



Научная статья

УДК 631.459:631.421:631.416:631

doi: 10.55186/25876740_2023_66_5_502

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В ПОЧВЕ КЛЮЧЕВЫХ УЧАСТКОВ АГРОЛЕСОЛАНДШАФТНОГО КОМПЛЕКСА

Ю.П. Сухановский, А.В. Прущик, С.А. Тарасов,
В.А. Вытовтов, А.С. Архипов

Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия

Аннотация. В статье показана сравнительная оценка содержания общего гумуса в почве двух водосборов в многолетнем полевом стационарном опыте по контурно-мелиоративному земледелию (Курская область). Почва представлена черноземом типичным малогумусным тяжелосуглинистым среднемошным (неэродированный и слабоэродированный). На одном водосборе размещен агролесоландшафтный комплекс. Другой водосбор контрольный (без этого комплекса). Использован метод ключевых участков. На каждом водосборе выбран склон, на котором определены два ключевых участка: один сверху склона (почва неэродированная), другой — внизу склона (почва слабоэродированная). На участке в 4-кратной повторности отобраны образцы почвы для измерения содержания гумуса в слое 0-20 и 0-50 см. Для участка и слоя почвы получена выборка измеренных значений. Для выборок проведен статистический анализ, включая оценку достоверности разности средних значений для разных ключевых участков. Измеренные значения гумуса характеризуют состояние почвы через интервал времени после распахки целины. Установлено: 1. На контрольном водосборе в слое почвы 0-20 см разность содержания гумуса в неэродированной и слабоэродированной почве достоверная (она в пределах погрешностей); 2. На этом же водосборе для слоя почвы 0-50 см содержание гумуса в эродированной почве достоверно больше на 5,7%. 3. На водосборе с комплексом мероприятий для обоих слоев почвы разности содержания гумуса недостоверные. Вывод: после распахки целины эрозия на участках со слабоэродированной почвой водосбора с агролесоландшафтным комплексом не повлияла на содержание гумуса.

Ключевые слова: водосбор, лесная полоса, эрозия почвы, содержание гумуса, измерения, достоверность, агролесоландшафтный комплекс

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания ФБГНУ «Курский ФАНЦ» по теме № FGZU-2022-0002.

Original article

ASSESSMENT OF THE HUMUS CONTENT IN KEY PLOTS SOIL OF THE AGROFOREST LANDSCAPE COMPLEX

Yu.P. Sukhanovskii, A.V. Prushchik, S.A. Tarasov,
V.A. Vyotvtov, A.S. Arkhipov

Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russia

Abstract. The article shows the comparative assessment of the total humus content in the soil of two catchments in a long-term stationary field experiment on contour-reclamation agriculture (Kursk region). The soil is a typical low-humus, heavy-loamy medium-sized chernozem (non-eroded and slightly eroded). An agroforestry landscape complex was located on one catchment area. The other catchment is a control one (without this complex). The method of key plots was used. A slope was selected at each catchment, on which two key plots are selected: one at the top of the slope (the soil is not eroded), the other at the bottom of the slope (the soil is slightly eroded). Soil plots were taken at the site in 4-fold repetition to measure the humus content in a layer of 0-20 and 0-50 cm. A sample of measured values was obtained for the plot and the soil layer. Statistical analysis was carried out for the samples, including an assessment of the reliability of the difference in average values for different key plots. The measured values of humus characterize the state of the soil after a time interval after plowing the virgin land. Installed: 1. At the control catchment in the soil layer of 0-20 cm, the difference in the humus content in the non-eroded and slightly eroded soil is unreliable (it is within the margin of error); 2. In the same catchment area for the 0-50 cm soil layer, the humus content in the slightly eroded soil is significantly higher by 5.7%. 3. In a catchment area with a set of measures for both soil layers, the humus content differences are unreliable. Conclusion: after plowing the virgin soil, erosion in plots with slightly eroded soil of the catchment area with agroforestry landscape complex did not affect the humus content.

