

УДК: 631.45: 421

DOI: 10.18522/2308-9709-2025-51-4

Применение метода главных компонент для выявления оптимальных параметров почвенного плодородия черноземов обыкновенных Ростовской области

Гаевая Э.А.

ФГБНУ Федеральный Ростовский аграрный научный центр,

п. Рассвет, Россия

*e-mail:emmaksay@inbox.ru

Аннотация

Исследования проводили в Аксайском районе Ростовской области в 2019–2022 гг. в длительном полевом эксперименте на эрозионно-опасном склоне юго-восточной экспозиции крутизной до 3,5–4° балки Большой Лог. Изучали агрофизические и агрохимические свойства чернозема обыкновенного в чистом пару и под озимой пшеницей, посеянной по различным предшественникам. Цель работы заключалась в выявлении наиболее значимых параметров почвенного плодородия для возделывания озимой пшеницы. На основании проведения анализа главных компонент распределение агрофизических и агрохимических показателей черноземов обыкновенных, были выделены четыре главные компоненты (ГК), которые описывали 83,1 % общей дисперсии. Первая главная компонента характеризует обратную зависимость показателей состояния структуры от влажности почвы. Вторая главная компонента отражает взаимосвязь агрофизических и агрохимических свойств почвы (сток воды, количество водопрочных агрегатов и содержание макроэлементов, гумуса). Третья главная компонента выявляет связь между гребнистостью, запасом воды в снеге, водопроницаемостью и смывом почвы. Четвертая главная компонента выявила связь плотности почвы и мезоагрегатов. Предложенный подход может быть применен для выявления наиболее значимых параметров почвенного плодородия, оптимальных при возделывании озимой пшеницы.

Ключевые слова: анализ главных компонент, физические и химические свойства почвы, структурно-агрегатный состав, чернозем обыкновенный.

UDC: 631.45: 421

DOI:

Application of the main component method to identify optimal parameters of soil fertility of common chernozems of the Rostov region

Gaevaya Emma A.

*FSBSI Federal Rostov Agricultural Research Centre, Rassvet village,
Russian Federation*

Abstract. The research was carried out in 2019-2022 in a long-term field experiment on the erosion-prone slope of the southeastern exposure with a steepness of up to 3.5-4° of the Bolshoy Log gulch in the Aksai district of the Rostov region. The agrophysical and agrochemical properties of ordinary chernozem in pure steam and under winter wheat sown according to various precursors were studied. The aim of the work was to identify the most significant parameters of soil fertility for winter wheat cultivation. Based on the analysis of the main components of the distribution of agrophysical and agrochemical indicators of common chernozems, four main components (GC) were identified, which described 83.1% of the total dispersion. The first main component characterizes the inverse dependence of agrophysical parameters (mesoaggregates, coarse and dusty fractions) on soil moisture. The second main component reflects the relationship between the agrophysical and agrochemical properties of the soil (water runoff, the number of water-resistant aggregates and the content of macronutrients, humus). The third main component reveals the relationship between the ridge, the water supply in the snow, water permeability and soil flushing. The fourth main component revealed a relationship between soil density and mesoaggregates. The proposed approach can be applied to identify the most significant parameters of soil fertility that are optimal for winter wheat cultivation.

Keywords: analysis of the main components, physical and chemical properties of the soil, structural and aggregate composition, ordinary chernozem.

Введение

Получение большого количества данных затрудняет их интерпретацию и осложняет выявление зависимостей между ними без потерь сведений об исходном состоянии. Методы многомерного анализа позволяют определить минимальное число признаков, по которым можно оценить основные показатели почвенного плодородия с наименьшими потерями. Анализ многомерных выборок проводится с использованием методов многомерного статистического анализа: факторного, кластерного, таксономического, множественного и пошагового регрессионного, канонического, дискриминантного и других (Иванова и др., 2008; Мусинов и Сурначев, 2024).

