на слабоэродированных почвах, среднеэродированных – 15–30 %, сильноэродированных – 30–40 %. Потери подвижного фосфора и калия на слабоэродированных почвах находятся в диапазоне 10–20 %, среднеэродированных – 20–30 %, сильноэродированных – 30–50 %.

На основании оценки недоборов урожайности от эрозионной деградации все культуры сгруппированы по степени устойчивости к процессам водной эрозии следующим образом: высокая – однолетние травы, многолетние травы; средняя – озимые и яровые зерновые, озимый и яровой рапс, лен-долгунец, сахарная свекла; низкая – кукуруза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Литвин, Л. Ф.* География эрозии почв сельскохозяйственных земель России / Л. Ф. Литвин. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 255 с.
2. *Заславский, М. Н.* Эрозиоведение: учеб. для студентов геогр. и почв. спец. вузов / М. Н. Заславский. – М.: Высшая школа, 1983. – 320 с.
3. Деградация почв сельскохозяйственных земель Беларуси: виды и количественная оценка / А. Ф. Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 7–18.
4. *Жилко, В. В.* Эродированные почвы Белоруссии и их использование / В. В. Жилко. – Минск: Ураджай, 1976. – 168 с.
5. *Лепешев, А. А.* Овражная эрозия почв в Беларуси [Электронный ресурс] / А. А. Лепешев, В. Б. Кадацкий, Е. В. Кучерова. – География. – 2014. – № 5. – Режим доступа: <http://elib.bspu.by/handle/doc/8394>. – Дата доступа: 23.03.2023.
6. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: методическое руководство; под ред. академ. РАСХН В. И. Кирюшина и академ. РАСХН А. Л. Иванова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 794 с.
7. Влияние эрозионных процессов на изменение параметров основных агрохимических показателей плодородия почв склоновых сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. А. Логачев [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 2(69). – С. 30–36.
8. Продуктивность однолетних и многолетних трав на дерново-подзолистых почвах разной степени эродированности (результаты длительных полевых опытов) / Н. Н. Цыбулько [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1(68). – С. 31–39.
9. Влияние эродированности дерново-подзолистых почв на продуктивность сельскохозяйственных культур (результаты длительных полевых опытов) / Н. Н. Цыбулько [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 7–17.

**A SYSTEM OF NORMATIVE INDICATORS FOR FORECASTING
AND ASSESSING ECOLOGICAL AND ECONOMIC LOSSES
AS A RESULT OF EROSION PROCESSES**

**H. M. Ustinava, V. B. Tsyrybka, I. A. Lahachov,
A. A. Mit'kova, S. D. Voronovich**

Summary

The results obtained both in field hospitals and in the course of route studies made it possible to develop standards for the loss of batteries, which depend, first of all, on the degree of erosion degradation of soils. The decrease in humus content varies in the range of 5–15 % on slightly eroded soils, medium-eroded – 15–30 %, strongly eroded – 30–40 %. Losses of mobile phosphorus and potassium on slightly eroded soils are found in the range of 10–20 %, medium-eroded – 20–30 %, highly eroded – 30–50 %.

Based on the assessment of yield shortfalls from erosion degradation, all crops are grouped according to the degree of resistance to water erosion processes as follows: high – annual grasses, perennial grasses; medium – winter and spring cereals, winter and spring rape, flax, sugar beet; low – corn.

Поступила 13.04.23