Оригинальная статья
https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-71-79
УДК 631.412:681.5.015.42: 551.48

АНАЛИЗ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАХОТНОГО СЛОЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В БАССЕЙНЕ МАЛОЙ РЕКИ ЛОКНАШ

Д.С. Искричев[1]✉, Ю.Г. Безбородов[2], В.К. Хлюстов[3]

[1, 2, 3] ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

[1] iskri4ev@mail.ru

[2] ubezborodov@rhau-msha.ru; ORCID0000-0001-5293-2342, РИНЦ ID: 271273

[3] vkhlyustov@rgau-msha.ru; ORCID0000-0001-8323-5750

Аннотация. Цель исследований – выявить и интерпретировать главные компоненты, определяющие изменчивость свойств пахотного слоя дерново-подзолистых почв в бассейне малой реки Локнаш, а также оценить информативность и автономность независимых переменных на основе анализа общности и специфичности. В статье представлены результаты исследований почвенно-экологических факторов, определяющих изменчивость свойств пахотного слоя в бассейне малой реки Локнаш Московской области. Статистическая обработка данных произведена методом главных компонент с варимакс-вращением. Выявлено три ключевых фактора, объясняющих 78,33% общей дисперсии: «Тепловой режим и химические свойства почвы» (36,04%); «Интенсивность эрозии и положение в рельефе» (28,53%); «Инсоляция и гидродинамика русла» (13,77%). Расчет общности и специфичности переменных показал, что наиболее интегрированными в модель являются показатели экспозиции склона, угла склона, уклона русла, расстояния от истока, средней температуры воздуха, абсолютной отметки, плотности и pH. Наибольшую автономность проявили сумма осадков, калий и фосфор. Полученные результаты позволяют проводить зонирование территории по риску эрозии, оптимизировать внесение удобрений и учитывать микроклиматические особенности при планировании мелиоративных мероприятий.

Исследование выполнено в рамках проекта по созданию и развитию инжинирингового центра РГАУ-ТСХА имени К.А. Тимирязева (соглашение № 075-15-2025-543 от 16 июня 2025).

Ключевые слова: дерново-подзолистые почвы, почвенно-экологические факторы, метод главных компонент, общность, специфичность, пахотный слой, бассейн малой реки

Формат цитирования: Искричев Д.С., Безбородов Ю.Г., Хлюстов В.К. Анализ почвенно-экологических факторов изменчивости пахотного слоя в бассейне малой реки Локнаш // Природообустройство. 2025. № 5. С. 71-79. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-71-79

Original article

ANALYSIS OF SOIL-ECOLOGICAL FACTORS OF VARIABILITY OF THE ARABLE LAYER OF SOD-PODZOLIC SOILS IN THE BASIN OF THE SMALL LOKNASH RIVER

D.S. Iskrichev[1]✉, Yu.G. Bezborodov[2], V.K. Khlyustov[3]

[1, 2, 3] Russian State Agrarian University – Moscow State Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev. Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov; 44, B. Akademicheskaya, Moscow, 127434, Russia

[1] iskri4ev@mail.ru

[2] ubezborodov@rhau-msha.ru; ORCID0000-0001-5293-2342, РИНЦ ID: 271273

[3] vkhlyustov@rgau-msha.ru ORCID0000-0001-8323-5750

Abstract. The aim of the work is to identify and interpret the main components that determine the variability of the properties of the arable soil layer of sod-podzolic soils in the basin of the small Loknash River, as well as to evaluate the informative value and autonomy of independent variables based on the analysis of generality and specificity. The article presents the results of a study of soil and environmental factors that determine the variability of the properties of the arable layer in the basin of the small Loknash River in the Moscow region. Statistical data processing was performed using the principal component method (PCA) with varimax rotation. Three key factors were identified that explain 78.33% of the total dispersion: "Thermal regime and chemical properties of the soil" (36.04%), "Erosion intensity and position in the relief" (28.53%), "Insolation and hydrodynamics of the riverbed" (13.77%). The calculation of the generality and specificity of variables showed that the most integrated into the model are

© Искричев Д.С., Безбородов Ю.Г., Хлюстов В.К., 2025

indicators of slope exposure, slope angle, channel slope, distance from the source, average air temperature, absolute elevation, density and pH. The amount of precipitation, potassium and phosphorus showed the greatest autonomy. The results obtained make it possible to carry out zoning of the territory according to the risk of erosion, optimize fertilization and take into account microclimatic features when planning land reclamation measures.

The study was carried out as part of the project to create and develop the engineering center of the Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy (agreement No. 075-15-2025-543 dated June 16, 2025).