Анализ главных компонент (РСА) является методом сокращения и систематизации данных. Информативность многомерного описания объекта возрастает с увеличением количества используемых признаков. Однако очень трудно сразу выбрать и существенные и независимые друг от друга признаки. Поэтому в процессе работы возникает необходимость интерпретации большого объема полученных данных. Объединение двух или нескольких переменных в один фактор позволяет сгруппировать близкие по степени влияния переменные и сократить количество исходных значений. Новый фактор, полученный в результате преобразования, является линейной комбинацией двух или нескольких исходных переменных. Анализ главных компонент позволяет объединить две коррелированные переменные в один фактор, в этом и есть главная идея анализа (Дукатова, и др., 2023).

Поэтому для сокращения числа переменных и наблюдений, а также определения структуры взаимосвязей между ними при помощи создания нового факторного пространства, был использован метод многомерной статистики – анализ главных компонент (Русанов и др., 2008). Выявление связей при большом наборе данных в корреляционно-регрессионном анализе является труднодостижимой целью, поэтому ставится задача сжатия изучаемых показателей в укрупненные категории или показатели, которые называются «главными компонентами» (ГК).

Сохранение и рациональное использование земель в сельскохозяйственном производстве определяется интенсивностью и направленностью биохимических процессов. Агрономическая ценность содержания в почве основных элементов питания во многом влияет на ее агрофизические свойства, такие как водоудерживающая способность, плотность, структура, которые в свою очередь достигаются в процессе обработки почвы. Поэтому выявление основных агрохимических и агрофизических показателей плодородия и их взаимодействие является наиболее значимым этапом для установления количественных и качественных закономерностей динамики процессов, происходящих в почве, необходимых для решения ряда теоретических и методологических проблем современного земледелия.

Цель данной работы – выявление наиболее значимых параметров почвенного плодородия для возделывания озимой пшеницы.

Условия, материалы и методы исследования

Полевые исследования проводили в 2019–2022 гг. в длительном полевом эксперименте на эрозионно-опасном склоне юго-восточной экспозиции крутизной до 3,5–4° балки Большой Лог Аксайского района Ростовской области. Опытный участок вписывается в контурно-ландшафтную систему организации территории склона, размещение культур – полосное, направление обработки почвы и посева – поперек склона приближенно к горизонталям. Опыт зарегистрирован в Российской Географической сети длительных опытов с удобрениями (аттестат № 169).

Почвенный покров участка представлен черноземом обыкновенным карбонатным среднесмытым среднемощным малогумусным тяжелосуглинистым на лессовидном суглинке (Классификация и диагностика почв СССР, 1977). Согласно международной классификации WRB почва диагностируется как Calcic Chernozem (Loamic, Pachic) (World reference base..., 2014). Мощность $A_{\text{пах}}$ – 25–30 см, $A+B$ – от 40 до 60 см – в зависимости от смывости. Горизонт А имеет зернистую структуру, АВ – орехово-комковатую и зернисто-комковатую. Вскипают почвы с поверхности или в верхней части гумусового горизонта. С той же глубины начинается отложение карбонатов, сначала в виде мицелия, потом в виде прожилок. На глубине 120 см или глубже появляется белоглазка.

Объектами исследования служила почва под чистым паром и озимой пшеницей, посеянной по предшественникам: чистый пар, озимая пшеница, горох, кукуруза. Минеральные удобрения вносили в дозе $N_{46}P_{30}K_{30}$ (106 кг д.в. на 1 га севооборотной площади). Использовали две системы обработки почвы: чизельную и отвальную – под предшествующую культуру.

Физические свойства почвы определяли по общепринятым методикам: продуктивную влагу в слое почвы 0–30 см по ГОСТ 82268-89; водопроницаемость почвы по Качинскому (Доспехов и др., 1987); агрегатный состав почвы проведен в образцах с ненарушенной структурой по методу Саввинова (методом качания сит) и просеивания в воде на приборе Бакшеева (Доспехов и др., 1987); определение плотности сложения в образцах с ненарушенным сложением (Доспехов и др., 1987). Определение гребнистости (путем накладывания шнура на поверхность опытной делянки после обработок) по методике Б.А. Доспехова [1979]; стока талой и ливневой воды методом микроплощадок (Методические рекомендации по учету..., 1975); запас воды в снеге (Доспехов Б.А., 1979); определение смыва и размыва почвы измерением объема водоройн – метод Н.В. Дьякова (1984). Показатели структурно-агрегатного состава и агрофизические свойства чернозёма обыкновенного, используемые для анализа главных компонент, представлены в таблицах 1–2.