Keywords: watershed, shelter-belt forest, soil erosion, humus content, measurements, reliability, agroforestry landscape complex

Acknowledgments: the research was carried out within the framework of the State tasks of FSBSI «Federal Agricultural Kursk Research Center» on topic No. FGZU-2022-0002.

Введение. Для обрабатываемых почв скорость эрозии превышает скорость почвообразования [1]. Это означает, что после распахки целины происходило и происходит сокращение почвенных ресурсов (уменьшение количества почвы и ухудшение ее качества). Прогнозы для эродированных черноземных почв Центрального Черноземья [2] показали, что эти почвы практически невозможно восстановить. Для разработки стратегии рационального использования оставшихся эродированных почв необходимо проводить долгосрочные полевые эксперименты, ориентированные на исследования эрозийных процессов и на динамику их последствий. К последствиям относят изменение показателей свойств почвы и производимой растениеводческой продукции, а также заиление и загрязнение водных объектов [3, 4]. Среди показателей свойств почвы особо выделяют содержание

в почве органического углерода (используемого для расчета содержания гумуса). Распространены полевые эксперименты, ориентированные на исследования динамики показателей свойств неэродированных и эродированных почв [5-9]. Чаще всего такие исследования проводят на делянках или стоковых площадках. Для исследований на водосборах с большой площадью необходимы большие затраты и специальные методы. Один из таких методов (метод ключевых участков) был предложен и использован [10] для измерения на участках плотности, влажности и впитывающей способности почвы, а также мощности гумусового горизонта и урожайности гречихи. Метод включает планирование измерений, статистический анализ результатов измерений и оценку их достоверности.

Цель исследования — сравнительная оценка содержания гумуса в неэродированной

и слабоэродированной почве на ключевых участках агролесоландшафтного комплекса.

Условия и методика исследований. Объект — чернозем типичный малогумусный тяжелосуглинистый среднемошным неэродированный и слабоэродированный, расположенный на плакорной части и внизу склона в агролесоландшафтном комплексе.

Исследования проведены в многолетнем полевом стационарном эксперименте по контурно-мелиоративному земледелию ФБГНУ «Курский ФАНЦ» (Курская область) в 2021-2022 гг. Опыт заложен в 1982 г., использован укороченный зерновой севооборот: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) — гречиха (*Fagopyrum esculentum*) — яровой ячмень (*Hordeum distichon* L.) — гречиха (*Fagopyrum esculentum*). До 2007 г. основной обработкой почвы была вспашка (на глубину 20-22 см), а затем перешли



на поверхностную обработку (дискатором на глубину 10-12 см).

Методы исследования. Для оценки последствий эрозии, в частности оценки динамики состояния почвы в долгосрочных полевых экспериментах (на большой площади), необходимо сравнивать измененную динамику в эродированной почве с динамикой в неэродированной почве. Разность этих динамик оценивает динамику последствий эрозии почвы. Измерение содержания гумуса в почве имеет следующие особенности:

1. Практически невозможно на большой площади провести необходимое количество измерений. Можно выбирать ключевые участки почвы с малой площадью, расположенные там, где имеется наибольший интерес для оценки динамики состояния почвы. Измерения можно проводить на этих участках.

2. Измерение содержания гумуса в почве является косвенным измерением (МИ 2083-90), так как его рассчитывают по формулам из содержания органического углерода.

3. Это измерение однократное: при измерении образец почвы разрушается (для одного образца невозможно проводить многократные измерения).

4. Почву после измерения не возвращают обратно в точку отбора образца в ее прежнем состоянии. Это исключает возможность измерять динамику содержания гумуса в одной и той же точке отбора.

5. Содержание гумуса варьирует по объему почвы на участке. Для учета этого варьирования образцы почвы отбирают в разных точках участка. Для такого отбора необходимо выполнение следующего условия: разные выборки измеренных значений гумуса с одинаковым объемом должны быть равноценными. Это условие выполняется, если выборку описывает распределение вероятности для независимых случайных величин (например, усеченное нормальное распределение).