Keywords: soil-ecological factors, main component method, generality, specificity, arable layer, sod-podzolic soils, small river basin

Citation format: Iskrichev D.S., Bezborodov Yu.G., Khlyustov V.K. Analysis of soil-ecological factors of variability of the arable layer of sod-podzolic soils in the basin of the small Loknash River // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 5. P. 71-79. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-71-79

Введение. Почвенно-экологические условия играют ключевую роль в формировании продуктивности агроэкосистем и устойчивости земельных ресурсов к деградационным процессам [1, 2]. В условиях малых речных бассейнов – таких, как бассейн реки Локнаш, пространственная изменчивость свойств дерново-подзолистых почв определяется сложным взаимодействием климатических, гидрологических и антропогенных факторов. Существенную роль при этом играют химические показатели почв, биологические процессы, связанные с деятельностью почвенных микроорганизмов, а также характеристики рельефа, местоположение в пределах водосбора, крутизна и экспозиция склонов, которые напрямую влияют на процессы аккумуляции и диффузного стока. Изучение этих взаимосвязей имеет важное значение для разработки научно обоснованных мелиоративных мероприятий, направленных на сохранение плодородия и предотвращение эрозии и эвтрофикации (насыщение водоемов биогенными элементами) реки [3]. В современных исследованиях особое место занимает применение методов многомерного статистического анализа, позволяющих выделить латентные факторы, определяющие изменчивость свойств почвенного покрова. Метод главных компонент широко используется для выявления структурных связей между почвенными и экологическими параметрами, оценки их информативности и вклада в общую дисперсию [4]. Дополнительное вычисление показателей общности и специфичности переменных обеспечивает возможность количественной оценки интеграции отдельных показателей в факторную модель и их независимости [5].

Цель исследований: выявить и интерпретировать главные компоненты, определяющие изменчивость свойств пахотного слоя дерново-подзолистых почв в бассейне малой реки Локнаш, а также оценить информативность и автономность независимых переменных на основе анализа общности и специфичности.

Материалы и методы исследований. Объектом исследований являлся пахотный слой дерново-подзолистых почв. Почвы располагаются в притеррасной пойме – болотные и заболоченные, тяжелого механического состава. На исследуемой территории, в границах агроландшафтов, расположены пахотные земли. В первый год исследований на пашне, в зернотравяном севообороте, выращивалась вико-овсяная смесь, после которой, как известно, почва обогащается азотом. В хозяйстве согласно рекомендациям ВНИИАгрохимии вносится 50 т/га навоза КРС и минеральные удобрения в дозе N50P40K75. Были отобраны образцы в осенний период 2022-2024 гг. в трех створах бассейна малой реки Локнаш Московской области. В каждом створе производился отбор проб в трех точках с глубины 0-20 см по общепринятой методике, что в совокупности составило 27 пунктов.

Определялись следующие показатели: содержание азота (мг/кг) – методом Кьельдаля; содержание калия и фосфора (мг/кг) – по методу Кирсанова; (pH водной вытяжки) – потенциометрическим методом; общая численность микроорганизмов (ОМЧ, КОЕ/г) – методом посевов; плотность – методом режущего кольца; влажность – термостатно-весовым методом.

Для характеристики условий мест отбора проб дополнительно учитывались морфометрические показатели рельефа и климатические показатели: экспозиция и крутизна склонов, уклон русла, абсолютная отметка, расстояние от истока, средняя температура воздуха и сумма осадков. Геоморфологические показатели рассчитывались на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) с использованием AutoCAD Civil 3D, климатические показатели – по данным ближайших метеостанций. Исходные данные приведены в таблицах 1, 2.

Статистическая обработка выполнена в пакете IBM SPSS Statistics. На первом этапе данные были стандартизированы. Методом главных компонент проведено выделение латентных

Таблица 1. **Исходные данные агрохимических и агрофизических характеристик почв**

Table 1. **Initial data on agrochemical and agrophysical characteristics of soils**

Сезон *Season*	**Створ** *Range*	**Азот, мг/кг** *Nitrogen, mg/kg*	**Калий, мг/кг** *Potassium, mg/kg*	**Фосфор, мг/кг** *Phosphorus, mg/kg*	**pH, ед.** *pH, units*	**ОМЧ, КОЕ/г** *TBC, CFU/g*	**Плотность, гр/см^3** *Density, g / cm^3*	**Влажность, %** *Humidity, %*
Осень / *Autumn* 2022	2	50	96	78	5,6	4550	1,30	21,7
Осень / *Autumn* 2022	3	50	63	179	5,56	2350	1,27	23,9
Осень / *Autumn* 2022	5	17	65	92	5,55	2800	1,13	22,6
Осень / *Autumn* 2023	2	31	50	195	5,6	700000	1,28	20,50
Осень / *Autumn* 2023	3	48	64	288	5,71	350000	1,36	19,50
Осень / *Autumn* 2023	5	29	77	115	5,88	1000000	1,17	20,50
Осень / *Autumn* 2024	2	29	50	239	6,04	1000000	1,22	20,30
Осень / *Autumn* 2024	3	29	50	237	2,94	70000	1,34	19,80
Осень / *Autumn* 2024	5	32	50	700	6,01	450000	1,14	19,80