Таблица 1 – Структурно-агрегатный состав чернозёма обыкновенного, %

Размер агрегатов, мм	Агрофон / способ обработки почвы									
	Чистый пар	Чистый пар	Озимая по пару	Озимая по пару	Озимая по озимой	Озимая по озимой	Озимая по гороху	Озимая по гороху	Озимая по кукурузе	Озимая по кукурузе
	Чиз.	Отв.	Чиз.	Отв.	Чиз.	Отв.	Чиз.	Отв.	Чиз.	Отв.
Сухое просеивание										
>10	11,0	8,6	9,0	8,9	6,7	7,6	5,5	6,0	10,1	8,8
7-10	10,5	10,0	8,5	8,3	8,1	9,8	11,6	8,9	8,8	7,4
5-7	9,2	8,9	10,7	9,2	10,7	11,3	14,6	10,5	8,4	7,8
3-5	11,4	12,9	10,3	12,1	16,4	16,5	20,1	15,3	12,4	10,8
2-3	8,8	8,9	9,6	8,6	12,3	11,6	12,0	11,2	10,1	9,1
1-2	18,8	16,5	18,2	15,6	18,7	16,8	14,5	16,5	16,2	15,8
0,5-1	6,0	8,7	8,8	9,5	10,0	8,9	5,2	9,3	9,2	10,4
0,25-0,5	7,9	8,1	9,7	10,1	9,2	8,9	6,3	9,9	9,7	11,8
<0,25	16,5	17,3	15,1	17,6	7,8	8,5	10,1	12,4	15,0	18,0
Мокрое просеивание										
>7	3,7	3,2	0,4	1,1	4,3	3,2	1,7	3,0	2,2	0,4
5-7	5,5	3,6	1,6	2,1	5,8	5,5	5,2	5,5	2,7	2,1
3-5	9,4	9,0	4,6	3,7	10,1	11,1	9,1	7,6	4,6	2,9

2-3	20,9	21,9	26,7	24,8	31,0	27,8	30,9	25,7	18,7	14,8
1-2	33,0	30,0	33,8	31,6	19,2	20,7	21,2	16,0	25,3	25,7
0,5-1	8,0	9,6	10,1	12,0	9,2	11,6	7,8	7,7	6,7	9,2
<0,25	19,4	22,7	22,8	24,7	20,4	20,2	24,3	34,6	39,8	44,9

Таблица 2 – Агрофизические свойства чернозём обыкновенного

Показатель	Агрофон / способ обработки почвы									
	Чистый пар	Чистый пар	Озимая по пару	Озимая по пару	Озимая по озимой	Озимая по озимой	Озимая по гороху	Озимая по гороху	Озимая по кукурузе	Озимая по кукурузе
	Чиз.	Отв.	Чиз.	Отв.	Чиз.	Отв.	Чиз.	Отв.	Чиз.	Отв.
Водопроницаемость, мм	1,36	1,10	1,63	1,34	1,30	1,21	1,28	1,24	1,29	1,25
Плотность, г/см ³	1,11	1,08	1,12	1,10	1,09	1,08	1,13	1,10	1,11	1,09
Влажность	21,7	26,0	42,3	27,0	9,2	8,3	6,5	8,3	8,6	9,1
Сток, мм	16,2	18,2	16,1	20,9	16,1	20,9	13,8	15,7	12,6	14,2
Смыв, т/га	9,4	10,6	5,2	6,5	5,2	6,5	6,1	7,9	5,5	6,3
Запас воды в снеге, мм	18,8	12,2	23,0	22,9	20,4	19,6	21,5	20,8	22,5	21,6
Гребнистость, %	10,2	12,4	9,6	9,5	9,4	9,8	9,3	9,5	9,4	9,2

