

УДК 631.811:631.472.56:361.4592:31.445.24(476)

## ПОТЕРИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ПРИ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

Н. Н. ЦЫБУЛЬКО<sup>1)</sup>, И. И. ЖУКОВА<sup>2)</sup>, А. В. ЮХНОВЕЦ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Беларуси  
ул. Казинца, 90, 220108, г. Минск, Беларусь

<sup>2)</sup>Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка  
ул. Советская, 18, 220030, г. Минск, Беларусь

Представлены результаты многолетних исследований смыва гумуса и элементов питания растений с водной эрозией на дерново-подзолистых почвах. Установлены количественные показатели потерь их с жидким и твердым стоком при весеннем снеготаянии и выпадении стокообразующих дождей под разными сельскохозяйственными культурами.

При весеннем снеготаянии максимальный сток наблюдался на посевах озимых зерновых, максимальный смыв почвы – на зяблевой вспашке. Гумус, азот, фосфор и калий теряются в основном с твердым стоком. В период весеннего снеготаяния суммарные потери гумуса, азота, фосфора и калия составляют: на зяблевой вспашке 80,4, 5,4, 2,3 и 2,1 кг/га в год, на озимых зерновых культурах – 28,6, 1,7, 0,7 и 0,6 кг/га в год, под многолетними травами – 5,3, 0,2, 0,2 и 0,9 кг/га в год соответственно.

Максимальный сток и смыв почвы в период выпадения стокообразующих дождей наблюдался под пропашными культурами, минимальный – под многолетними травами. Основные потери гумуса, азота и фосфора под пропашными и яровыми зерновыми культурами отмечаются с твердым стоком. Под многолетними травами гумус больше смывается с жидким, а азот и фосфор – в равных количествах с жидким и твердым стоком. Калий в основном выносится с почвой на пропашных культурах, а на озимых зерновых культурах – с жидким стоком. На яровых зерновых культурах и многолетних травах его потери с жидким и твердым стоком одинаковые.

В целом при возделывании пропашных культур потери гумуса с водной эрозией достигают 240 кг/га в год, под яровыми зерновыми и зернобобовыми культурами – 8–170, под озимыми зерновыми – 25–45 кг/га в год, а под многолетними травами не более 10 кг/га. Общие потери азота колеблются от 12,5–46,0 кг/га под пропашными культурами до 1,5–5,0 кг/га под озимыми зерновыми культурами. Потери фосфора и калия составляют 4,5–,0 кг/га в год на пропашных культурах, 3,5–15,0 – на яровых зерновых и зернобобовых культурах, 1,5–7,0 – на озимых зерновых культурах и менее 2 кг/га в год на многолетних травах.

**Ключевые слова:** водная эрозия; жидкий сток; смыв почвы; потери; гумус; азот; фосфор; калий.

### Образец цитирования:

Цыбулько НН, Жукова ИИ, Юхновец АВ. Потери органического вещества и элементов питания при водной эрозии почв на склоновых землях. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2022;1:84–93.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-1-84-93>

### For citation:

Tsybulka MM, Zhukova II, Yukhnovets AV. Loss of organic matter and nutrients at soil water erosion on slope lands. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2022;1:84–93. Russian.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-1-84-93>

### Авторы:

**Николай Николаевич Цыбулько** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заместитель директора по научной работе.

**Инна Ивановна Жукова** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; заведующий кафедрой общей биологии и ботаники.

**Аксана Викентьевна Юхновец** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; ученый секретарь.

### Authors:

**Mikalai M. Tsybulka**, doctor of science (agriculture), full professor; deputy director for research.

[nik.nik1966@tut.by](mailto:nik.nik1966@tut.by)

**Inna I. Zhukova**, PhD (agriculture), docent; head of the department of general biology and botany .

[inn0707@bspu.by](mailto:inn0707@bspu.by)

**Aksana V. Yukhnovets**, PhD (agriculture), docent; scientific secretary.

[brissa\\_secretary@mail.ru](mailto:brissa_secretary@mail.ru)

## LOSS OF ORGANIC MATTER AND NUTRIENTS AT SOIL WATER EROSION ON SLOPE LANDS

M. M. TSYBULKA<sup>a</sup>, I. I. ZHUKOVA<sup>b</sup>, A. V. YUKHNOVETS<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Soil Science and Agrochemistry, National Academy of Sciences of Belarus,  
90 Kazinisa Street, Minsk 220108, Belarus*

<sup>b</sup>*Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank,  
18 Saveckaja Street, Minsk 220030, Belarus  
Corresponding author: M. M. Tsybulka (nik.nik1966@tut.by)*

The results of long-term studies of the flushing of humus and plant nutrition elements with water erosion on sod-podzolic soils are presented. Quantitative indicators of their losses with liquid and solid runoff during spring snowmelt and precipitation of runoff-forming rains under different agricultural crops have been established.

During the spring snowmelt, the maximum runoff was observed on winter grain crops, the maximum soil washout was observed on winter plowing. Humus, nitrogen, phosphorus and potassium are lost mainly with solid runoff. During the spring snowmelt, the total losses of humus, nitrogen, phosphorus and potassium are 80.4, 5.4, 2.3 and 2.1 kg/ha per year, respectively, on winter crops – 28.6, 1.7, 0.7 and 0.6 kg/ha per year, under perennial grasses – 5.3, 0.2, 0.2 and 0.9 kg/ha per year.