Таблица 2. **Исходные климатические данные и пространственные характеристики почв**

Table 2. **Initial climate data and spatial characteristics of soils**

Сезон *Season*	**Створ** *Range*	**Абс отметка, м** *Abs Mark, m*	**∑Осадков, мм** *∑Precipitation, mm*	**Средняя температура, °С** *Average Temperature, °C*	**L от истока, км** *L from source, km*	**Уклон русла реки** *River bed slope*	**Склон** *Slope*	**Экспозиция склона** *Exposure of Slope*
Осень *Autumn* 2022	2	197	198	4,6	3,9	0,011	**Умеренный смыв** *Moderate flushing*	**Южная** *South*
Осень *Autumn* 2022	3	175	198	4,6	5,7	0,003	**Умеренный смыв** *Moderate flushing*	**Северо-Западная** *Northwest*
Осень *Autumn* 2022	5	150	198	4,6	13,3	0,003	**Слабый смыв** *Weak flush*	**Юго-Западная** *Southwest*
Осень *Autumn* 2023	2	197	177	6	3,9	0,011	**Умеренный смыв** *Moderate flushing*	**Южная** *South*
Осень *Autumn* 2023	3	175	177	6	5,7	0,003	**Умеренный смыв** *Moderate flushing*	**Северо-Западная** *Northwest*
Осень *Autumn* 2023	5	150	177	6	13,3	0,003	**Слабый смыв** *Weak flush*	**Юго-Западная** *Southwest*
Осень *Autumn* 2024	2	197	212	7,7	3,9	0,011	**Умеренный смыв** *Moderate flushing*	**Южная** *South*
Осень *Autumn* 2024	3	175	212	7,7	5,7	0,003	**Умеренный смыв** *Moderate flushing*	**Северо-Западная** *Northwest*
Осень *Autumn* 2024	5	150	212	7,7	13,3	0,003	**Слабый смыв** *Weak flush*	**Юго-Западная** *Southwest*

факторов с последующим варимакс-вращением для упрощения интерпретации. Каждый выделенный главный компонент наделен семантическим значением. Для каждой переменной рассчитаны показатели общности (h^2) и специфичности (u^2), характеризующие степень включенности в факторную модель. Визуализация выполнена с использованием лепестковых и корреляционных диаграмм.

Результаты и их обсуждение. В процессе анализа выявлены три главные компоненты (далее – ГК), совокупно объясняющие 78,33% общей дисперсии (табл. 3):

• $ГК_1$ «Тепловой режим и химические свойства почвы» – 36,035% дисперсии;

• $ГК_2$ «Интенсивность эрозии и положение в рельефе» – 28,532% дисперсии;

• $ГК_3$ «Инсоляция и гидродинамика русла» – 13,766% дисперсии.

Совокупность выделенных факторов демонстрирует, что изменчивость пахотного слоя почв обусловлена комплексным взаимодействием климатических, топографических и гидрологических условий, а также биогеохимических процессов, происходящих в бассейне малой реки [6].

Повернутая матрица компонентов (столбцы $ГК_1$-$ГК_3$), отражающая факторные нагрузки переменных на соответствующие оси, а также матрица взаимных корреляций между исходными показателями (X_1-X_{14}) представлены в таблице 4. Это позволяет выявить, какие именно показатели вносят наибольший вклад в формирование каждого из выделенных факторов. Высокие по модулю значения нагрузок ($|r| > 0,6$) свидетельствуют о тесной связи переменной с главным компонентом и дают возможность их содержательной семантической интерпретации. Так, по матрице можно проследить объединение почвенно-химических параметров в составе $ГК_1$, топографических и эрозионных характеристик рельефа в $ГК_2$, а также экспозиционных и гидродинамических условий в $ГК_3$.

Таким образом, корреляционная матрица (табл. 4) служит основанием для факторной интерпретации и последующего выделения ведущих почвенно-экологических градиентов в бассейне малой реки Локнаш.

Следующим шагом стало наделение выделенных главных компонентов семантическим значением, то есть их интерпретация с точки зрения реальных почвенно-экологических процессов, отражающих влияние климатических, гидрологических, химических и морфометрических показателей и факторов на изменчивость свойств пахотного слоя.

Компонент I «Тепловой режим и химические свойства почвы» объединяет параметры, связанные с термическими и биохимическими условиями почвообразования. Положительные значения компонента характеризуют участки с повышенной средней температурой (до 7,7°С), кислой реакцией водной вытяжки pH (6,0-6,1), высокой общей численностью микроорганизмов (ОМЧ до 1 млн и фосфора (до 702 мг/кг), но пониженным содержанием азота (28-48 мг/кг) и калия (46-81 мг/кг).