Агрохимические свойства почвы: гумус определяли по методу Тюрина (ГОСТ 226213-91); содержания подвижных элементов питания N-NO₃; N-NH₄ (ГОСТ 26489-86, ГОСТ 26489-85); фосфор и калий по Мачигину (ГОСТ 26205-91). Основные агрохимические свойства почвы представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Агрохимические свойства чернозём обыкновенного

Агрофон	Способ обработки почвы	N _{общ} , %	pH	C _{орг.} , %	Ca ²⁺ , мг-экв/кг	Mg ²⁺ , мг-экв/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	N-NH ₄ , мг/кг	N-NO ₃ , мг/кг
Чистый пар	Чизельная	0,217	6,68	4,07	25,4	3,1	34,7	348	17,5	5,6
Чистый пар	Отвальная	0,207	7,07	3,74	26,5	3,1	31,8	420	16,2	4,3
Озимая по пару	Чизельная	0,207	7,25	3,76	25,3	2,4	34,7	348	14,4	8,6
Озимая по пару	Отвальная	0,222	7,22	3,7	26,1	2,3	31,8	420	14,8	7,2
Озимая по озимой	Чизельная	0,229	7,21	3,91	25,5	2,4	34,7	348	7,4	3,8

Озимая по озимой	Отвальная	0,206	7,28	3,34	25,4	2,4	31,8	420	6,0	2,8
Озимая по гороху	Чизельная	0,239	6,48	4,21	25,7	3,4	34,6	480	6,6	5,2
Озимая по гороху	Отвальная	0,229	6,28	4,18	25,3	4,0	36,0	485	6,7	4,1
Озимая по кукурузе	Чизельная	0,218	6,21	4,19	23,6	4,6	37,8	490	8,1	2,3
Озимая по кукурузе	Отвальная	0,219	6,71	3,94	25,8	3,5	34,4	460	10,1	5,5

Математическую обработку полученных результатов проводили с использованием Microsoft Excel и программе Statistica 13.3 (StatSoft, Inc. STATISTICA, 2020).

Для уменьшения размерности данных был использован анализ главных компонент (Principal Component Analysis – PCA), который является одним из широко используемых методов, направленных на изучение закономерностей при обработке многомерных данных. Он считается наиболее эффективным способом понижения размерности данных, позволяющим описывать объекты меньшим числом обобщенных показателей – главными компонентами (ГК). Анализ проведен на основе корреляционной матрицы с использованием программного обеспечения (StatSoft, Inc. STATISTICA, 2020).

Результаты и их обсуждение

На первом этапе анализа главных компонент определили минимальное число факторов, которые вносят максимальный вклад в дисперсию переменных. Простота фактора определяется дисперсией квадратов, его нагрузки близки к нулю или единице, то есть он описывается наиболее просто и поэтому его можно наилучшим образом интерпретировать. Для последующей интерпретации данных были отобраны ГК, сумма собственных значений которых была больше 70 % (Курякова, 2009).

В результате проведения анализа главных компонент для выявления собственных векторов и собственных значений на основе корреляционной матрицы с использованием исходных данных, которые имели разную размерность, все данные были сгруппированы в 32 ГК. В результате преобразований были получены третьи значения.

Анализ параметров почвенного плодородия проводили на основании результатов обследования почвы на агрохимические, агрофизические и водно-физические свойства на среднем уровне применения удобрений в

чистом пару и под посевами озимой пшеницы по различным предшественникам. Анализ этих значений приведен на Рисунке 1.

