



Научная статья

УДК 631.42

doi: 10.55186/25876740\_2024\_67\_5\_574

## ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В ПОЧВАХ ЭРОЗИОННЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Д.В. Холодов<sup>1</sup>, Л.Г. Смирнова<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия<sup>2</sup>Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук, Белгород, Россия

**Аннотация.** На основании экспериментальных данных была проведена оценка пространственного распределения содержания гумуса в эрозионных агроландшафтах с использованием ГИС-технологий. Исследования проводились в 2023 г. на части экспериментального поля опытного отделения ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» в Белгородском районе Белгородской области. Статистические вычисления проводились в программе SPSS Statistics, создание графических моделей и картограмм выполнено в программе ArcGIS Desktop. Проведенный анализ пространственных данных показал, что максимальное значение содержания гумуса составило 5,46%, минимальное — 2,05%. Коэффициент вариации составляет 12%, что указывает на однородность распределения показателей гумуса. Результаты теста U Манна-Уитни показали преобладание группы точек отбора с содержанием гумуса, относящихся к малогумусным почвам. По результатам теста Спирмена выявлена высокая зависимость содержания гумуса от высоты, уклона и вертикальной кривизны. Проведенный тест Краскела-Уоллиса показал, что на содержание гумуса в почвах статистически значимое влияние оказали уклон, высота и вертикальная кривизна склона. На основании данного теста было выделено 8 микрозон по группам зависимых морфометрических показателей. Наибольшее содержание гумуса (4,69%) отмечено в микрозоне, расположенной на высоте более 200 м с уклоном менее 5 градусов на положительных значениях вертикальной кривизны (H2S1V2), наименьшее — в условиях микрозоны, расположенной на высоте более 200 м с уклоном менее 5 градусов на положительных значениях вертикальной кривизны (3,79%). Исследования показали, что данный склон обладает сложным рельефом, поэтому для данного участка поля требуется более детальное обследование пространственных данных для внедрения технологии точного земледелия.

**Ключевые слова:** пространственное распределение показателей гумуса, точное земледелие, эрозионные агроландшафты, содержание гумуса, гумусированность почв, ArcGIS, SPSS Statistics

Original article

## ASSESSMENT OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF HUMUS CONTENT IN THE SOILS OF EROSION AGRICULTURAL LANDSCAPES USING GIS-TECHNOLOGIES

D.V. Kholodov<sup>1</sup>, L.G. Smirnova<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia<sup>2</sup>Belgorod Federal Agricultural Research Center of the Russian Academy of Sciences, Belgorod, Russia

**Abstract.** Based on experimental data, an assessment of the spatial distribution of humus content in erosional agrolandscapes was carried out using GIS technologies. The research was conducted in 2023 on part of the experimental field of the experimental department of the FGBSI "Belgorod FASC RAS" in the Belgorod region of the Belgorod region. Statistical calculations were carried out in the SPSS Statistics program, the creation of graphic models and cartograms was carried out in the ArcGIS Desktop program. The conducted analysis of spatial data showed that the maximum value of humus content was 5.46%, the minimum was 2.05%. The coefficient of variation is 12%, which indicates the uniformity of the distribution of humus indicators. The results of the Mann-Whitney U test showed a predominance of the group of sampling points with humus content, related to low-humus soils. According to the results of the Spearman test, a high dependence of humus content on height, slope and vertical curvature was revealed. The Kruskal-Wallis test showed that slope, height and vertical curvature of the slope had a statistically significant effect on the humus content in the soils. Based on this test, 8 microzones were distinguished by groups of dependent morphometric indicators. The highest humus content (4.69%) was noted in the microzone located at an altitude of more than 200 m with a slope of less than 5 degrees at positive values of vertical curvature (H2S1V2), the smallest in the conditions of the microzone located at an altitude of more than 200 m with a slope less than 5 degrees at positive values of vertical curvature (3.79%). The research showed that this slope has a complex relief, therefore, for this part of the field, a more detailed examination of spatial data is required to introduce precision farming technology.

**Keywords:** spatial distribution of humus indicators, precision farming, erosive agrolandscapes, humus content, humus percentage of soils, ArcGIS, SPSS Statistics

**Актуальность.** Процесс создания адаптивных ландшафтных систем земледелия включает в себя оценку природного и ресурсного потенциала агроландшафта, что дает представление о его текущем состоянии и особенностях. Однако существующие методы для отбора почвенных проб и агрохимического исследования не позволяют полноценно оценивать вариабельность показателей почвенного плодородия в агроландшафте и определить необходимость регулирования питательного режима сельскохозяйственных культур. Важно отметить, что картографические данные, доступные на предприятиях по агрохимическому исследованию,

обычно не содержат информации о разумном использовании полей для различных культур, учитывая почвенные комбинации и специфические потребности в удобрениях на определенной территории.