Отрицательные значения, напротив, соответствуют холодным (4,6°С), влажным (21-24%) и богатым азотом почвам с повышенным содержанием калия (по сравнению с положительным значением компонента – на 13-17 пунктов) 59-97 мг/кг и сниженным содержанием фосфора 76-180 мг/кг. Это позволяет интерпретировать $ГК_1$ как градиент от «теплых окультуренных почв с низким азотным фоном, подверженным фосфорными загрязнениям» к «холодным переувлажненным почвам с более высоким содержанием азота и калия».

Компонент II «Интенсивность эрозии и положение в рельефе» отражает влияние рельефа и гидрологических процессов. Положительные значения ассоциированы с близостью к истоку водотока (3,9-5,9 км), высокими абсолютными отметками (до 197 м), уплотненными почвами (плотность – 1,27-1,37 г/см³), расположенными в зонах с умеренным смывом. Отрицательные значения свойственны удаленным от истока участкам (13,3-13,5 км), расположенным в зонах со слабым смывом и рыхлыми почвами (плотность – 1,13-1,17 г/см³).

Таблица 3. **Доля объяснённой дисперсии главных компонент**

Table 3. **Proportion of explained dispersion of principal components**

Компонент *Component*	**Собственное значение** *Eigenvalue*	**Дисперсии%** *Dispersion%*	**Кумулятивный%** *Cumulative%*
$ГК_1$	5,045	36,035	36,035
$ГК_2$	3,995	28,532	64,567
$ГК_3$	1,927	13,766	78,333

Таблица 4. **Корреляция переменных (X_1-X_{14}) и главных компонент с X_1-X_{14}**

Table 4. **Correlation of variables (X_1-X_{14}) and principal components with X_1-X_{14}**

ГК и Переменные *PC and Variables*	**ГК $_1$** ***PC$_1$***	**ГК $_2$** ***PC$_2$***	**ГК $_3$** ***PC3***	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
ГК $_1$ / *PC$_1$*	1								
ГК $_2$ / *PC$_2$*	0,000	1							
ГК $_3$ / *PC3*	0,000	0,000	1						
Азот – *X$_1$* / *Nitrogen – **X$_1$***	–0,838	0,221	–0,061	1					
Калий – *X$_2$* / *Potassium – **X$_2$***	–0,714	–0,078	0,200	0,626	1				
Фосфор – *X$_3$* / *Phosphorus – **X$_3$***	0,642	–0,219	–0,274	–0,392	–0,536	1			
pH водной вытяжки – *X$_4$* *pH of the aqueous extract -**X$_4$***	0,891	–0,144	0,056	–0,630	–0,448	0,568	1		
ТВС – *X$_5$* / *TBC – X5*	0,768	–0,022	0,362	–0,765	–0,419	0,130	0,735	1	
Плотность – *X$_6$* / *Density – **X$_6$***	–0,039	0,919	–0,223	0,173	0,060	–0,234	–0,193	–0,076	1
Влажность – *X$_7$* / *Humidity – **X$_7$***	–0,835	–0,088	–0,100	0,815	0,355	–0,473	–0,687	–0,678	–0,180
Абсолютная отметка – *X$_8$* *Absolute mark – **X$_8$***	–0,055	0,850	0,511	0,238	0,030	–0,303	–0,142	0,081	0,635
Сумма осадков – *X$_9$* *Total precipitation – **X$_9$***	0,316	–0,004	–0,099	0,089	–0,311	0,386	0,489	–0,063	–0,177
Средняя температура -*X$_{10}$* *Average temperature – **X$_{10}$***	0,985	0,047	0,013	–0,747	–0,679	0,641	0,922	0,733	–0,016
Расстояние от Истока – *X$_{11}$* *Distance from Source – **X$_{11}$***	0,054	–0,965	–0,237	–0,268	0,025	0,287	0,166	–0,012	–0,808
Уклон русла реки – *X$_{12}$* *Slope of the riverbed – X$_{12}$*	–0,044	0,445	0,875	0,127	0,119	–0,260	–0,066	0,184	0,181
Склон – *X$_{13}$* / *Slope – **X$_{13}$***	–0,051	0,992	0,062	0,275	–0,056	–0,265	–0,173	–0,030	0,875
Экспозиция склона – *X$_{14}$* **Slope exposure – *X$_{14}$***	–0,021	–0,059	0,974	–0,012	0,169	–0,147	0,024	0,230	–0,297
Переменные / *Variables*	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
Плотность – *X$_6$* / *Density – **X$_6$***	1								
Влажность – *X$_7$* / *Humidity – **X$_7$***	–0,180	1							
Абсолютная отметка – *X$_8$* *Absolute mark – **X$_8$***	0,635	–0,037	1						
Сумма осадков – *X$_9$* *Total precipitation – **X$_9$***	–0,177	0,042	0,000	1					
Средняя температура -*X$_{10}$* *The average temperature-X$_{10}$*	–0,016	–0,791	0,000	0,448	1				
Расстояние от Истока – *X$_{11}$* *Distance from Source – **X$_{11}$***	–0,808	0,021	–0,954	0,000	0,000	1			
Уклон русла реки – *X$_{12}$* *Slope of the riverbed – X$_{12}$*	0,181	–0,056	0,847	0,000	0,000	–0,648	1		
Склон – *X$_{13}$* / *Slope – **X$_{13}$***	0,875	–0,011	0,884	0,000	0,000	–0,983	0,500	1	
Экспозиция склона – *X$_{14}$* *Slope exposure – **X$_{14}$***	–0,297	–0,059	0,468	0,000	0,000	–0,180	0,866	0,000	1