Учитывая указанные особенности, ранее был предложен метод, который можно назвать методом ключевых участков [10]. Суть применения этого метода для измерения содержания гумуса в почве свелась к следующему. В многолетнем полевом стационарном опыте по контурно-мелиоративному земледелию исследования проведены на двух водосборах: первый — с агролесоландшафтным комплексом, представленным тремя водорегулирующими лесными полосами, которые усилены валом и канавой (площадь 38 га); второй — контрольный (без этого противоэрозионного комплекса, его площадь 40 га). В соответствии с указанным методом [10] на каждом из двух водосборов был выделен один склон.

На водосборе с лесными полосами выбран склон западной экспозиции длиной 1100 м, средний угол наклона 2,5°. На контрольном водосборе — склон западной экспозиции длиной 750 м, средний угол наклона 2,8°.

На каждом склоне выделены два ключевых участка: один вверху склона (почва неэродированная), второй — внизу склона (почва слабоэродированная) (табл. 1).

Все участки одинаковые в форме квадрата с площадью 100 м². Квадрат разделен на 4 одинаковые квадратные ячейки с площадью 25 м². В каждой ячейке (в окрестности ее центра) был отобран образец почвы для измерения содержания гумуса по методу И.В. Тюрина

Таблица 1. Описание выборок на ключевых участках и групп сравниваемых выборок
Table 1. Description of samples at key plots and groups of compared samples

группы	№ выборки	Размещение ключевого участка		Слой почвы, см	
		Водосбор	На склоне		
1	1	Контрольный	верх	0-20	
	2		низ	0-20	
2	3		верх	0-50	
	4		низ	0-50	
3	5		С агролесоландшафтным комплексом	верх	0-20
	6			низ	0-20
4	7			верх	0-50
	8			низ	0-50
5	1	Контрольный		верх	0-20
	3			верх	0-50
6	2	Контрольный		низ	0-20
	4			низ	0-50
7	3	Контрольный	верх	0-50	
	7	С лесными полосами	верх	0-50	
8	4	Контрольный	низ	0-50	
	8	С лесными полосами	низ	0-50	

(ГОСТ 26213-2021) в слоях 0-20 и 0-50 см. В результате для каждого ключевого участка и слоя почвы была получена выборка измеренных значений:

$$\{x_i\}, i = 1, 2, \dots, n, (1)$$

где x_i — измеренное значение содержания гумуса в i -й ячейке (точке); $n = 4$ — количество измерений (объем выборки).

Для анализа выборки (1) использован метод приведения к многократным прямым измерениям (МИ 2083-90). Для таких измерений выборку (1) должно описывать нормальное распределение вероятности, а результат должен быть представлен границами интервала погрешности (ГОСТ Р 8.736-2011):

$$\bar{x} \pm \Delta, P, (2)$$

где \bar{x} — измеренное значение (среднее арифметическое, рассчитанное по выборке (1)); Δ — его абсолютная погрешность; P — вероятность, соответствующая интервалу погрешности. Абсолютная погрешность:

$$\Delta = t_p \cdot S_{\bar{x}}, S_{\bar{x}} = S/\sqrt{n}, (3)$$

где t_p — коэффициент Стьюдента; $S_{\bar{x}}$ — выборочное стандартное отклонение для среднего значения \bar{x} ; S — выборочное стандартное отклонение; n — объем выборки.

Значение \bar{x} достоверное, если оно за пределами погрешности ($\bar{x} > \Delta$). В противоположном случае оно недостоверное (оно в пределах погрешности). Разность двух измеренных значений достоверная, если она за пределами погрешностей, то есть:

$$|\bar{x}_2 - \bar{x}_1| > (\Delta_{x_2} + \Delta_{x_1}), (4)$$

где прямые скобки определяют абсолютное значение в скобках; «1» соответствует первому значению, а «2» — второму. В противоположном случае разность недостоверная (она в пределах погрешностей). Относительное различие (в %) рассчитано по формуле:

$$\varepsilon = 100(\bar{x}_2 - \bar{x}_1)/x_1. (5)$$

Объемы всех выборок были одинаковые ($n=4$). В таком случае неравенство (4) (с учетом (3)) можно записать в следующем виде:

$$n > n_{\text{дос}} = t_p^2 (S_1 + S_2) / |\bar{x}_1 - \bar{x}_2|^2. (6)$$

При объеме выборки $n > n_{\text{дос}}$ разность достоверная (в противоположном случае она недостоверная).