Определение пространственной неоднородности позволит моделировать разнообразие плодородия почв, определить целесообразность дифференцированного внесения минеральных удобрений в агроландшафтах, улучшить методологические подходы к оценке изменчивости параметров почвенного плодородия, а также разработать меры по увеличению экологической устойчивости почв, оптимизации

продуктивности сельскохозяйственных культур и рационального использования природно-ресурсного потенциала агроландшафтов [1].

Одной из важнейших задач координатного земледелия является точное определение зон неоднородностей агрохимических и физико-химических показателей в пределах отдельного поля или земельного массива. Ее решение возможно с помощью применения разнообразных методов геостатистического анализа, которые позволяют найти пространственные закономерности в разнообразии почвенных характеристик и установить взаимосвязь между ними [2].



Мощным инструментом для реализации методов геостатистического анализа и визуализации их результатов является цифровое картографирование. Стоит учесть, что посредством использования возможностей геоинформационных технологий возможно не только создание современных интерактивных почвенных карт, но и проведение комплексной оценки показателей почвенного плодородия с учетом всех морфометрических характеристик агроландшафтов [3, 4].

Тем не менее на данный момент нет определенной методики, позволяющей наиболее точно определить реальное расположение неоднородности распространения агрохимических свойств с учетом морфометрических характеристик, что делает ее поиск весьма актуальной задачей.

И.А. Сахабиевым и С.С. Рязановым было проанализировано большое количество подходов для проведения геостатистического анализа, однако авторы утверждают, что в России их использование не пользуется популярностью. Также, в результате анализа, ученые пришли к выводу, что наиболее точными результатами обладают модели, основанные на методах интерполяции данных, в частности методе регрессионного кригинга [5].

Стоит отметить, что Т.Н. Мысловой, О.А. Куцаевой и А.А. Подлесным с целью прогнозирования пространственного распределения показателей гумуса в почве были проанализированы различные методы интерполяции в геоинформационной системе ArcGIS. Учеными было установлено, что лучшей моделью интерполяции является универсальный кригинг, так как он обладает более точными количественными показателями, чем многие другие [6].

К одним из наиболее простых методов интерполирования данных относятся методы обратно-взвешенных расстояний, радиальной базисной функции и эмпирический байесовский кригинг [7, 8]. Однако, несмотря на свою популярность, картограммы, полученные в результате их применения, уступают по точности более сложным моделям [5, 6].

В целях повышения качества прогнозируемых данных геостатистические методы часто комбинируют со статистическими [9]. Так, например, А.Г. Волков в рамках своего исследования, используя вариограммы, с помощью метода универсального кригинга строил картограммы обменной кислотности для отдельных горизонтов в небезызвестной геоинформационной системе ArcGIS, в то же время большинство статистических расчетов по выявлению пространственных неоднородностей pH в разных типах почв проводил в программной среде STATISTICA. Автор отмечает, что картограммы позволяют четко установить особенности пространственной структуры и изменчивости pH в почве [10].

Для аналогичных целей возможно использование и других программных средств статистических вычислений. В.П. Самсонова и Ю.Л. Мешалкина структуру пространственной изменчивости pH, фосфора и калия в почве также оценивали с помощью вариограмм, а процедуры множественной линейной и нелинейной регрессии и прочие статистические расчеты проводили с использованием программы Excel и пакета SURFER 8, результаты также визуализировали с помощью ГИС [11].

Для определения внутрипольных зон по содержанию подвижного фосфора и обменного калия Л.Г. Смирнова, А.А. Кувшинова и другие

соавторы проводили статистические расчеты, основанные на непараметрических тестах, в программной среде R. Результаты расчетов также были представлены в виде разнообразных картограмм, с помощью которых были определены микрзоны пространственного распределения почвенных элементов [12].

Использование смешанного подхода для определения неоднородности распространения показателей отражено в работах многих отечественных ученых [13, 14, 15, 16].

Идентифицирование однородностей почвенных показателей в пределах землепользований по одному или нескольким параметрам, а также определение их границ обретает особую значимость в условиях склоновых агроландшафтов, где, помимо факторов антропогенного воздействия, за счет интенсивных стоков талых и ливневых вод происходит активное вымывание почвенных масс, что в результате приводит к изменению агрохимических показателей почв [17, 18].

Учитывая, что гумус является ключевым индикатором плодородия почвы, понимание его пространственной изменчивости в почве может существенно уменьшить затраты на оценку его резервов и при расчете углеродного баланса. В этой связи проведение оценки пространственного распределения содержания гумуса в эрозионных агроландшафтах с использованием ГИС-технологий является **целью данного исследования**.

**Условия, материалы и методы.** Исследования проводились в 2023 г. в границах поля, расположенного на пологом склоне, крутизной от 1 до 8 градусов, опытного отделения ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» в Белгородском районе Белгородской области. Поле занимает юго-западную экспозицию и обладает выпукло-вогнутой формой рельефа. **Объект исследования** является частью данного поля и имеет площадь 8,5 га, с аналогичными характеристиками.

Почва представлена исключительно черноземами типичными среднесильными среднесильными слабосмытыми и среднесильными.

Гранулометрический состав почв тяжелосуглинистый и глинистый.