Таким образом, $ГК_2$ разделяет зоны активной эрозии в верхних частях склонов и стабильные аккумулятивные участки в их нижних частях.

Компонент III «Инсоляция и гидродинамика русла» связан с ориентацией склонов и гидрологическим режимом. Положительные значения соответствуют южным и юго-западным экспозициям, крутым уклонам русла (0,011), а отрицательные – северо-западным теневым склонам и пологим участкам (уклон – 0,003). Это указывает на роль инсоляции в дифференциации почвенного покрова.

Таким образом, выделенные компоненты демонстрируют, что пространственная изменчивость свойств пахотного слоя почв в бассейне малой реки Локнаш определяется:

• климатическими условиями и биогенным загрязнением ($ГК_1$);

• эрозионными процессами и положением в рельефе ($ГК_2$);

• экспозиционной неоднородностью ($ГК_3$).

Участки с положительными значениями $ГК_1$ – это пункты осенью 2023-2024 гг. По причине повышенного содержания фосфора и кислой среды почвы возникает риск эвтрофикации водоема. Превентивными мелиоративными мероприятиями будут являться: посев сидератов (люпин, горчица); известкование почвы; снижение дозы фосфорных удобрений; перехват диффузного стока.

Участки с отрицательными значениями $ГК_1$ – это пункты осенью 2022 г. Ввиду застоя влаги в почве наблюдается переувлажнение и возникает риск гидравлического выноса азота в водоприемник. Превентивными мелиоративными мероприятиями будет являться устройство дренажа с биоплато для очистки дренажных вод.

Участки с положительными значениями $ГК_2$ – это створы 2 и 3 осенью 2022-2024 гг. Ввиду повышения плотности возникает риск эрозии почвы, а влияние склона предопределяет диффузный сток. Превентивными мелиоративными мероприятиями будут являться: внесение структурообразователей; контурное земледелие; устройство лесополос и водозадерживающих валов.

Участки с отрицательными значениями $ГК_2$ – это створ 5 в 2022-2024 гг. Благодаря застою влаги в почве наблюдается переувлажнение. Превентивными мелиоративными мероприятиями будут являться: устройство дренажа; перехват поверхностного стока; подбор влаголюбивых культур.

Участки с положительными значениями $ГК_3$ – это створ 2 в 2022-2024 гг. и створ 5 в 2023 г. По причине недостатка влаги происходит ускоренное разложение органики, что еще больше ускоряет непроизводительные потери влаги почвы на испарение. Превентивными мелиоративными мероприятиями будут являться: мульчирование; интенсивный режим орошения; введение культур с коротким вегетационным периодом.

Участки с отрицательными значениями ГК3 – это створ 3 2022-2024 гг. и створ 5 в 2022 и 2024 гг.

Ввиду низкой аэрации почвы снижается интенсивность минерализации органики, наблюдается повышение кислотности. Превентивными мелиоративными мероприятиями будут являться: щелевание; рыхление; посев трав с мощной корневой системой (тимофеевка, мятлик); известкование.

Расчет общности и специфичности в анализе главных компонент

1. *Основные понятия*

• Общность (h^2) – доля дисперсии переменной, объясняемая выделенными главными компонентами. Показывает, насколько хорошо переменная представлена в факторной модели.

• Специфичность (u^2) – доля дисперсии, необъясняемая моделью ($u^2 = 1 - h^2$). Включает в себя случайную ошибку и уникальные факторы, не связанные с компонентами [7].

2. *Алгоритм расчета*

Шаг 1. Стандартизация данных. Перед PCA все переменные стандартизируются (приводятся к среднему – 0, SD – 1), чтобы избежать влияния масштаба [8].

Шаг 2. Вычисление матрицы факторных нагрузок. После Varimax-вращения получаем матрицу нагрузок L, где элемент l_{ij} показывает корреляцию i-й переменной с j-й компонентой.

Шаг 3. Расчет общности для каждой переменной. Общность h^2_i для переменной i вычисляется как сумма квадратов ее нагрузок по всем компонентам:

$$h_i^2 = \sum_{j=1}^{k} l_{ij}^2, \quad (1)$$

где: k – число выбранных компонентов.