The maximum runoff and flushing of the soil during the fallout of runoff-forming rains was observed under row crops, the minimum – under perennial grasses. The main losses of humus, nitrogen and phosphorus under row and spring grain crops are noted with solid runoff. Under perennial grasses, humus is washed off more with liquid, and nitrogen and phosphorus – in equal amounts with liquid and solid runoff. Potassium is mainly carried out with the soil on row crops, and on winter cereals – with liquid runoff. On spring grain crops and perennial grasses, its losses with liquid and solid runoff are the same.

In general, when cultivating row crops, humus losses with water erosion reach 240 kg/ha per year, under spring grain and leguminous crops – 8–170, under winter grain – 25–45 kg/ha per year, and under perennial grasses no more than 10 kg/ha. Total nitrogen losses range from 12.5–46.0 kg/ha under row crops to 1.5–5.0 kg/ha under winter grain crops. Phosphorus and potassium losses amount to 4.5–20.0 kg/ha per year on row crops, 3.5–15.0 – on spring cereals and leguminous crops, 1.5–7.0 – on winter cereals and less than 2 kg/ha per year on perennial grasses.

**Keywords:** water erosion; liquid runoff; soil runoff; losses; humus; nitrogen; phosphorus; potassium.

### Введение

В Беларуси установлено более 20 видов и форм деградации почвенно-земельных ресурсов и основной из них является эрозия почв. Эрозия почв, обусловленная чрезвычайно сложным комплексом геоморфологических, климатических, почвенных условий и хозяйственным использованием земель, проявляется на территории республики во всех видах и разновидностях. Водная эрозия, вызываемая тальми водами и ливневыми осадками, проявляется на склонах в виде смыва верхней части почвенного покрова (плоскостная и струйчатая эрозия) или в виде размыва в глубину (линейная эрозия). Уже на склонах 1–2 градуса проявляется плоскостная эрозия. С возрастом крутизны она усиливается, увеличивает ложбинность полей, перерастает в линейную эрозию.

Водной эрозии подвержено 473,3 тыс. га сельскохозяйственных земель. Эродированные почвы приурочены преимущественно к пахотным землям. Из общей площади почв, подверженных водной эрозии, 268,3 тыс. га (56 %) – слабоэродированные, 120,0 тыс. га (25 %) – среднеэродированные, 20,2 тыс. га (4 %) – сильноэродированные и 64,7 тыс. га (14 %) – намытые почвы [1].

С количественной стороны процесс эрозии почв характеризуются интенсивностью смыва, выражаемой в тоннах/гектар/год, либо мощностью утраченного слоя почвы в единицу времени (миллиметр/год). Для большинства пахотных почв категории слабоэродированных соответствует снос верхних слоев мощностью от 5 до 15–20 см, среднеэродированных – от 15–20 до 60 см, а категории сильноэродированных – более 50–60 см [2].

Дерново-подзолистые почвы, подверженные водной эрозии, под влиянием смыва части пахотного слоя и вовлечения иллювиального горизонта, имеют не только низкое содержание гумуса и общего азота, но и повышенную кислотность и меньшую емкость поглощения, подвижных соединений фосфора и калия [3; 4].

Цель исследования – установление количественных параметров потерь органического вещества (гумуса), азота, фосфора и калия из дерново-подзолистых почв с водной эрозией в период весеннего снеготаяния и выпадения стокообразующих дождей под разными сельскохозяйственными культурами.

### Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2000–2015 гг. на стационарных стоковых площадках, расположенных на выпуклом склоне южной экспозиции с крутизной 5–7°. Постоянные стоковые площадки заложены по

почвенно-геоморфологическому профилю от водораздельной равнины до подножья склона. Длина каждой площадки или длина линии стока – 60 м, ширина – 12 м, общая площадь одной площадки – 720 м<sup>2</sup>. Стоковая площадка представляет собой изолированный от окружающей местности прямоугольный участок склона, огражденный по контуру, за исключением нижней стороны, бортиками высотой 25–30 см и оборудованный в нижней части устройствами для учета стекающей с его поверхности воды и выносимой почвы. Ограждение площадки предотвращает попадание на нее воды, стекающей с прилегающей территории. Длинные стороны площадок располагаются строго перпендикулярно горизонталям склонов. В нижней части площадки для перехвата воды, стекающей со склона, располагается водоприемный лоток под некоторым углом к горизонталям.

Объектом исследований являлись дерново-подзолистые почвы, сформированные на легких лессовидных суглинках. На водораздельной равнине расположены незэродированные почвы, на склоне – эродированные, подножья склона – глееватые намытые почвы.

Смыв почвы, жидкий сток, потери с эрозией гумуса и элементов питания определяли в соответствии с принятыми методиками [5; 6]. Смыв почвы (твердый сток) с территории стоковой площадки определяли путем суммирования стока взвешенных и донных наносов. Сток донных наносов, которые оседали в водоприемном лотке и стокоприемнике, учитывали весовым методом, а сток взвешенных наносов – методом фильтрования проб, отбираемых на мутность на выходе из стокоприемника.

Учет стока талых и ливневых вод выполняли с помощью измерительного оборудования, расположенного в специальном павильоне в нижней части склона. Оборудование представляет собой металлические мерные баки, имеющие две сообщающиеся между собой секции, с водосливными треугольными вырезами в передней стенке. Первая секция служит верхним бьефом водослива, установленного в торцевой части бака, вторая – для приема воды, поступающей из водоприемного лотка стоковой площадки. При учете объема жидкого стока использовали самописцы уровня воды типа «Валдай».