Цифровая модель рельефа создавалась на основе данных аэрофотосъемки, масштабом 1:500, полученных с БПЛА мультикоптерного типа Геоскан-401. Растры уклона, вертикальной (профильной) и горизонтальной (плановой) кривизны созданы на основе цифровой модели рельефа.

Использовался метод катены. Было заложено 8 трансект (катен) с 18-20 точками отбора в каждой, общим количеством 152 точек. Отбор образцов почвы проводился по регулярной сетке с ячейкой 15x30 м.

Расчет и математический анализ данных осуществлялся в программной среде для статистических вычислений SPSS Statistics. Моделирование и визуализация данных осуществлялись в ArcGIS Desktop.

**Результаты и обсуждение.** При реализации технологии точного земледелия в эрозионных агроландшафтах необходимо проводить внутрипольное зонирование с учетом ландшафтного подхода, поэтому в ходе проведенных исследований была рассмотрена модель, основанная на статистических методах и цифровом картографическом моделировании, позволяющая определить пространственную изменчивость гумуса и выделить зоны групп в зависимости от морфометрических характеристик.

В результате анализа почвенных показателей было выявлено, что максимальное значение содержания гумуса составило 5,46%, минимальное – 2,05%. По классификации [19] деление черноземов на виды по содержанию гумуса осуществлялось следующим образом: среднегумусные — от 9% до 6%, малогумусные — от 6% до 4% и слабогумусированные — менее 4%. Рассматриваемые значения варьировали в пределах малогумусных и слабогумусированных почв (рис. 1). Среднее значение содержания гумуса в выборке составляет 4,23%, то есть в целом можно охарактеризовать почвы на исследуемой территории на склоне как малогумусные. Размах вариации показателей составляет 3,41%, среднестатистическое отклонение по выборке — 0,50.

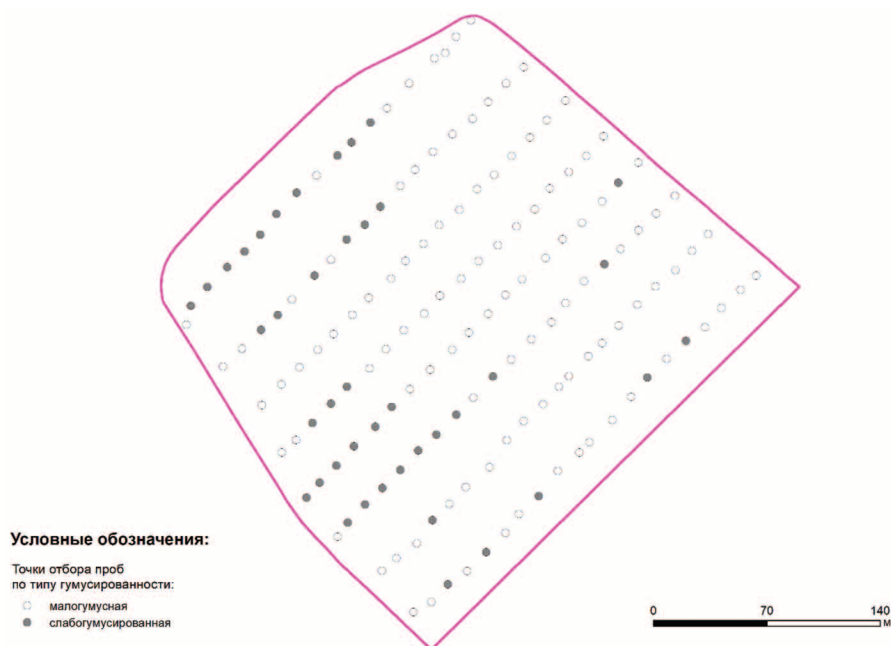


Рисунок 1. Распределение пространственных данных по классификационным признакам гумусированности на склоновом агроландшафте  
Figure 1. Distribution of spatial data by classification features of humus on a slope agrolandscape



При расчете коэффициента вариации выяснилось, что совокупность содержания гумуса в местах отбора проб не превышает порог в 33% и является однородной, его показатель составляет 12%.

Однако, несмотря на однородность распределения данных, максимальный показатель практически в 2,5 раза превышает минимальное значение, это связано с тем, что склоновый участок имеет значительные перепады морфометрических характеристик, поэтому для установления более точной оценки необходимо использовать улучшенные методы статистического анализа.

По результатам аэрофотосъемки в ArcGIS Desktop были созданы цифровая модель рельефа, растры уклона, вертикальной (профильной) и горизонтальной (плановой) кривизны опытного склонового участка. Используя инструмент зональной статистики, были извлечены значения по каждому из четырех геоморфологических характеристик, включая значения высоты.

Для проведения статистического анализа в программе SPSS Statistics происходило разделение точек отбора по группам. По высоте выделено две группы: верхняя (более 200 м) и средняя (менее 200 м). По уклону выделялись группы с уклоном менее 5° и с уклоном более 5°. По вертикальной кривизне следующие группы точек: на выпуклых частях склона (положительные значения вертикальной кривизны) и на вогнутых частях склона (отрицательные значения вертикальной кривизны). По горизонтальной кривизне выделены две группы наблюдений: на собирающих частях склона (отрицательные значения горизонтальной кривизны) и на рассеивающих частях склона (положительные значения горизонтальной кривизны).