Пример. Для переменной pH с нагрузками по ГК соответствует следующим параметрам: Компонент 1 = 0,89; Компонент 2 = –0,14; Компонент 3 = 0,06

Общность: $h_{pH}^2 = 0{,}89^2 + (-0{,}14)^2 + 0{,}06^2 = 0{,}792 + 0{,}020 + 0{,}004 = 0{,}816$.

Таблица 5. **Значения общности и специфичности переменных**

Table 5. **Values of generality and specificity of variables**

Переменная *Variable*	**Общность** *Generality*	**Специфичность** *Specificity*	**Переменная** *Variable*	**Общность** *Generality*	**Специфичность** *Specificity*
Азот / *Nitrogen*	0,755	0,245	**Абсолютная отметка** *Absolute mark*	0,985	0,015
Калий / *Potassium*	0,556	0,444	**Сумма осадков** *Total precipitation*	0,110	0,89
Фосфор / *Phosphorus*	0,536	0,464	**Средняя температура** *Average temperature*	0,973	0,027
pH	0,816	0,183	**Расстояние от истока** *Distance from source*	0,991	0,009
ОМЧ	0,722	0,278	**Уклон русла реки** *River bed slope*	0,965	0,035
Плотность / *Density*	0,896	0,104	**Склон** / *Slope*	0,991	0,009
Влажность / *Humidity*	0,715	0,285	**Экспозиция склона** *Slope exposure*	0,953	0,047

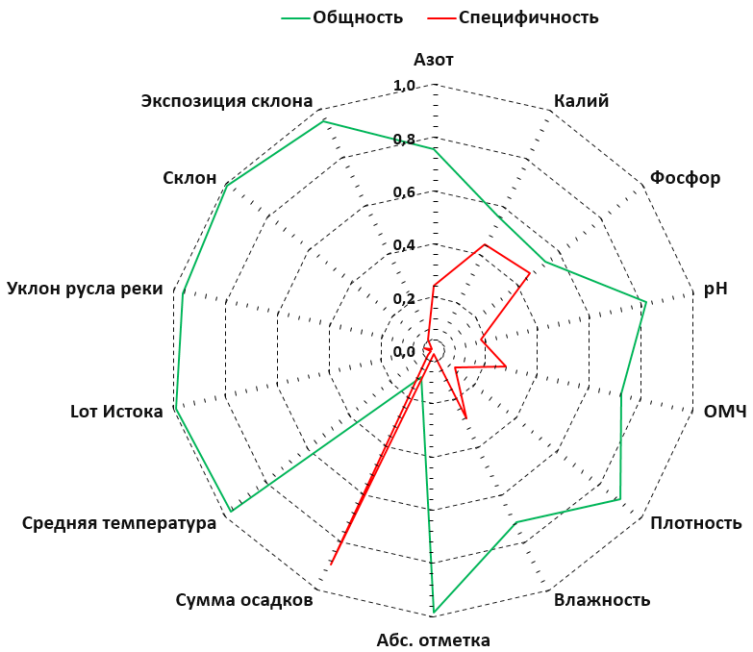

Рис. **Диаграмма общности и специфичности переменных**

Fig. **Diagram of generality and specificity of variables**

В соответствии с вышеизложенным алгоритмом расчета были определены значения общности и специфичности переменных (табл. 5).

На основе представленного расчёта общности и специфичности получена лепестковая диаграмма (рис.).

Общность характеризует долю дисперсии каждой переменной, объясняемую выделенными латентными факторами, и отражает степень объясненного показателя в общей модели [9]. Высокие значения общности (более 0,8) наблюдаются для экспозиции склона, угла склона, уклона русла реки, расстояния от истока, средней температуры воздуха, абсолютной отметки, плотности и pH водной вытяжки, что указывает на их сильную связь с факторами модели. Эти переменные являются наиболее информативными при комплексной оценке состояния водосборной территории.

Специфичность отражает долю уникальной дисперсии переменной, необъясняемой выделенными факторами, то есть степень ее независимости от модели [10].

Наибольшая специфичность зафиксирована у суммы осадков, а также у ряда химических показателей (калий, фосфор), что свидетельствует о наличии у этих переменных индивидуальных особенностей, не связанных с основной факторной структурой.

Выводы

В результате анализа методом главных компонентов (PCA) установлено, что изменчивость свойств пахотного слоя в бассейне малой реки Локнаш определяется тремя интегральными факторами, которые совокупно объясняют 78,33% общей дисперсии: $ГК_1$ «Тепловой режим и химические свойства почвы» (36,04%), $ГК_2$ «Интенсивность эрозии и положение в рельефе» (28,53%), $ГК_3$ «Инсоляция и гидродинамика русла» (13,77%). Показано, что высокие значения общности (>0,8) характерны для таких показателей, как экспозиция склона, уклон русла, расстояние от истока, абсолютная отметка, средняя температура воздуха, плотность и pH. Эти переменные являются наиболее информативными при комплексной оценке состояния почвенного покрова. Наибольшая специфичность зафиксирована у суммы осадков, а также у отдельных химических показателей (калий, фосфор), что отражает их относительную автономность и необходимость отдельного учета при экологическом мониторинге.