В документах стандартизации для интервала погрешности часто рекомендуют вероятность $P=0,95$. Для принятия другого значения необходимо обоснование (МИ 2083-90).

Как и в работе [10], для абсолютной погрешности (3) рассмотрены два варианта. Первый вариант: она равняется стандартному отклонению для среднего значения ($\Delta=1 \cdot S_{\bar{x}}$). При $n=4$ и при значении коэффициента Стьюдента $t_p=1$ интервал погрешности соответствует вероятности $P=0,61$ [11]. Второй вариант: интервал абсолютной погрешности соответствует вероятности $P=0,95$. В этом случае при $n=4$ значение коэффициента Стьюдента $t_p=3,182$ [11]. Из (6) следует, что для второго варианта для обеспечения достоверной разности средних значений необходимо обеспечить объем выборки больше в $3,182^2=10$ раз. Для нормального распределения вероятности использована функция:

$$N(x, \bar{x}, S). (7)$$

Она определяет вероятность, с которой случайная величина может принять значение меньше значения x в интервале $(-\infty, +\infty)$. Значения содержания гумуса могут быть только в интервале $(0, +\infty)$. Такое распределение называют усеченным нормальным распределением. Чтобы для приближенных расчетов можно было использовать функцию $N(x, \bar{x}, S)$ и ее свойства, необходимо выполнить два условия.

Первое — выборку измеренных значений (1) должно описывать усеченное нормальное распределение. Для проверки этой гипотезы использован критерий Колмогорова-Смирнова [11] при уровне значимости 0,05.

Второе — усеченное распределение должно быть достаточно близко к не усеченному распределению. Эту близость определяет выполнение неравенства:

$$P(x < 0) = N(0, \bar{x}, S) << \alpha/2, (8)$$

где $P(x < 0)$ — вероятность, что значение случайной величины будет меньше 0; $\alpha=1-P$. Для $P=0,61$ в (8) $\alpha/2=0,2$; для $P=0,95$ $\alpha/2=0,025$.

Результаты и обсуждение. Статистические характеристики выборок измеренных значений содержания гумуса в почве и оценка



достоверности разности средних значений представлены в таблице 2.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что для обоих вариантов абсолютной погрешности все средние значения достоверные ($\bar{x} > \Delta$).

Для критерия Колмогорова-Смирнова D при объеме выборки $n=4$ и при уровне значимости 0,05 критическое значение $D_{кр}=0,624$ [11]. В проведенных нами исследованиях для всех выборок рассчитанные значения $D < D_{кр}$. Это означает, что гипотезу об усеченном нормальном распределении можно принять для всех выборок.

В таблице 2 представлены рассчитанные значения $P(x < 0)$, наибольшее значение равняется $1 \cdot 10^{-29}$. Для обоих вариантов абсолютной погрешности оно удовлетворяет условию (8).

Таким образом, для приближенных расчетов все выборки удовлетворяют условиям применения функции $N(x, \bar{x}, S)$ и ее свойств. В таблице 2 значения $n_{доc}$ (6) рассчитаны для $t_p=1$ ($P=0,61$). Для этого случая разность средних значений (4) достоверная, если объем выборки $n=4 > n_{доc}$. Для варианта с $t_p=3,182$ ($P=0,95$) значения $n_{доc}$ нужно умножить на 10. Из данных таблицы 2 следует, что при $P=0,61$ из 8 групп (разностей) 4 разности достоверные и 4 недостоверные. Для достоверных разностей приведены значения ϵ , рассчитанные по (5). При $P=0,95$ все разности недостоверные. Из (6) следует: чтобы при $P=0,95$ обеспечить примерно такое же количество достоверных разностей, как при $P=0,61$, необходимо объем выборки увеличить в 10 раз.