На первом этапе был проведен анализ непараметрических критериев с помощью теста U Манна-Уитни, в результате которого было выявлено преобладание группы точек отбора с содержанием гумуса, относящихся к малогумусным почвам — 111 шт. Количество точек, относящихся к слабогумусированным почвам — 41 шт. Поэтому в общей характеристике почвенного покрова исследуемого участка преобладают показатели с содержанием гумуса от 4 до 6%. При этом асимптотическая значимость не превышает 0,05 ед., что подтверждает гипотезу о том, что содержание гумуса для этих двух групп — малогумусных и слабогумусированных, отличается.

На втором этапе с помощью теста непараметрической корреляции Спирмена была определена высокая зависимость содержания гумуса от высоты, уклона и вертикальной кривизны, где единицы значимости не превышали нормированный показатель в 0,05 ед. Поэтому дальнейшие расчеты и сравнения проводились с тремя вышеперечисленными характеристиками. Значения горизонтальной кривизны не являются статистически значимыми, следовательно, она не влияет на распределение гумуса на территории исследуемого участка.

Третий этап заключался в проверке зависимости содержания гумуса от подгрупп высоты, уклона и вертикальной кривизны с помощью теста U Манна-Уитни, в результате которого было установлено, что значения в подгруппах различаются, также значительное расхождение рангов подтверждают эту гипотезу.

Для наглядности распределения точек отбора по геоморфологическим характеристикам

была создана таблица сопряженности, которая показывает взаимосвязь всех переменных между собой (табл. 1). Данная таблица показывает распределение точек отбора гумуса по группам и их подгруппам.

Четвертый этап заключался в проведении непараметрического теста Краскела-Уоллеса для сравнения средних ранговых значений по группам переменных [20]. Для проведения данного теста переменные разбивались на 8 групп: H1S1V1; H1S1V2; H1S2V1; H2S2V2; H2S1V1; H2S1V2; H2S2V1; H2S2V2, где H1 — высота менее 200 м, H2 — высота более 200 м, S1 — уклон менее 5°, S2 — уклон более 5°, V1 — вогнутые (отрицательные значения вертикальной кривизны), V2 — выпуклые (положительные значения вертикальной кривизны).

Результаты теста Краскела-Уоллеса показали, что для содержания гумуса влияние уклона, высоты и вертикальной кривизны является статистически значимым (рис. 2). Это говорит о том, что, как минимум, в одной из пар сравнений, выделенных по сочетанию высоты, уклона

и вертикальной кривизны, должны быть статистически значимые различия среднего ранга.

Также в процессе выполнения данного теста была проведена процедура попарных сравнений групп морфометрических показателей (рис. 3), где было установлено, что статистическое различие среднего ранга между сравниваемыми группами присутствует в 12 сочетаниях.

Большое количество попарных сравнений с различным средним рангом подтверждает результаты теста Краскела-Уоллеса и свидетельствует о том, что данный склон обладает сложным рельефом, поэтому для данного участка поля требуется особое внимание при проектировании и проведении агрономических мероприятий.

Для визуализации распределения групп на склоновом агроландшафте в ArcGIS Desktop была создана их графическая модель (рис. 4).

Также был проведен классический статистический анализ для групп по содержанию гумуса в программе Excel, где были установлены основные статистические показатели (табл. 2).

Таблица 1. Распределение точек отбора по группам переменных  
Table 1. Distribution of sampling points by groups of variables

Вертикальная кривизна			Уклон		Итого от общей суммы выборки (без уклона)	
			< 5°	> 5°		
Отрицательная	Высота	< 200 м	Счет	1	12	13
			%	4,2%	18,8%	14,8%
	> 200 м	Счет	23	52	75	
		%	95,8%	81,3%	85,2%	
	Итого		Счет	24	64	88
			%	100,0%	100,0%	100,0%
Положительная	Высота	< 200 м	Счет	3	23	26
			%	23,1%	45,1%	40,6%
	> 200 м	Счет	10	28	38	
		%	76,9%	54,9%	59,4%	
	Итого		Счет	13	51	64
			%	100,0%	100,0%	100,0%

#### Условные обозначения:

Точки отбора проб по типу гумусированности:

- малогумусная
- слабогумусированная

Высота:

- менее 200 м
- более 200 м

Уклон:

- менее 5°
- более 5°

Вертикальная кривизна:

- вогнутые
- выпуклые

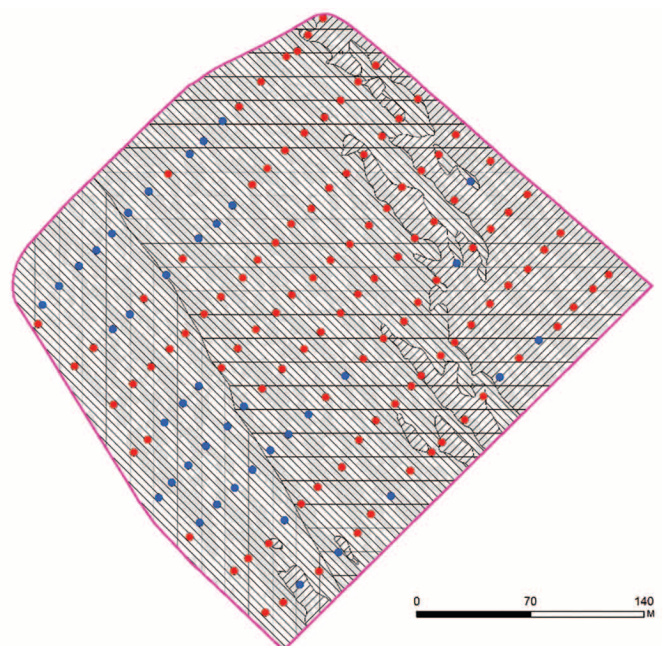


Рисунок 2. Графическая модель статистически значимых морфометрических показателей для содержания гумуса  
Figure 2. Graphical model of statistically significant morphometric indicators for humus content



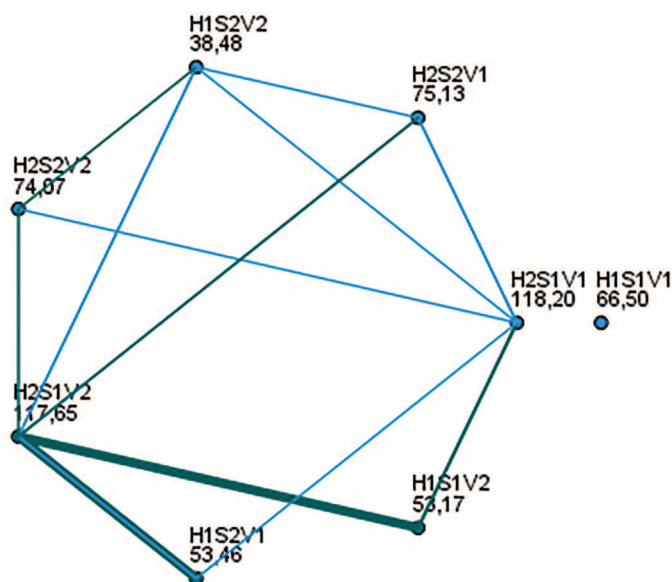


Рисунок 3. Гистограмма попарных сравнений статистически значимых выборок (в ячейках показывается выборочный средний ранг)  
Figure 3. Histogram of pairwise comparisons of statistically significant samples (the sample average rank is shown in cells)

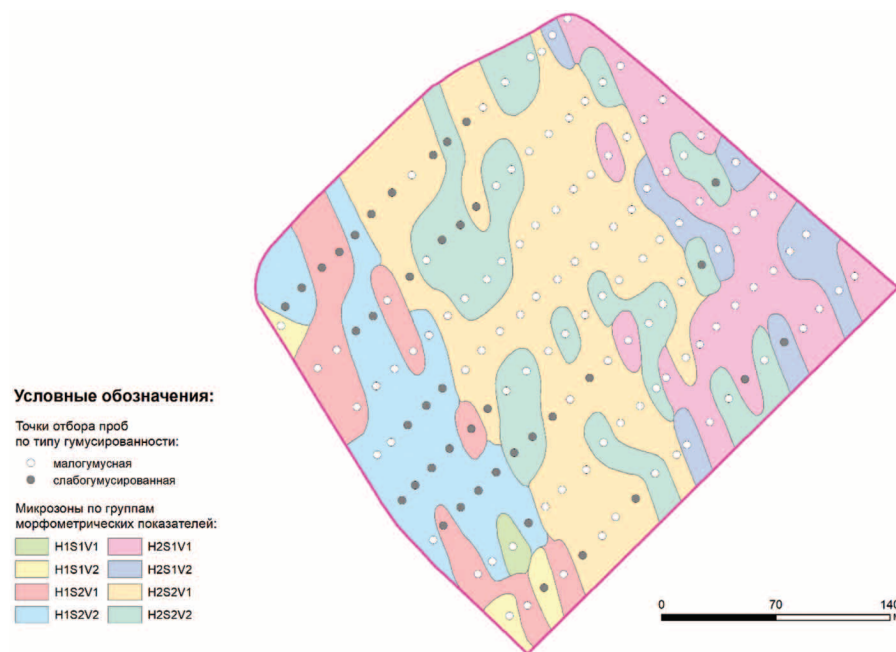


Рисунок 4. Графическая модель пространственного распределения гумуса по микрозонам групп морфометрических показателей  
Figure 4. Graphical model of humus spatial distribution across microzones of groups of morphometric indicators

Таблица 2. Статистические показатели содержания гумуса в выделенных группах, %  
Table 2. Statistical indicators of humus content in the highlighted groups, %