Для установления потерь органического вещества (гумуса), азота, фосфора и калия с жидким стоком стоковые воды отбирали в период весеннего снеготаяния и при выпадении всех стокообразующих дождей. Содержание в твердом стоке (наносах) гумуса определяли по ГОСТ 26212-91<sup>1</sup>, общий азот – по ГОСТ 26107-84<sup>2</sup>, подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207-91<sup>3</sup>. Химический анализ стоковых вод выполняли по методике [7].

## Результаты исследования и их обсуждение

Проявление водно-эрозионных процессов на сельскохозяйственных землях наблюдается в почвенно-климатических условиях Беларуси в два периода: во время зимних оттепелей и весеннего снеготаяния и во время выпадения стокообразующих дождей.

Эрозия почвы при весеннем снеготаянии – результат взаимодействия постоянных (длины, крутизны и экспозиции склона) и динамических факторов (мощности снежного покрова и запасов воды в снеге, влажности и глубины промерзания почвы к моменту начала снеготаяния, наличия или отсутствия ледяной корки, продолжительности и интенсивности таяния снега).

Весеннее снеготаяние на почвенном покрове начинается при переходе среднесуточной температуры воздуха через 0 °С и продолжается от нескольких дней до нескольких недель. В этот период почвы находятся под зяблевой вспашкой (зябью), озимыми зерновыми культурами и многолетними травами. По нашим многолетним наблюдениям, объем жидкого стока изменялся на зяблевой вспашке от 0,2 до 28,4 мм, под посевами озимых зерновых культур достигал 19,6, под многолетними травами – 15,7 мм и в среднем составлял 9,9, 11,1 и 6,6 мм соответственно (табл. 1).

Вынос гумуса и элементов питания (азота, фосфора и калия) с жидким стоком был незначительным по всем изучаемым агрофонам. Потери гумуса колебались в зависимости от объема стока от 0,1 до 10,8 кг/га на зяби, от 0,4 до 7,0 – под озимыми зерновыми культурами и от 0,1 до 5,8 кг/га – под многолетними травами. Среднемноголетние значения потерь его с жидким стоком по агрофонам были близкими – 2,2–2,5 кг/га. Смыв азота, фосфора и калия в растворенном виде с поверхностным стоком талых вод за годы исследований не превышал 1 кг/га. Однако наблюдались случаи, когда потери калия на зяби достигали 4,3 кг/га.

<sup>1</sup>ГОСТ 26213-91. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО. Введ. 07.01.93. Минск: Издательство стандартов; 1992.

<sup>2</sup>ГОСТ 26107-84. Почвы. Методы определения общего азота. Введ. 07.01.85. Минск: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации; 1985.

<sup>3</sup>ГОСТ 26207-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Введ. 07.01.93. Минск: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации; 1992.

Таблица 1

Потери гумуса и элементов питания растений с жидким стоком при водной эрозии почвы во время весеннего снеготаяния

Table 1

Losses of humus and plant nutrients with liquid runoff with water erosion of the soil during spring snowmelt

Агрофон	Количество наблюдений, лет	Жидкий сток, мм	Потери с жидким стоком, кг/га			
			гумус	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Зяблевая вспашка	7	<u>0,2–28,4</u> 9,9	<u>0,1–10,8</u> 2,3	<u>0,1–0,4</u> 0,2	<u>0,1–0,4</u> 0,1	<u>0,1–4,3</u> 0,9
Озимые зерновые культуры	6	<u>0,1–19,6</u> 11,1	<u>0,4–7,0</u> 2,3	<u>0,1–0,4</u> 0,2	<u>0,1–0,2</u> 0,1	<u>0,2–0,7</u> 0,3
Многолетние травы	4	<u>0,1–15,7</u> 6,6	<u>0,1–5,8</u> 2,5	<u>0,1–0,3</u> 0,1	<u>0–0,2</u> <0,1	<u>0–1,1</u> 0,5

Зябь является наиболее эрозионноопасной в период снеготаяния. Смыв почвы с полей, незащищенных растительностью, достигал в отдельные годы 36,1 т/га, при среднемноголетнем значении 6,9 т/га. Под озимыми зерновыми культурами он колебался в пределах 1,1–5,2 т/га, а под многолетними травами – не превышал 0,6 т/га (табл. 2).

Таблица 2

Потери гумуса и элементов питания растений с твердым стоком при водной эрозии почвы во время весеннего снеготаяния

Table 2

Loss of humus and plant nutrients with solid runoff with water erosion of the soil during spring snowmelt

Агрофон	Количество наблюдений, лет	Смыв почвы, т/га	Потери с твердым стоком, кг/га			
			гумус	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Зяблевая вспашка	7	<u>0,4–36,1</u> 6,9	<u>1,7–433,1</u> 78,1	<u>0,1–28,4</u> 5,2	<u>0,1–11,9</u> 2,2	<u>0,1–6,7</u> 1,2
Озимые зерновые культуры	6	<u>1,1–5,2</u> 2,2	<u>11,6–62,4</u> 26,3	<u>0,7–3,5</u> 1,5	<u>0,2–1,6</u> 0,6	<u>0,1–1,0</u> 0,3
Многолетние травы	4	<u>0,2–0,6</u> 0,2	<u>2,1–8,9</u> 2,8	<u>0,1–0,4</u> 0,1	<u>0,1–0,3</u> 0,1	<u>0,1–0,9</u> 0,4