Это означает, что ключевой участок нужно разбивать на 40 ячеек. Практически невозможно одновременно провести измерения для большого количества показателей свойств почвы. С другой стороны, после отбора образцов почвы ключевой участок может быть непригодным для его дальнейшего использования. Поэтому для интервала погрешности в (2) лучше использовать вероятность $P=0,61$.

Для первых четырех групп (табл. 1) на рисунке представлено сравнение средних значений содержания гумуса на незеродированной почве (верх склона) и слабоэродированной (низ склона).

Для контрольного водосбора (группы 1 и 2) в слое почвы 0-20 см разность содержания гумуса сверху и внизу склона недостоверная (она в пределах погрешностей). Для слоя почвы 0-50 см содержание гумуса внизу склона достоверно больше на 5,7%, чем сверху склона.

Для водосбора с агролесоландшафтным комплексом (группы 3 и 4) эти разности все недостоверные.

По данным [12], в Центральной Черноземье на обрабатываемой почве содержание гумуса в незеродированной черноземной почве уменьшилось примерно на 50% по сравнению с целиной. Это намного больше разности 5,7%. Следовательно, на обоих водосборах на ключевых участках внизу склона со слабоэродированной почвой эрозия практически не повлияла на содержание гумуса после распашки целины. Основной причиной уменьшения содержания гумуса было уменьшение поступления в почву растительных остатков.

На этом ключевом участке контрольного водосбора мощность гумусового горизонта $58,8 \pm 1,5$ см, она меньше на 30%, чем наверху склона [10]. Для ключевого участка водосбора с агролесоландшафтным комплексом мощность гумусового горизонта внизу $60,1 \pm 3,5$. В обоих случаях $\pm \Delta = S_x$ (формула (3)).

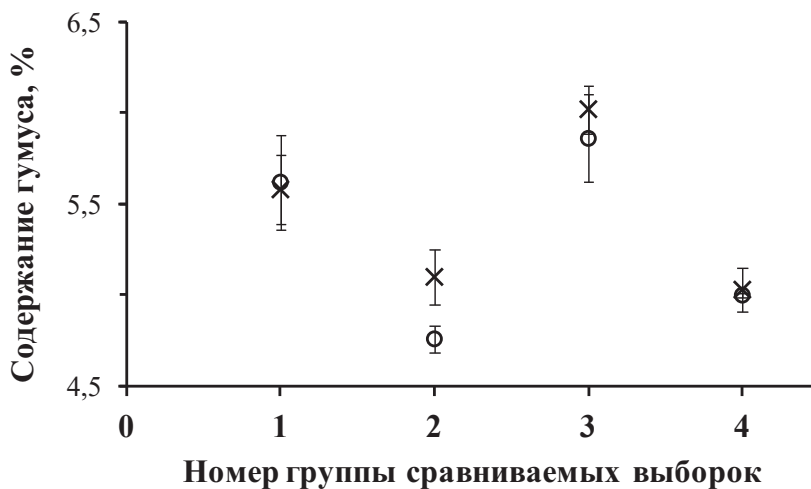
Для других групп из данных таблицы 2 следует: 1. Наверху склона контрольного водосбора в слое почвы 0-50 см содержание гумуса достоверно меньше на 15%, чем в слое 0-20 см (группа 5). Внизу склона (группа 6) меньше на 8,6%; 2. В слое почвы 0-50 см наверху склона с агролесоландшафтным комплексом содержание гумуса достоверно больше на 5,0%, чем на контрольном водосборе (группа 7). Внизу склона (группа 8) разность недостоверная.

Область применения результатов. При планировании рассматриваемого многолетнего полевого стационарного опыта не было метода ключевых участков (или аналогичных ему методов). По этой причине неизвестно (и не будет известно) начальное состояние почвы на конкретных участках. Как следствие, это исключает возможность на этих участках оценивать изменение состояния почвы за время проведения эксперимента (в частности, изменение содержания гумуса в почве). Метод ключевых участков необходимо использовать при планировании и проведении аналогичных экспериментов, а также для оценки достоверности полученных результатов измерения. В методе ключевых участков нет ограничения на его применение только для оценки последствий эрозии почвы. Его можно применять, например, для оценки последствий разрабатываемых новых технологий производства растениеводческой продукции.