Пространственная изменчивость почв бассейна Локнаша определяется сочетанием климатических условий, биогенных нагрузок, эрозионных процессов и рельефной неоднородностью. Это указывает на необходимость дифференцированного подхода к управлению агроландшафтами в бассейне малых рек.

На основе факторного анализа выделены зоны с повышенным риском. Для $ГК_1$ участки с избытком фосфора и кислой реакцией требуют известкования и ограничения фосфорных удобрений, тогда как холодные и влажные почвы с высоким содержанием азота нуждаются в дренажных и биофильтрационных системах. По $ГК_2$ верхние части склонов характеризуются риском эрозии и требуют внедрения контурного земледелия, лесополос и водозадерживающих сооружений, тогда как аккумулятивные зоны в нижнем течении нуждаются в регулировании влажности. По $ГК_3$ южные экспозиции подвержены риску пересыхания и требуют мер по сохранению влаги, в то время как теневые склоны нуждаются в улучшении аэрации и регулировании кислотности.

Полученные результаты имеют практическое значение для оптимизации мелиоративных мероприятий в бассейне малой реки включая зонирование территории по риску эрозии, корректировку систем удобрений, мероприятия по перехвату диффузного стока и учет микроклиматических условий при земледельческом освоении.

Список использованных источников

1. Убугунов Л.Л. Почвенно-экологическое районирование почв бассейна озера Байкал / Л.Л. Убугунов, И.А. Белозерцева, В.И. Убугунова [и др.] // Современные проблемы биологии, экологии и почвоведения: материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию высшего биологического образования в Восточной Сибири, Иркутск, 19-20 сентября 2019 года / Иркутский государственный университет. Иркутск: Иркутский государственный университет, 2019. С. 336-342. EDN: KFLLYC

2. Галеева Л.П. Фосфатный режим солонцов лесостепной зоны Барабинской низменности при гипсовании и внесении минеральных удобрений: специальность 06.01.04 «Агрохимия»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Галеева Любовь Павловна. Новосибирск, 1991. 18 с. EDN: ZKBPQH

3. Даулетбай С.Д. Экологическое обоснование режима мелиорации сельскохозяйственных земель при комплексном обустройстве водосборов бассейна реки Шу / С.Д. Даулетбай, А.Т. Козыкеева, Ж.С. Мустафаев, Л.В. Кирейчева // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы международной научно-практической конференции, Москва, 29-30 марта 2016 года. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2016. С. 186-190. EDN: WZOUWV

4. Хлюстов В.К., Светлова Г.Н. Математическое моделирование лесных экосистем: Учебное пособие/ В.К. Хлюстов, Г.Н. Светлова. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 199 с.

References

1. Ubugunov L.L. Soil and ecological zoning of the soils of Lake Baikal basin / L.L. Ubugunov, I.A. Belozertseva, V.I. Ubugunova [et al.] // Modern problems of biology, ecology and soil science: proceedings of the International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of Higher Biological Education in Eastern Siberia, Irkutsk, September 19-20, 2019 / Irkutsk state University. Irkutsk: Irkutsk State University, 2019. P. 336-342. EDN: KFLLYC

2. Galeeva L.P. Phosphate regime of solonets of the forest-steppe zone of the Barabinsk lowland during gypsum formation and application of mineral fertilizers: specialty 06.01.04 "Agrochemistry": abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Agricultural Sciences / Galeeva Lyubov Pavlovna. Novosibirsk, 1991. 18 p. EDN: ZKBPQH

3. Dauletbai S.D. Environmental justification of the regime of agricultural land reclamation in the integrated management of the catchments of the Shu river basin / S.D. Dauletbai, A.T. Kozykeeva, J.S. Mustafaev, L.V. Kireicheva // Land reclamation and water management: problems and solutions: proceedings of the international scientific and practical conference, Moscow, March 29-30, 2016. Moscow: All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, 2016. P. 186-190. EDN: WZOUWV

4. Khlyustov V.K., Mathematical modeling of forest ecosystems: Textbook / V.K. Khlyustov, G.N. Svetlova. Moscow: FSBI "Rosinformagrotech", 2017. 199 p.