Потери гумуса и элементов питания со смываемой почвой существенно зависели от агрофона. По зяблевой вспашке с твердым стоком ежегодно смывалось: гумуса от 1,7 до 433,1 кг/га, азота – от 0,1 до 28,2, фосфора – от 0,1 до 11,9, калия – от 0,1 до 6,7 кг/га. Среднемноголетние значения их составили 78,1, 5,2, 2,2 и 1,2 кг/га соответственно. Под озимыми зерновыми культурами, хорошо защищающими почву от эрозии, среднегодовые потери были в 3–4 раза меньше, чем на зяби – гумуса – 26,3, общего азота – 1,5, подвижного фосфора – 0,6 и подвижного калия – 0,3 кг/га. Возделывание многолетних трав на почвах склонов способствовало еще более заметному снижению эрозионных процессов и уменьшению смыва органического вещества и основных элементов питания растений. Под травами среднемноголетние потери гумуса были в 28 раз, азота – в 52, фосфора – в 22 и калия – в 3 раза меньше, чем на почве, незащищенной растительностью (зябь). Абсолютные величины смыва не превышали: гумуса – 8,9, азота – 0,4, фосфора – 0,3 и калия – 0,9 кг/га.

Данные стока талых вод в зависимости от агротехнического фона показали, что максимальный сток наблюдается на посевах озимых зерновых культур, максимальный смыв почвы – на зяблевой вспашке.

Суммарные среднемноголетние потери гумуса (с жидким и твердым стоком) при весеннем снеготаянии составили на зяби 80,4 кг/га, под озимыми зерновыми культурами – 28,6, под многолетними травами – 5,3 кг/га. Азота, фосфора и калия смывалось на зяби 5,4, 2,3 и 2,1 кг/га соответственно. Озимые зерновые культуры и особенно многолетние травы благодаря корневой системе и надземной массе более надежно предохраняли почву от смыва и выноса элементов питания. На полях, занятых озимыми зерновыми культурами, потери элементов питания сократились примерно в 3,5 раза, а на полях с многолетними травами – в 11 раз и более, за исключением калия, потери которого уменьшились лишь в 2 раза и составили 0,9 кг/га.



Анализ структуры потери гумуса и элементов питания растений с жидким и твердым стоком при снеготаянии показал, что на зяби и под озимыми зерновыми культурами основная масса гумуса (92–97 %), общего азота (88–96 %) и подвижного фосфора (86–96 %) теряется с твердым стоком. Подвижный калий выносится с почвой на 50–57 %. Под многолетними травами структура потерь несколько иная. Так как смыв почвы под ними незначительный (в среднем 0,2 т/га в год), то вынос с ней гумуса составляет 53 %, азота и фосфора – по 50 %. Калий смывается больше с жидким стоком в растворенной форме (56 %).

Интенсивность эрозионных процессов в период стокообразующих дождей зависит от частоты, продолжительности и интенсивности осадков. В летний период эрозионные процессы наиболее интенсивно протекают под пропашными культурами, где смыв почвы достигает 9,6 т/га при среднегодовой величине 7,5 т/га. Яровые зерновые характеризуются более высокой почвозащитной способностью, чем пропашные. Величина потерь почвы под ними колеблется от 0,8 до 6,8 т/га (в среднем 3,2 т/га). На посевах озимых зерновых культур, озимого рапса смыв почвы, как правило, не превышает 0,6 т/га, а под многолетними травами он практически отсутствует.

По нашим наблюдениям, объем жидкого стока за период выпадения дождей по всем изучаемым агрофонам был ниже, чем во время весеннего снеготаяния, и колебался от 0,2 до 10,6 мм. Максимальная его величина отмечалась под пропашными культурами (7,1 мм), минимальная – под многолетними травами (1,5 мм). Яровые и озимые зерновые культуры занимают промежуточное положение (табл. 3).

Таблица 3

**Потери гумуса и элементов питания растений с жидким стоком при водной эрозии почвы в период выпадения стокообразующих дождей**

Table 3

**Losses of humus and plant nutrients with liquid runoff during soil water erosion in period runoff-forming rains**

Сельскохозяйственные культуры	Количество наблюдений, лет	Жидкий сток, мм	Потери с жидким стоком, кг/га			
			гумус	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Пропашные	2	<u>6,8–7,4</u> 6,8	<u>1,7–3,0</u> 2,4	<u>0,1–0,3</u> 0,2	<u>0,1–0,2</u> 0,1	<u>1,0–1,7</u> 1,4
Яровые зерновые	7	<u>0,2–10,6</u> 4,5	<u>0,1–1,6</u> 1,0	<u>0,1–0,3</u> 0,1	<u>0,1–0,2</u> 0,1	<u>0,1–0,7</u> 0,4
Озимые зерновые	6	<u>0,3–4,3</u> 3,1	<u>0,2–4,8</u> 1,8	<u>0,1–0,2</u> 0,1	<u>0,1–0,2</u> 0,1	<u>0,1–0,9</u> 0,6
Многолетние травы	4	<u>0,7–3,8</u> 1,5	<u>0,1–1,4</u> 0,5	<u>0,1–0,2</u> 0,1	<u>0,1–0,2</u> 0,1	<u>0,1–0,2</u> 0,1

Что касается выноса элементов питания, то с жидким стоком больше всего терялось гумуса и калия. В зависимости от возделываемых культур величина потерь гумуса изменялась от 0,5 кг/га под многолетними травами до 2,4 кг/га под пропашными культурами. Среди зерновых культур больше гумуса смывалось под озимыми зерновыми (1,8 кг/га), чем под яровыми зерновыми (1,0 кг/га) культурами. В отношении калия такая же закономерность: наибольшие потери под пропашными культурами, затем под озимыми зерновыми, яровыми зерновыми и наименьшие – под многолетними травами. Потери общего азота и подвижного фосфора под всеми возделываемыми культурами были практически одинаковыми.