Таблица 2. Статистические характеристики выборок измеренных значений содержания гумуса в почве и оценка достоверности разностей
Table 2. Statistical characteristics of samples of measured values of humus content in the soil and assessment of the reliability of differences

группы	№ выборки	\bar{x} ,	S ,	D	$P(x < 0)$	$n_{доc}$ ($P=0,61$)	Разность, да/нет	ϵ , %
		%	%					
1	1	5,62	0,5	0,272	$1 \cdot 10^{-29}$	506	нет	
	2	5,58	0,4	0,258	$2 \cdot 10^{-44}$			
2	3	4,76	0,14	0,243	$1 \cdot 10^{-253}$	1	да	5,7
	4	5,10	0,30	0,210	$4 \cdot 10^{-65}$			
3	5	5,86	0,5	0,25	$5 \cdot 10^{-32}$	23	нет	
	6	6,02	0,27	0,279	$2 \cdot 10^{-110}$			
4	7	5,000	0,022	0,214	0	70	нет	
	8	5,03	0,23	0,252	$3 \cdot 10^{-106}$			
5	1	5,62	0,5	0,272	$1 \cdot 10^{-29}$	0,55	да	-15
	3	4,76	0,14	0,243	$1 \cdot 10^{-253}$			
6	2	5,58	0,4	0,258	$2 \cdot 10^{-44}$	2	да	-8,6
	4	5,10	0,30	0,210	$4 \cdot 10^{-65}$			
7	3	4,76	0,14	0,243	$1 \cdot 10^{-253}$	0,45	да	5,0
	7	5,000	0,022	0,214	0			
8	4	5,10	0,30	0,210	$4 \cdot 10^{-65}$	57	нет	
	8	5,03	0,23	0,252	$3 \cdot 10^{-106}$			

Примечание: D — критерий Колмогорова-Смирнова [11]. Значения $P(x < 0)$ рассчитаны по формуле (8); $n_{доc}$ рассчитано по формуле (6) при $t_p=1$; в столбце «Разность» значение «да» означает, что разность (4) достоверная, а значение «нет» — недостоверная; ϵ — относительное различие для достоверных разностей, рассчитанное по (5).



Примечание: o — верх склона; x — низ склона; вертикальные отрезки определяют интервалы абсолютной погрешности ($\Delta = 1 \cdot S_x$); группа 1 — контрольный водосбор, слой почвы 0-20 см; группа 2 — контрольный водосбор, слой почвы 0-50 см; группа 3 — водосбор с лесными полосами, слой почвы 0-20 см; группа 4 — водосбор с лесными полосами, слой почвы 0-50 см.

Рисунок. Сравнение содержания гумуса на незеродированной и слабоэродированной почве на склонах двух водосборов
Figure. Comparison of humus content on non-eroded and slightly eroded soil on the slopes of two catchments



Выводы.

1. Разработанный ранее метод ключевых участков обеспечил оценку достоверности результатов измерения содержания гумуса в почве на ключевых участках исследуемого объекта.
2. За очень большой период времени (после распахки целины) эрозия на участках внизу склонов практически не повлияла на содержание гумуса в почве. На этих ключевых участках почва была слабоэродированной.
3. При планировании аналогичных полевых экспериментов предпочтительнее выбирать объекты, на которых будут участки почвы с большей степенью эродированности.
4. Для интервала погрешности среднего значения лучше принимать вероятность $P=0,61$. Это обеспечивает увеличение количества достоверных разностей при сравнении средних значений для разных ключевых участков.