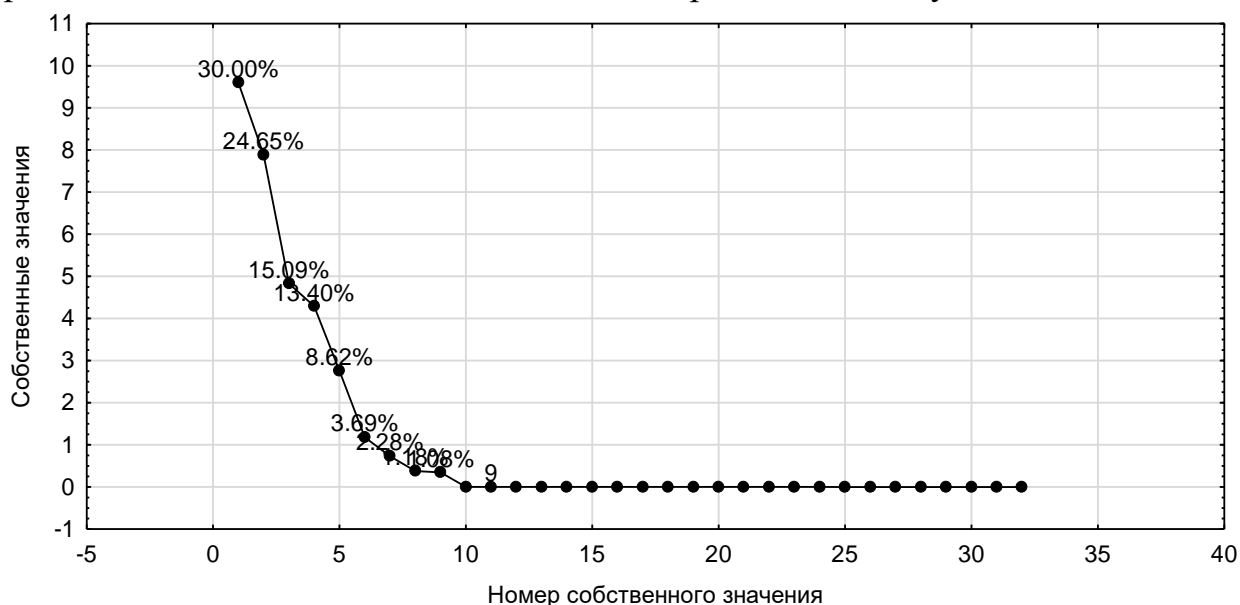


Рис. 1 – Кривая «каменистой осыпи»: зависимость критерия информативности от числа собственных значений

Из представленного графика, называемого «сломанная трость» или «каменистая осыпь», следует, что первые четыре ГК описывают 83,1 % в общей дисперсии всех изучаемых случаев. На основании критерия Кайзера мы можем отбирать для анализа только факторы с собственными значениями, большими «1» (Kaiser, 1960). Этим требованиям отвечают первые шесть ГК. Остальные главные компоненты вносят несущественный вклад в общую дисперсию и их можно не рассматривать (Таблица 4).

Таблица 4 – Собственные значения главных компонент

Главные компоненты	Собственные значения	Общая дисперсия, %	Кумулятивные собственные значения	Кумулятивный, %
1	9,6	30,0	9,6	30,0
2	7,9	24,7	17,5	54,7
3	4,8	15,1	22,3	69,8
4	4,3	13,4	26,6	83,1
5	2,8	8,6	29,4	91,8
6	1,2	3,7	30,6	95,5
7	0,7	2,3	31,3	97,7
8	0,4	1,2	31,7	98,9
9	0,3	1,1	32,0	100,0

Количество общих факторов или главных компонент заранее не известно. Общие и индивидуальные главные компоненты являются латентными, их значение невозможно измерить непосредственно. Задачами анализа главных компонент являются: сокращения числа переменных и определение структуры взаимосвязей между переменными, т.е. классификация переменных.

Зависимость между переменными можно определить на графике. Полученная линия регрессии дает графическое представление зависимости. Если определить новую переменную на основе линии регрессии, то такая переменная будет включать в себя наиболее существенные черты всех переменных, используемых для анализа. Отметим, что новый фактор в действительности является линейной комбинацией нескольких исходных переменных. Можно определить статистическую значимость собственных значений и выделить статистически значимые факторы с использованием этого критерия, впервые предложенного Кайзером. На рисунке 1 видна точка, с которой начинается убывание собственных значений, это и есть действительное количество факторов. Графическое изображение критерия представляет собой график зависимости собственных значений факторов от их номеров в порядке выделения.