Вынос гумуса и макроэлементов с твердым стоком был выше, чем с жидким, особенно под пропашными культурами. Здесь среднегодовые потери гумуса составили 157,2 кг/га, азота – 7,6, фосфора – 3,5 и калия – 1,9 кг/га. Под яровыми культурами в среднем терялось 25,4 кг/га гумуса, хотя в отдельные годы его смывалось до 63,9 кг/га. Общего азота терялось от 0,5 до 4,6 кг/га, фосфора – от 0,3 до 1,9 и калия – от 0,1 до 1,2 кг/га. Потери элементов питания под посевами озимых зерновых культур были незначительными: гумуса – 0,2–11,6 кг/га, азота – 0,1–0,4, фосфора – 0,1–0,2 и калия – до 0,1 кг/га. Под многолетними травами смыв практически отсутствовал.

Таким образом, под пропашными и яровыми зерновыми культурами с твердым стоком теряется 96–98 % гумуса, 96–97 % общего азота и 92–97 % подвижного фосфора от общего количества питательных веществ, выносимых с процессами эрозии в период выпадения стокообразующих дождей. Обменного калия смывалось под пропашными культурами – 58 %, под яровыми зерновыми культурами – 50 %. Под озимыми зерновыми культурами со смывом почвы доля выноса гумуса составляет 68 %, азота и фосфора – по 50, калия – только 14 %, что в 6 раз меньше, чем с жидким стоком. Под многолетними травами: гумуса – 38 % и макроэлементов – по 50 % (табл. 4).

Потери гумуса и элементов питания растений с твердым стоком  
при водной эрозии почвы в период выпадения стокообразующих дождей

Table 4

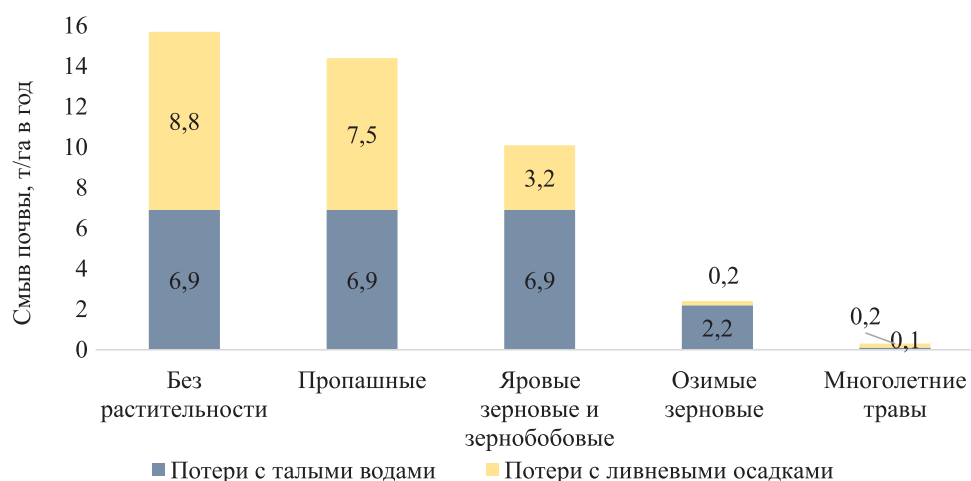
Losses of humus and plant nutrients with solid runoff during soil water erosion in period runoff-forming rains

Сельскохозяйственные культуры	Количество наблюдений, лет	Смыв почвы, т/га	Потери с жидким стоком, кг/га			
			гумус	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Пропашные	2	$\frac{5,5-9,6}{7,5}$	$\frac{51,0-263,4}{157,2}$	$\frac{3,7-11,5}{7,6}$	$\frac{1,1-5,8}{3,5}$	$\frac{0,6-3,1}{1,9}$
Яровые зерновые	7	$\frac{0,8-6,8}{3,2}$	$\frac{7,9-63,9}{25,4}$	$\frac{0,5-4,0}{2,2}$	$\frac{0,3-1,7}{1,2}$	$\frac{0,1-1,2}{0,4}$
Озимые зерновые	6	$\frac{0,1-0,6}{0,2}$	$\frac{0,2-11,6}{3,8}$	$\frac{0,1-0,4}{0,2}$	$\frac{0,1-0,2}{0,1}$	$\frac{0,1-0,2}{0,1}$
Многолетние травы	4	$\frac{0-0,1}{0,03}$	$\frac{0-1,1}{0,3}$	$\frac{0-0,1}{0,1}$	$\frac{0-0,1}{0,1}$	$\frac{0-0,1}{0,1}$

Суммарный смыв гумуса (твердый + жидкий сток) за весь период выпадения стокообразующих дождей под пропашными культурами составил 159,6 кг/га. При возделывании яровых зерновых культур потери его были меньше в 6 раз – 26,4 кг/га. Под озимыми зерновыми культурами и многолетними травами вынос гумуса с ливневыми осадками был незначительным – 5,6 и 0,8 кг/га соответственно.