Список источников

1. Rome, Italy (2015). *Status of the world's soil resources (SWSR) — main report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, 650 p. (electronic journal). Available at: <http://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf> (accessed: 21.02.2023).
2. Сухановский Ю.П., Прущик А.В., Санжарова С.И. и др. Оценка трендов эродированных черноземов пахотных земель Центрального Черноземья // *Земледелие*. 2015. № 6. С. 19-22.
3. Rodriguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., Pennock, D. (2018). *Soil pollution: a hidden reality*. Rome, Italy, 142 p. Available at: <http://www.fao.org/3/i9183EN/i9183en.pdf> (accessed: 13.02.2023).
4. Кондратьев С.А., Шмакова М.В. Математическое моделирование массопереноса в системе водосбор — водоток — водоем. СПб.: Нестор-История, 2019. 248 с.
5. Полуэктов Е.В. Эрозия почв и плодородие: монография. Новочеркасск: Лик, 2020. 229 с.
6. Глазунов Г.П., Афонченко Н.В., Золотухин А.Н. Пространственная неоднородность показателей плодородия черноземных почв в склоновых агроландшафтах ЦЧР // *Земледелие*. 2021. № 7. С. 3-9. doi: 10.24412/0044-3913-2021-7-3-9
7. Гаевая Э.А. Способы сохранения плодородия почвы на эродированных склонах Ростовской области // *Живые и биокосные системы*. 2019. № 28. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-28/article-5> (дата обращения: 25.02.2023).

8. Степанова Л.П., Петелько А.И., Наконечный А.Г. и др. Агроэкологическая оценка эффективности различных систем удобрения и контурных лесозащитных полос при воспроизводстве плодородия склоновых почв // *Плодородие*. 2020. № 1 (112). С. 49-54. doi: 10.25680/S19948603.2020.112.14
9. Ivonin, V.M., Voskoboinikova, I.V., Matvienko, E.Yu. (2018). Theoretical concept of adaptive forest land reclamation of agricultural landscapes. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 9, no. 13, pp. 95-103.
10. Сухановский Ю.П., Прущик А.В., Вытовтов В.А. и др. Совершенствование методологии оценки последствий эрозии почвы в полевых экспериментах // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 8. С. 44-48. doi: 10.53859/02352451_2022_36_8_44
11. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. М.: Мир, 1982. 488 с.
12. Глазунов Г.П., Кузнецов А.В. Влияние различной степени агрогенных нагрузок на содержание и запасы гумуса в черноземе типичном // *Агротехнологические процессы в рамках импортозамещения: материалы Международной научно-практической конференции*. Мичуринск, 25-27 октября 2016 г. Мичуринск, 2016. С. 38-41.

References

1. Rome, Italy (2015). *Status of the world's soil resources (SWSR) — main report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, 650 p. (electronic journal). Available at: <http://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf> (accessed: 21.02.2023).
2. Sukhanovskii, Yu.P., Prushchik, A.V., Sanzharova, S.I. i dr. (2015). Otsenka trendov ehpodipyemykh chepnozemykh paxotnykh zemel' Tsentral'nogo Chepnozemya [Assessment of trends of eroded chernozems of arable lands of the Central Chernozem region]. *Zemledelie*, no. 6, pp. 19-22.
3. Rodriguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., Pennock, D. (2018). *Soil pollution: a hidden reality*. Rome, Italy, 142 p. Available at: <http://www.fao.org/3/i9183EN/i9183en.pdf> (accessed: 13.02.2023).
4. Kondrat'ev, S.A., Shmakova, M.V. (2019). *Matematicheskoe modelirovanie massopere-nosa v sisteme vodosbor — vodotok — vodoem* [Mathematical modeling of mass transfer in the catchment — watercourse — reservoir system]. Saint-Petersburg, Nestor-Istoriya Publ., 248 p.
5. Poluehktov, E.V. (2020). *Ehroziya pochv i plodorodie: monografiya* [Soil erosion and fertility: monograph]. Novocherkassk, Lik Publ., 229 p.