5. Pechenkin V.V. Factor analysis of statistical data / V.V. Pechenkin, D.A. Zaichenko // Management problems in socio-economic and technical systems: Collection of scientific articles Proceedings of the XV International Scientific

5. Печенкин В.В. Факторный анализ статистических данных / В.В. Печенкин, Д.А. Заиченко // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах: Сборник научных статей Материалы XV Международной научно-практической конференции, Саратов, 18-19 апреля 2019 года. Саратов: ООО Издательский дом «Наука», 2019. С. 33-36. EDN: VPNAOE

6. Стафийчук И.Д. Территориальное планирование. Научная основа и практика: учебное пособие. / И.Д. Стафийчук, Р.Р. Хисамов, Ю.Г. Безбородов. М.: Российский государственный аграрный университет, 2024. 190 с. ISBN 978-5-00207-555-3. EDN: FSAAGW

7. Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных: учебник: / А.А. Халафян; А.А. Халафян. 2-е изд. М.: Бином, 2010. 522 с. ISBN 978-5-9518-0370-2. EDN: QTNDAX

8. Тебекин А.В. Анализ инструментов статистического анализа с позиций стратегического развития экономики отечественной промышленности / А.В. Тебекин, П.А. Тебекин, А.А. Егорова // Журнал экономических исследований. 2020. Т. 6, № 6. С. 33-46. EDN: AZWLUG

9. Хлюстов В.К. Физико-химический состав почв и рост насаждений / В.К. Хлюстов, В.Д. Наумов, А.М. Ганихин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2022. № 1(53). С. 90-105. EDN: TRGCIJ. DOI: 10.25686/2306-2827.2022.1.90

10. Горохов М.М. Факторный анализ данных / М.М. Горохов, Л.Г. Саетова // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2020. № 4(43). С. 65-69. EDN: AXDQYR

and Practical Conference, Saratov, April 18-19, 2019. Saratov: Nauka Publishing House, LLC, 2019. P. 33-36. EDN: VPNAOE

6. Stafiychuk I.D. Territorial planning. Scientific basis and practice / I.D. Stafiychuk, R.R. Khisamov, Yu.G. Bezborodov. – Moscow: Russian State Agrarian University, 2024. 190 p. ISBN 978-5-00207-555-3. EDN: FSAAGW

7. Khalafyan A.A. STATISTICA 6. Statistical data analysis: textbook: textbook / A.A. Khalafyan; A.A. Khalafyan. – 2nd ed. – Moscow: Binom, 2010. 522 p. ISBN 978-5-9518-0370-2. EDN: QTNDAX

8. Tebekin A.V. Analysis of statistical analysis tools from the perspective of the strategic development of the economy of domestic industry / A.V. Tebekin, P.A. Tebekin, A.A. Egorova // Journal of Economic Research. 2020. Vol. 6, No. 6. P. 33-46. EDN: AZWLUG

9. Khlyustov V.K. Physico-chemical composition of soils and growth of plantings / V.K. Khlyustov, V.D. Naumov, A.M. Ganikhin // Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Prirodoobustrojstvo. 2022. No. 1(53). P. 90-105. EDN: TRGCIJ. DOI: 10.25686/2306-2827.2022.1.90 EDN: TRGCIJ

10. Gorokhov M.M. Factor analysis of data / M.M. Gorokhov, L.G. Saetova // Socio-economic management: theory and practice. 2020. No. 4(43). P. 65-69. EDN: AXDQYR

Об авторах

Даниил Сергеевич Искричев, аспирант кафедры землеустройства и лесоводства, iskri4ev@mail.ru

Юрий Германович Безбородов, д-р техн., наук, профессор; зав. кафедрой землеустройства и лесоводства; ORCID: 0000-0001-5293-2342, Scopus 6603491005, WOS Researcher ID: G-7544-2018, РИНЦ ID: 271273, ubezborodov@rhau-msha.ru

Виталий Константинович Хлюстов, д-р с.-х. наук, профессор кафедры землеустройства и лесоводства; ORCID: 0000-0001-8323-5750, Scopus 57210104945, WOS Researcher ID: AAE-7093-2022, РИНЦ ID: 507286, vkhlyustov@rgau-msha.ru

About the authors

Daniil S. Iskrichev, postgraduate student of the Department of Land Management and Forestry; iskri4ev@mail.ru

Yuri G. Bezborodov, DSc (Tech), Head of the Department of Land Management and Forestry, ORCID: 0000-0001-8323-5750, Scopus 6603491005, WOS Researcher ID: G-7544-2018, RSCI ID: 271273, ubezborodov@rgau-msha.ru

Vitaliy K. Khlyustov, DSc (Agro), professor of the department of Land management and Forestry; ORCID: 0000-0001-8323-5750, Scopus 57210104945, WOS Researcher ID: AAE-7093-2022, RSCI ID: 507286, vkhlyustov@rgau-msha.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Искричев Д.С., Безбородов Ю.Г., Хлюстов В.К. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

D.S. Iskrichev, Yu.G. Bezborodov, V.K. Khlyustov carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

Вклад авторов / Authors' contributions

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 21.08.2025

Поступила после рецензирования / Received after peer review 07.11.2025

Принята к публикации после доработки / Accepted for publication 07.11.2025