Суммарные потери элементов питания при выпадении стокообразующих дождей были выше, чем при снеготаянии. На пропашных культурах азота теряется в среднем 7,8 кг/га, фосфора – 3,6 и калия – 3,3 кг/га. При возделывании яровых зерновых потери макроэлементов – в 3–4 раза меньше, а под озимыми зерновыми культурами и многолетними травами они не превышали 1 кг/га.

Многолетние данные показали, что суммарный смыв дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы с незащищенной растительностью поверхности составляет около 16 т/га в год, из них 44 % потерь приходится на талый сток и 56 % – на ливневый. Возделывание пропашных культур незначительно снижает интенсивность эрозионных процессов. Под ними ежегодно в среднем теряется около 14,5 т/га почвы. Под культурами сплошного сева (яровыми и, особенно, озимыми зерновыми) потери почвы уменьшаются более существенно. При возделывании яровых зерновых и зернобобовых культур твердый сток составляет в среднем 10,1 т/га в год, что на 36 % ниже, чем с незащищенной растительностью почвы и на 30 % – чем под пропашными культурами. Следует отметить, что снижение интенсивности эрозии под яровыми зерновыми и зернобобовыми культурами происходит за счет сокращения смыва в период стокообразующих дождей, на который приходится всего около 32 % потерь (см. рисунок).



Суммарный смыв почвы под разными группами сельскохозяйственных культур

Total soil loss under different groups of crops

Ежегодный смыв почвы при возделывании озимых зерновых культур незначительно превышает предельно допустимый (2,0 т/га в год) и составляет 2,4 т/га. Потери почвы (96 %) происходят, в основном, во время снеготаяния. Под многолетними травами твердый сток фактически отсутствует – 0,3 т/га в год.

Оценивая в целом потери гумуса, азота, фосфора и калия с жидким и твердым стоком, можно сделать вывод, что они существенно зависят от использования склоновых земель. При возделывании пропашных, яровых зерновых и зернобобовых культур (с учетом зяби) ежегодно теряется гумуса 240,0 и 106,8 кг/га, общего азота – 13,2 и 7,7, подвижного фосфора – 5,9 и 3,6, обменного калия – 5,4 и 2,9 кг/га соответственно. Поскольку озимые зерновые культуры большую часть года защищают почву от эрозии, а многолетние травы – круглый год, то и смыв элементов питания растений под ними гораздо ниже. Суммарные потери при возделывании озимых зерновых культур ниже в 2–4 раза по сравнению с яровыми зерновыми и зернобобовыми культурами и составляют: гумуса – 34,2 кг/га, азота – 1,9, фосфора – 0,9 и калия – 1,3 кг/га в год. Под многолетними травами потери макроэлементов в пределах 1 кг/га, гумуса – 6,1 кг/га (табл. 5).

Таблица 5

Суммарные потери гумуса и макроэлементов с водной эрозией, кг/га в год

Table 5

Total loss of humus and macronutrients due to water erosion, kg/ha per year

Сельскохозяйственные культуры	Суммарные потери				В том числе							
					с жидким стоком				с твердым стоком			
	гумус	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	гумус	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	гумус	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Пропашные	240,0	13,2	5,9	5,4	4,7	0,4	0,2	2,3	235,3	12,8	5,7	3,1
Яровые зерновые	106,8	7,7	3,6	2,9	3,3	0,3	0,2	1,3	103,5	7,4	3,4	1,6
Озимые зерновые	34,2	1,9	0,9	1,3	4,1	0,3	0,2	0,9	30,1	1,6	0,7	0,4
Многолетние травы	6,1	0,3	0,3	1,1	3,0	0,2	0,1	0,6	3,1	0,1	0,2	0,5

Анализируя суммарный вынос гумуса и макроэлементов с жидким и твердым стоком, установили, что из общего количества выносимых с водной эрозией гумуса, общего азота и подвижного фосфора преобладающая доля их выносятся с твердым стоком. Причем прослеживается четкая зависимость в уменьшении потерь всех элементов питания от возделываемой культуры: наибольшие количественные показатели – под пропашными культурами, наименьшие – под многолетними травами. Вынос питательных веществ с жидким стоком имеет низкие значения: гумус – 3–4,7 кг/га, азот – 0,2–0,4 и фосфор – 0,1–0,2 кг/га. Подвижный калий с мелкоземом в большей степени теряется на пропашных и яровых зерновых культурах (где больший смыв почвы), а под озимыми зерновыми культурами и многолетними травами он преимущественно выносятся с жидким стоком.

На основе результатов многолетнего мониторинга за развитием водно-эрозионных процессов на стационарных стоковых площадках и в полевых условиях на дерново-подзолистых почвах установлены параметры потенциального смыва почвы в зависимости от степени подверженности почв водной эрозии. На почвах слабо подверженных эрозии на склонах 1–3° потенциальный смыв составляет до 5 т/га в год, а на почвах очень сильно подверженных эрозии на склонах > 7° – превышает 20 т/га в год (табл. 6).