Выделенные микрозоны	Количество точек	Максимум	Минимум	Среднее	Среднеквадратическое отклонение по выборке	Коэффициент вариации, %	Дисперсия по выборке
H1S1V1	1	4,24	4,24	4,24	-	-	-
H1S1V2	3	4,32	3,71	4,06	0,31	8	0,02
H1S2V1	12	4,57	3,47	4,07	0,31	8	0,07
H1S2V2	23	4,69	2,05	3,79	0,53	14	0,34
H2S1V1	23	5,01	3,72	4,63	0,29	6	0,12
H2S1V2	10	5,46	3,79	4,69	0,44	9	0,11
H2S2V1	52	4,84	2,64	4,22	0,48	11	0,23
H2S2V2	28	4,72	3,06	4,21	0,44	10	0,20

Анализ статистических показателей из таблицы 2 показал, что в выделенных микрозонах среднее содержание гумуса варьируется от 3,79 до 4,69%, где наибольшее среднее значение показателя наблюдается в зоне H2S1V2 — 4,69%, а наименьшее в зоне H1S2V2 — 3,79%. Графическая модель пространственного распределения гумуса, представленная на рисунке 4, показывает, что в микрозоне H1S2V2 также расположено наибольшее количество точек с показателями слабогумусированных почв. Однако обратная ситуация наблюдается в микрозоне H2S1V1, где расположены исключительно точки с показателями малогумусных почв, среднее значение содержания гумуса в данной микрозоне составляет 4,63% и является предпоследним по величине среди всех групп — эти значения подтверждают статистически значимое влияние уклона, высоты и вертикальной кривизны для распределения показателей содержания гумуса, несмотря на их однородность.

**Заключение.** В ходе исследования было определено, что распределение гумуса на территории опытного участка однородно и не превышает 33%. Однако, по результатам теста непараметрической корреляции Спирмена, его содержание в почве напрямую зависит от трех морфометрических характеристик: высоты, уклона и вертикальной кривизны, вследствие чего территория участка была поделена на 8 микрозон, где каждая зона была представлена сочетанием показателей этих трех характеристик. Наибольшее среднее значение показателя наблюдалось в зоне H2S1V2 и составило 4,69%, а наименьшее — 3,79% в зоне H1S2V2. Стоит отметить, что в зоне H1S2V2 расположено наибольшее количество точек с показателями слабогумусированных почв, а в H2S1V1 расположены только точки с показателями малогумусных почв, со средним значением содержания гумуса 4,63%, что подтверждает зависимость распространения показателей содержания гумуса от высоты, уклона и вертикальной кривизны.

Предложенный подход, а также полученные результаты, позволят не только оценить зависимость пространственного распределения гумуса в почве от морфометрических характеристик, но и спрогнозировать их, что облегчит оценку природно-ресурсного потенциала агроландшафтов при внедрении технологии точного земледелия.

**Список источников**

1. Глазунов Г.П., Афонченко Н.В., Апухтин А.В. Анализ пространственного варьирования показателей плодородия черноземных почв в склоновых агроландшафтах // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 8. С. 23-31.
2. Мыслыва Т.Н., Куцаева О.А. Создание менеджмент-зон для целей землеустройства при внедрении элементов системы точного земледелия // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1. С. 144-153.
3. 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.
4. Клебанович Н.В., Киндеев А.Л. Геоэкономическая оценка вариабельности свойств почв // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2018. № 1. С. 91-102.
5. Сахабиев И.А., Рязанов С.С. Исследование пространственной изменчивости свойств почв с использованием геоэкономического подхода // Российский журнал прикладной экологии. 2015. № 2 (2). С. 32-37.
6. Мыслыва Т.Н., Куцаева О.А., Подлесный А.А. Сравнение эффективности методов интерполяции на основе





ГИС для оценки пространственного распределения гумуса в почве // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 4. С. 146-152.

7. Ваганова Е.С. и др. Методические аспекты интерполяции пространственной неоднородности агрохимических свойств пахотных угодий Северного Казахстана // Российский журнал прикладной экологии. 2016. № 1 (5). С. 47-52.

8. Жуков А.В. и др. Байесовский подход для оценки гетерогенизации пространственного распределения почвенных свойств // Acta Biologica Sibirica. 2015. № 3-4. С. 76-91.

9. Симбатова А.Т., Рязанов С.С., Сахабиев И.А. Моделирование пространственного распределения органического вещества почв: обзор современных подходов // Российский журнал прикладной экологии. 2016. № 2 (6). С. 48-54.

10. Волков А.Г. Пространственная неоднородность кислотности почв в еловом биогеоценозе северной подзоны тайги // Arctic Environmental Research. 2015. № 1. С. 5-12.

11. Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л. Оценка роли рельефа в пространственной изменчивости агрохимически важных почвенных свойств для интенсивно обрабатываемого сельскохозяйственного угодья // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2014. № 3. С. 36-44.

12. Смирнова Л.Г. и др. Внутрипольное зонирование эрозионных агроландшафтов для использования в технологии точного земледелия // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 7. С. 14-18.