В таблице 4 представлены собственные значения нового, выделенного фактора, на основании которого были вычленены четыре главные компоненты. Пятая и шестая ГК вносят несущественный вклад в общую дисперсию, хотя их собственные значения и больше единицы, поэтому нами были выделены первые четыре. Общая дисперсия равна числу переменных, в нашем случае их девять. Основным условием для выделения главных компонент являются первичные собственные значения больше единицы. Остальные компоненты, имеющие бесконечно малые значения, при анализе не учитывали. Как можно видеть из таблицы, первый фактор (ГК-1) объясняет третью часть (30,0 %) общей дисперсии, второй фактор – 24,7 %, третий и четвертый – 15,1 и 13,4 %, а все четыре фактора объясняют 83,1 % всех взаимодействий.

Факторные координаты или факторные нагрузки переменных показывают силу связи с фактором. Для этого рассматривали корреляцию между переменными и факторами, эти корреляции называются факторными нагрузками. Коэффициенты с высокими абсолютными значениями показывают, что фактор и переменная тесно взаимосвязаны между собой. Для интерпретации факторов были определены переменные, которые имеют наибольшие значения нагрузок по одному и тому же фактору.

Первый фактор или ГК1 условно можно назвать – агрофизические показатели. По первой ГК были отобраны факторные нагрузки или весовые коэффициенты, значение которых были больше 0,6–0,7. Сюда было отнесено большинство агрегатов различных размеров при просеивании на

воздухе и в воде, а также влажность почвы в слое 0–30 см. Здесь наблюдается общая закономерность: при увеличении количества мезоагрегатов (2–7 мм) уменьшается вклад крупноглыбистой и пылевой фракций в структуру почвы (Таблица 5).

Таблица 5 – Матрица факторных координат переменных на основе корреляций

Переменная	Главные компоненты			
	ГК1	ГК2	ГК3	ГК4
Количество агрегатов (просеивание на воздухе), %				
>10 мм	-0,71	-0,28	-0,29	0,22
7–10 мм	0,42	0,45	-0,32	0,61
5–7 мм	0,66	0,42	0,41	0,34
3–5 мм	0,87	0,41	0,11	-0,03
2–3 мм	0,87	0,24	0,32	-0,19
1–2 мм	-0,28	0,28	0,07	0,12
0,5–1 мм	-0,33	-0,24	0,15	-0,83
0,25–0,5 мм	-0,44	-0,55	0,20	-0,63
<0,25 мм	-0,76	-0,44	-0,35	0,18
Количество водопрочных агрегатов (просеивание в воде), %				
>7 мм	0,39	0,53	-0,46	-0,08
5–7 мм	0,69	0,53	-0,22	0,03
3–5 мм	0,50	0,78	-0,25	0,06
2–3 мм	0,48	0,63	0,52	0,14
1–2 мм	-0,85	-0,02	-0,03	0,48
0,5–1 мм	-0,54	0,55	0,40	-0,39
<0,25 мм	0,07	-0,89	-0,16	-0,35
N _{общ.} , %	0,71	-0,20	0,18	0,18
Влажность почвы в слое 0–30 см, мм	-0,80	0,17	0,21	0,41
N-NH ₄ , мг/кг	-0,82	0,13	-0,25	0,45
N-NO ₃ , мг/кг	-0,59	-0,01	0,50	0,47
Ca, мг-экв./100 г почвы	-0,31	0,59	-0,06	-0,05
Mg, мг-экв./100 г почвы	0,41	-0,73	-0,51	0,06
P ₂ O ₅ , мг/кг	0,43	-0,74	0,00	0,23
K ₂ O, мг/кг	0,47	-0,52	-0,27	-0,25
C _{орг.} , %	0,48	-0,61	-0,21	0,46
Сток, мм	-0,42	0,71	0,10	-0,33
Запас воды в снеге, мм	0,13	-0,54	0,77	0,03
Водопроницаемость, мм	-0,33	-0,19	0,72	0,48
Гребнистость, %	-0,36	0,48	-0,70	0,08
Смыв, т/га	-0,23	0,34	-0,83	0,18
Плотность, г/см ³	0,24	-0,36	0,37	0,81
pH	-0,54	0,68	0,40	-0,23