Таблица 6

Градации почв разной степени эродированности по потенциальному смыву

Table 6

Gradations of soils with different degrees of erosion according to potential washout

Степень подверженности почвы эрозии	Крутизна склона, в градусах	Потенциальный смыв почвы, т/га в год
Слабая	1–3°	До 5,0
Средняя	3–5°	5,1–10,0
Сильная	5–7°	10,1–20,0
Очень сильная	Более 7°	Более 20,0

С использованием экспериментальных данных рассчитаны потенциально возможные потери почвы под различными группами сельскохозяйственных культур в зависимости от степени подверженности почв водной эрозии (табл. 7).

Таблица 7

Потенциальные потери почвы под разными группами сельскохозяйственных культур

Table 7

Potential soil losses under different groups of crops

Сельскохозяйственные культуры	Степень подверженности почвы водной эрозии	Смыв почвы, т/га в год
Пропашные (картофель, свекла сахарная, столовая и кормовая, кукуруза, овощные)	Слабая	4,5
	Средняя	9,0
	Сильная	18,0
Яровые зерновые и зернобобовые (пшеница, ячмень, тритикале, овес, горох, пелюшка, люпин), яровой рапс	Слабая	3,2
	Средняя	6,5
	Сильная	13,0
Озимые зерновые (рожь, пшеница, тритикале), озимый рапс	Слабая	0,8
	Средняя	1,6
	Сильная	3,2
Однолетние травы (горох-, пелюшко-, вико-овсяные смеси)	Слабая	3,3
	Средняя	6,6
	Сильная	13,2
Многолетние бобовые (клевер, люцерна, галега), бобово-злаковые и злаковые травы	Слабая	0,1
	Средняя	0,2
	Сильная	0,4

Под пропашными культурами широкорядного посева (картофель, свекла сахарная, столовая и кормовая, кукуруза, овощные культуры) потенциальный годовой смыв почвы колеблется от 4,5 т/га на почвах слабо подверженных водной эрозии до 18,0 т/га – на почвах сильно подверженных водной эрозии. Под яровыми зерновыми и зернобобовыми культурами (пшеница, ячмень, тритикале, овес, горох, пелюшка, люпин) и яровым рапсом потенциальный смыв почвы изменяется от 3,2 до 13 т/га в год, под озимыми зерновыми (рожь, пшеница, тритикале) и озимым рапсом – от 0,8 до 3,3 т/га в год. При возделывании многолетних бобовых (клевер, люцерна, галега), бобово-злаковых и злаковых трав смыв почвы практически отсутствует.

С учетом потенциально возможной величины водной эрозии почв и среднего содержания органического вещества (гумуса) и элементов минерального питания (азота, фосфора, калия) в пахотном 20-сантиметровом слое слабо-, средне- и сильноэродированных почв определены количественные параметры потерь их на почвах в разной степени подверженных водно-эрозионным процессам под различными группами сельскохозяйственных культур (табл. 8).

При возделывании пропашных культур потери гумуса с водной эрозией могут составлять от 100 кг/га в год на слабоэродированных почвах до 240 кг/га в год – на сильноэродированных почвах. Под яровыми зерновыми и зернобобовыми культурами потери колеблются от 80 до 170 кг/га в год, под озимыми зерновыми – от 25 до 45, а под многолетними травами – от 5 до 10 кг/га в год.

Количественные параметры потерь азота с водной эрозией колеблются на пропашных культурах от 12,5 до 46,0 кг/га, на яровых зерновых, зернобобовых культурах и однолетних травах – от 5,0 до 17,0, на озимых зерновых культурах – от 1,5 до 5,0 кг/га в год. Значения потерь подвижных соединений фосфора и калия составляют соответственно 4,5–10,5 и 7,5–20,0 кг/га в год на пропашных культурах, 3,5–8,0 и 5,5–15,0 – на яровых зерновых и зернобобовых культурах, 1,5–3,0 и 3,5–7,0 кг/га – на озимых зерновых культурах. Потери элементов минерального питания под многолетними травами не превышают 1,0–1,5 кг/га в год.

Количественные параметры потерь гумуса, азота, фосфора и калия с водной эрозией почв приняты в качестве нормативов при расчетах баланса (прихода и расхода) органического вещества и элементов питания в почвах пахотных и луговых земель, а также для оценки экологического и экономического ущерба, причиняемого эрозией почв.



**Нормативные потери гумуса и элементов питания на почвах разной степени эродированности под различными группами сельскохозяйственных культур**

Table 8

**Losses of humus and nutrients under different groups crops**

Сельскохозяйственные культуры	Эродированность почвы	Потери, кг/га в год			
		гумус	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Пропашные (картофель, свекла сахарная, столовая и кормовая, кукуруза, овощные)	Слабая	100	12,5	4,5	7,5
	Средняя	170	23,0	7,5	15,0
	Сильная	240	46,0	10,5	20,0
Яровые зерновые и зернобобовые (пшеница, ячмень, тритикале, овес, горох, пелюшка, люпин), яровой рапс	Слабая	80	5,0	3,5	5,5
	Средняя	125	8,5	5,5	10,0
	Сильная	170	17,0	8,0	15,0
Озимые зерновые (рожь, пшеница, тритикале), озимый рапс	Слабая	25	1,5	1,5	3,5
	Средняя	35	4,0	2,0	5,0
	Сильная	45	5,0	3,0	7,0
Однолетние травы (горох-, пелюшко-, вико-овсяные смеси)	Слабая	85	5,0	3,5	5,5
	Средняя	130	8,5	5,5	10,0
	Сильная	175	17,0	8,0	15,0
Многолетние бобовые (клевер, люцерна, галега), бобово-злаковые и злаковые травы	Слабая	5,0	0,6	0,2	0,3
	Средняя	8,0	1,0	0,3	0,4
	Сильная	10,0	1,5	0,5	0,6