13. Мыслыва Т.Н., Кожеко А.В., Куцаева О.А. Особенности установления зон пространственной неоднородности в пределах землепользования для целей точного земледелия // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1. С. 192-199.

14. Шемняков Д.В., Налиухин А.Н. Изучение внутрипольной вариативности агрохимических показателей пахотных почв и определение потребности в удобрениях и мелиорантах в технологиях точного земледелия // Молокохозяйственный вестник. 2015. № 2 (18). С. 55-64.

15. Петросян Р.Д. и др. Пространственная неоднородность содержания органического вещества в серых лесных пахотных почвах владимирского ополья // Достижения науки и техники АПК. 2016. № 12. С. 48-50.

16. Гиниятуллин К.Г. и др. Использование геостатистических методов для характеристики вариативности агрохимических свойств (на примере изучения пахотных угодий Северного Казахстана) // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2016. № 2. С. 259-276.

17. Масютенко Н.П. и др. Система показателей агроэкологической оценки эродированных черноземов // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 11. С. 7-11.

18. Масютенко Н.П. и др. Влияние степени эродированности на показатели экологического состояния черноземных почв // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 8. С. 19-23.

19. Классификация почв России / сост. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 1997. 236 с.

20. Гржибовский А.М., Иванов С.В., Горбатова М.А. Сравнение количественных данных трех и более независимых выборок с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS: параметрические и непараметрические критерии // Наука и здравоохранение. 2016. № 4. С. 5-37.

## References

1. Glazunov, G.P., Afonchenko, N.V., Apukhtin, A.V. (2019). Analiz prostanstvennogo var'irovaniya pokazatelei plodorodiy chernozemnykh pochv v sklonovykh agrolandshaftakh [Analysis of spatial variation of indicators of fertility of chernozem soils in slope agricultural landscapes]. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Vestnik of Kursk State Agricultural Academy], no. 8, pp. 23-31.

2. Myslyva, T.N., Kutsaeva, O.A. (2020). Sozdanie menedzhment-zon dlya tselei zemleuстроistva pri vnedrenii ehlementov sistemy tochnogo zemledeliya [Creating management zones for land management purposes when implementing elements of precision farming]. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy], no. 1, pp. 144-153.

3. Glazunov, G.P., Afonchenko, N.V., Zolotukhin, A.N. (2021). Prostranstvennaya neodnorodnost' pokazatelei plodorodiy 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.

4. Klebanovich, N.V., Kindeev, A.L. (2018). Geostaticheskaya otsenka variabel'nosti svoystv pochv [Geostatic assessment of variability of soil properties]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya biologiya. Nauki o zemle* [Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences], no. 1, pp. 91-102.

5. Sakhbiev, I.A., Ryzanov, S.S. (2015). Issledovanie prostanstvennoi izmenchivosti svoystv pochv s ispol'zovaniem geostaticheskogo podkhoda [The study of the spatial variability of soil characteristics using geostatistical approach]. *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ehkologii* [Russian journal of applied ecology], no. 2 (2), pp. 32-37.

6. Myslyva, T.N., Kutsaeva, O.A., Podlesnyi, A.A. (2017). Sravnenie ehffektivnosti metodov interpolatsii na osnove GIS dlya otsenki prostanstvennogo raspredeleniya gumusa v pochve [Comparison of the effectiveness of GIS-based interpolation methods for assessing the spatial distribution of humus in the soil]. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy], no. 4, pp. 146-152.

7. Vaganova, E.S. i dr. (2016). Metodicheskie aspekty interpolatsii prostanstvennoi neodnorodnosti agrokhimicheskikh svoystv pakhotnykh ugodii Severnogo Kazakhstana [Methodical aspects of spatial heterogeneity interpolation of agrochemical properties of croplands in Northern Kazakhstan]. *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ehkologii* [Russian journal of applied ecology], no. 1 (5), pp. 47-52.

8. Zhukov, A.V. i dr. (2015). Baiesovskii podkhod dlya otsenki geterogenizatsii prostanstvennogo raspredeleniya pochvennykh svoystv [Bayesian inference of the soil properties spatial distribution heterogenization]. *Acta Biologica Sibirica*, no. 3-4, pp. 76-91.

9. Simbatova, A.T., Ryzanov, S.S., Sakhbiev, I.A. (2016). Modelirovanie prostanstvennogo raspredeleniya organicheskogo veshchestva pochv: obzor sovremennykh podkhodov [Modeling of spatial distribution of a soil organic matter: a current state review]. *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ehkologii* [Russian journal of applied ecology], no. 2 (6), pp. 48-54.

10. Volkov, A.G. (2015). Prostranstvennaya neodnorodnost' kislotnosti pochv v elovom biogeotsenoze severnoi podzony taigi [Spatial heterogeneity of soil acidity in spruce biogeocenose in the northern taiga subzone]. *Arctic Environmental Research*, no. 1, pp. 5-12.