6. Glazunov, G.P., Afonchenko, N.V., Zolotukhin, A.N. (2021). Prostranstvennaya neodnorodnost' pokazatelei plodorodiya chernozemnykh pochv v sklonovykh agrolandshaftakh TSCHR [Spatial heterogeneity of fertility of chernozem soils in the slope agricultural landscapes of the Central Chernozem region]. *Zemledelie*, no. 7, pp. 3-9. doi: 10.24412/0044-3913-2021-7-3-9
7. Gaevaya, E.A. (2019). Sposoby sokhraneniya plodorodiya pochvy na ehrodivovannykh sklonakh Rostovskoi oblasti [Methods of soil fertility preservation on eroded slopes of Rostov region]. *Zhivye i biokosnye sistemy* [Live and bio-abiotic systems], no. 28. Available at: <http://www.jbks.ru/archive/issue-28/article-5> (accessed: 25.02.2023).
8. Stepanova, L.P., Petel'ko, A.I., Nakonechniy, A.G. i dr. (2020). Agroehkologicheskaya otsenka ehffektivnosti razlichnykh sistem udobreniya i konturnykh lesozashchitnykh polos pri vosproizvodstve plodorodiya sklonovykh pochv [Agro-environmental efficiency evaluation of the different fertilization programs and use of forest buffer strips for restoring fertility of slope-positioned soils]. *Plodorodie* [Fertility], no. 1 (112), pp. 49-54. doi: 10.25680/S19948603.2020.112.14
9. Ivonin, V.M., Voskoboinikova, I.V., Matvienko, E.Yu. (2018). Theoretical concept of adaptive forest land reclamation of agricultural landscapes. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 9, no. 13, pp. 95-103.
10. Sukhanovskii, Yu.P., Prushchik, A.V., Vytovtov, V.A. i dr. (2020). Sovershenstvovanie metodologii otsenki posledstviy ehrozii pochvy v polevykh ehksperimentakh [Improving the methodology for assessing the effects of soil erosion in field experiments]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], vol. 36, no. 8, pp. 44-48. doi: 10.53859/02352451_2022_36_8_44
11. Afifi, A., Ehizen, S. (1982). *Statisticheskii analiz: Podkhod s ispol'zovaniem EHVМ* [Statistical analysis: A computer-based approach]. Moscow, Mir Publ., 488 p.
12. Glazunov, G.P., Kuznetsov, A.V. (2016). Vliyanie razlichnoi stepeni agrogennykh nagruzok na sodержanie i zapasy gumusa v chernozeme tipichnom [The influence of various degrees of agrogenic loads on the content and reserves of humus in typical chernozem]. *Agrotekhnologicheskie protsessy v ramkakh importozameshcheniya: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Mичуринск, 25-27 oktyabrya 2016 g.* [Agrotechnological processes in the framework of import substitution: materials of the International scientific and practical conference. Michurinsk, October 25-27, 2016]. Michurinsk, pp. 38-41.

Информация об авторах:

- Сухановский Юрий Петрович**, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории моделирования и защиты почв от эрозии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1782-501X>, soil-er@kursknet.ru
- Прущик Анастасия Викторовна**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования и защиты почв от эрозии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9010-5548>, model-erosion@mail.ru
- Тарасов Сергей Анатольевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования и защиты почв от эрозии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1246-3494>, sergejtarasov1989@mail.ru
- Вытовтов Владимир Алексеевич**, старший научный сотрудник лаборатории моделирования и защиты почв от эрозии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3098-5053>, v.a.vitovtov@mail.ru
- Архипов Александр Сергеевич**, инженер-исследователь лаборатории моделирования и защиты почв от эрозии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1170-7568>, sasha.vidar@gmail.com

Information about the authors:

- Yurii P. Sukhanovskii**, doctor of agricultural sciences, leading researcher of the laboratory of modelling and soil erosion protection, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1782-501X>, soil-er@kursknet.ru
- Anastasia V. Prushchik**, candidate of agricultural sciences, senior researcher of the laboratory of modelling and soil erosion protection, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9010-5548>, model-erosion@mail.ru
- Sergey A. Tarasov**, candidate of agricultural sciences, senior researcher of the laboratory of modelling and soil erosion protection, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1246-3494>, sergejtarasov1989@mail.ru
- Vladimir A. Vytovtov**, senior researcher of the laboratory of modelling and soil erosion protection, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3098-5053>, v.a.vitovtov@mail.ru
- Aleksandr S. Arkhipov**, research engineer of the laboratory of modelling and soil erosion protection, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1170-7568>, sasha.vidar@gmail.com