**Заключение**

Многолетние данные стока талых вод показали, что максимальный сток наблюдался на посевах озимых зерновых, максимальный смыв почвы – по зяблевой вспашке. Гумус, азот, фосфор и калий теряются в основном с твердым стоком. Суммарные потери при водной эрозии почв в период весеннего снеготаяния гумуса, азота, фосфора и калия составляют на зяблевой вспашке 80,4, 5,4, 2,3 и 2,1 кг/га в год соответственно, на озимых зерновых культурах – 28,6, 1,7, 0,7 и 0,6 кг/га в год, под многолетними травами – 5,3, 0,2, 0,2 и 0,9 кг/га в год.

Многолетние данные стока дождевых вод в зависимости от возделываемых культур показали, что максимальный сток и смыв наблюдался под пропашными культурами, минимальный – под многолетними травами. Основные потери гумуса, азота и фосфора под пропашными и яровыми зерновыми культурами отмечаются с твердым стоком. Под многолетними травами гумус больше смывается с жидким, а азот и фосфор – в равных количествах с жидким и твердым стоком. Калий больше выносится с почвой на пропашных культурах, на озимых зерновых культурах – с жидким стоком. На яровых зерновых культурах и многолетних травах его потери с жидким и твердым стоком одинаковые.

В целом при возделывании пропашных культур потери гумуса с водной эрозией могут составлять 240 кг/га в год, под яровыми зерновыми и зернобобовыми культурами – 8–170, под озимыми зерновыми – 25–45 кг/га в год, а под многолетними травами не более 10 кг/га. Общие потери азота с водной эрозией колеблются от 12,5–46,0 кг/га под пропашными культурами до 1,5–5,0 кг/га под озимыми зерновыми культурами. Потери подвижных форм фосфора и калия составляют 4,5–20,0 кг/га в год на пропашных культурах, 3,5–15,0 – на яровых зерновых и зернобобовых культурах, 1,5–7,0 – на озимых зерновых культурах и менее 2 кг/га в год на многолетних травах.

Количественные параметры потерь гумуса, азота, фосфора и калия с водной эрозией почв приняты в качестве нормативов при расчетах баланса (прихода и расхода) органического вещества и элементов питания в почвах пахотных и луговых земель, оценке экологического и экономического ущерба, причиняемого эрозией почв.

## Библиографические ссылки

1. Лапа ВВ и др. *Почвы Республики Беларусь*. Минск: ИВЦ Минфина; 2019. 632 с.
2. Литвин ЛФ. *География эрозии почв сельскохозяйственных земель России*. Москва: Академкнига; 2002. 255 с.
3. *Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирование систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. В: Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий. Том 1. Коллективная монография*. Москва: Почв. Институт им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии; 2013. 756 с.
4. Черныш АФ и др. Деградация почв сельскохозяйственных земель Беларуси: виды и количественная оценка. *Почвоведение и агрохимия*. 2016;2(57):7–18.
5. *Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почвы при изучении водной эрозии*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1975. 88 с.
6. *Принципы организации и методы стационарного изучения почв*. Москва: Наука; 1976. 415 с.
7. *Руководство по химическому анализу вод суши*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1973. 270 с.

## References

1. Lapa VV, et al. *Pochvy Respubliki Belarus* [Soils of the Republic of Belarus]. Minsk: Information Center of the Ministry of Finance; 2019. 632 p. Russian.
2. Litvin LF. *Geografiya erozii pochv sel'skokhozyaystvennykh zemel Rossii* [Geography of soil erosion of agricultural lands in Russia]. Moscow: Akademkniga; 2002. 255 p. Russian.
3. *Nauchnyye osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaystvennykh ugodiy Rossii i formirovaniye sistem vosproizvodstva ikh plodorodiya v adaptivno-landshaftnom zemledelii. V: Teoreticheskiye i metodicheskiye osnovy predotvrashcheniya degradatsii pochv (zemel') sel'skokhozyaystvennykh ugodiy. Tom 1. Kollektivnaya monografiya*. [Scientific foundations for preventing degradation of soils (lands) of agricultural lands in Russia and the formation of systems for the reproduction of their fertility in adaptive landscape agriculture. In: Theoretical and methodological foundations for preventing degradation of soils (lands) of agricultural lands. Volume 1. Collective monograph]. Moscow: Soil. Institute named V. V. Dokuchaev of the Russian Agricultural Academy; 2013. 756 p. Russian.
4. Chernysh AF, et al. Soil degradation of agricultural lands in Belarus: types and quantitative assessment. *Pochvovedeniye i agrokhimiya* [Soil science and agrochemistry]. 2016;2(57):7–18. Russian.
5. *Metodicheskiye rekomendatsii po uchetu poverkhnostnogo stoka i smyva pochvy pri izuchenii vodnoy erozii* [Guidelines for accounting for surface runoff and soil runoff in the study of water erosion]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1975. 88 p. Russian.
6. *Printsipy organizatsii i metody statsionarnogo izucheniya pochv* [Principles of organization and methods of stationary study of soils]. Moscow: Science; 1976. 415 p. Russian.
7. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu vod sushi* [Guidance on the chemical analysis of land waters]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1973. 270 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 11.02.2022.  
Received by editorial board 11.02.2022.