11. Samsonova, V.P., Meshalkina, Yu.L. (2014). Otsenka roli rel'efa v prostanstvennoi izmenchivosti agrokhimicheskikh vazhnykh pochvennykh svoystv dlya intensivno obrabatyvaemogo sel'skokhozyaistvennogo ugod'ya [Study of the

relief contribution in the spatial variability of the agrochemically important soil properties for an intensively processed agricultural field]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie* [Moscow University bulletin. Series 17. Soil science], no. 3, pp. 36-44.

12. Smirnova, L.G. i dr. (2023). Vnutripol'noe zonirovaniye ehrozionnykh agrolandshaftov dlya ispol'zovaniya v tekhnologii tochnogo zemledeliya [Infield zoning of erosional agricultural landscapes for use in precision farming technology]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], vol. 37, no. 7, pp. 14-18.

13. Myslyva, T.N., Kozheko, A.V., Kutsaeva, O.A. (2021). Osobennosti ustanovleniya zon prostanstvennoi neodnorodnosti v predelakh zemlepol'zovaniya dlya tselei tochnogo zemledeliya [Features of establishing zones of spatial heterogeneity within land use for the purposes of precision farming]. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy], no. 1, pp. 192-199.

14. Shemnyakov, D.V., Naliukhin, A.N. (2015). Izucheniye vnutripol'noi variabel'nosti agrokhimicheskikh pokazatelei pakhotnykh pochv i opredeleniye potrebnosti v udobreniyakh i meliorantakh v tekhnologiyakh tochnogo zemledeliya [Studying the variability of agrochemical parameters of arable soils within the field and defining the need for fertilizers and land improvers in precision agriculture techniques]. *Molochnokhozyaistvennyi vestnik* [Dairy bulletin], no. 2 (18), pp. 55-64.

15. Petrosyan, R.D. i dr. (2016). Prostranstvennaya neodnorodnost' soderzhaniya organicheskogo veshchestva v serykh lesnykh pakhotnykh pochvakh vladimirskego opolya [Spatial heterogeneity of organic matter content in arable gray forest soils of vladimir opolie]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], no. 12, pp. 48-50.

16. Giniyatullin, K.G. i dr. (2016). Ispol'zovaniye geostaticheskikh metodov dlya kharakteristiki variabel'nosti agrokhimicheskikh svoystv (na primere izucheniya pakhotnykh ugodii Severnogo Kazakhstana) [Using geostatistical methods for characterization of variations in the agrochemical properties (based on the study of arable lands in Northern Kazakhstan)]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki* [Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series], no. 2, pp. 259-276.

17. Maslyutenko, N.P. i dr. (2016). Sistema pokazatelei agroekologicheskoi otsenki ehrodirovannykh chernozemov [System of indicators of agroecological evaluation of eroded chernozem soils]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], vol. 30, no. 11, pp. 7-11.

18. Maslyutenko, N.P. i dr. (2015). Vliyaniye stepeni ehrodirovannosti na pokazateli ehkologicheskogo sostoyaniya chernozemnykh pochv [Influence of the degree of erosion degradation on the indicators of ecological state of black soils]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], vol. 29, no. 8, pp. 19-23.

19. Shishov, L.L., Tonkonogov, V.D., Lebedeva, I.I. (eds.) (1997). *Klassifikatsiya pochv Rossii* [Classification of soils in Russia]. Moscow, Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva RASKHN, 236 p.

20. Grzhibovskii, A.M., Ivanov, S.V., Gorbatova, M.A. (2016). Sravneniye kolichestvennykh dannykh trekh i bolee nezavisimykh vyborok s ispol'zovaniem programmnoho obespecheniya Statistica i SPSS: parametricheskie i neparametricheskie kriterii [Analysis of quantitative data in three or more independent groups using Statistica and SPSS software: parametric and non-parametric tests]. *Nauka i zdrazvookhraneniye* [Science and healthcare], no. 4, pp. 5-37.

## Информация об авторах:

**Холодов Денис Витальевич**, аспирант кафедры природопользования и земельного кадастра Белгородского государственного национального исследовательского университета, ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-0870-6591>, [holodow.denis2016@yandex.ru](mailto:holodow.denis2016@yandex.ru)

**Смирнова Лидия Григорьевна**, доктор биологических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра Белгородского государственного национального исследовательского университета, ученый секретарь Белгородского федерального аграрного научного центра РАН, [lidya.smirnova@yandex.ru](mailto:lidya.smirnova@yandex.ru)

## Information about the authors:

**Denis V. Kholodov**, postgraduate student of the department of environmental management and land cadastre of the Belgorod State National Research University, ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-0870-6591>, [holodow.denis2016@yandex.ru](mailto:holodow.denis2016@yandex.ru)

**Lidia G. Smirnova**, doctor of biological sciences, professor of the department of environmental management and land cadastre of the Belgorod State National Research University, scientific secretary of the Belgorod Federal Agricultural Research Center of the Russian Academy of Sciences, [lidya.smirnova@yandex.ru](mailto:lidya.smirnova@yandex.ru)

[holodow.denis2016@yandex.ru](mailto:holodow.denis2016@yandex.ru)