Первый фактор условно можно охарактеризовать, как отвечающий за жизнедеятельность растений и создающий оптимальные условия в первые фазы их развития. Он объединяет в себе наиболее значимые параметры для формирования урожая, которые создаются при обработке почвы: сохранение почвенной влаги при посеве (-0,80), создание оптимальной почвенной структуры (7–2 мм – 0,66–0,87; >10 мм – (-0,71); <0,25, мм – (-0,76)) и наличие в почве питательных веществ ($N_{\text{общ}}$ (0,71); $N\text{-NO}_3$ (-0,59) и $N\text{-NH}_4$ (-0,82)), необходимых для стартового роста растений.

На вторую главную компоненту (ГК2) приходится 24,7 % от общей дисперсии, и она отражает связь между агрофизическими и агрохимическими свойствами почвы. Они выявляют взаимосвязь почвенной структуры и содержания в почве основных элементов питания и обменных катионов: подвижных фосфора (-0,74) и калия (-0,52), органического вещества (-0,61), участвующего в образовании почвенных агрегатов, Ca^{+2} (0,59); Mg^{+2} (-0,73) и pH (0,68), поддерживающих водно-солевой баланс почвенного раствора. Так же в ГК2 наибольшие факторные нагрузки по модулю имеют такие показатели, как сток (0,71) и количество водопрочных агрегатов размеров > 7 мм (0,53), 3–5 мм (0,78), 2–3 мм (0,63) и >0,25 мм (-0,89). По-видимому, эти агрегаты, имея связь с показателем стока, подвержены в большей степени разрушению и переносу в потоках воды.

В.А. Холодов, Н.В. Ярославцева (2021) в своей работе выявили общие взаимосвязи между содержанием органического вещества и структурой почвы. Потеря органического углерода почвой обычно связана с процессами деградации структуры при ее интенсивной обработке, также с уменьшением количества агрономически ценных агрегатов снижается их водостойчивость. Отсюда можно сделать вывод, что разрушенные агрегаты, высыхая после увлажнения, образуют глыбистые частицы, которые отличаются от них по свойствам. В связи с тем, что образующиеся после распашки глыбы в основном не водостойчивы, а восстановление структуры связано с накоплением крупных агрегатов, можно предположить, что приобретение глыбами водостойчивости и снижение их размеров является ключевым механизмом восстановления структуры черноземов. Собственно, сначала должна полностью восстановиться водостойчивость, чтобы после этого восстановилась структура агрегатов.

На третью ГК 3 приходится только 15,1 % от общей дисперсии, и она показывает связь между смывом почвы (-0,83) и запасом воды в снеге (0,77), водопроницаемостью (0,72) и гребнистостью почвы (-0,70). Все эти показатели характеризуют процессы, происходящие при смыве почвы. Третья главная компонента объединяет показатели, влияющие на смыв почвы.

И последний фактор ГК4 (13,4 %), включающий показатель плотности почвы (0,81) и содержание мезоагрегатов, выделенных при просеивании на воздухе, размером 7–10 мм (0,61), 0,5–1 мм (-0,83) и 0,25–0,5 мм (-0,63). Плотность почвы имеет оптимальные значения непосредственно после обработки, а мезоагрегаты участвуют в образовании структуры почвы, капиллярного пространства и пористости почвы. Последнюю ГК4 условно можно назвать как характеризующую физические свойства почвы.

Эти данные отображены на «круге корреляций» факторных координат переменных и наблюдений (Рисунки 2 и 3).

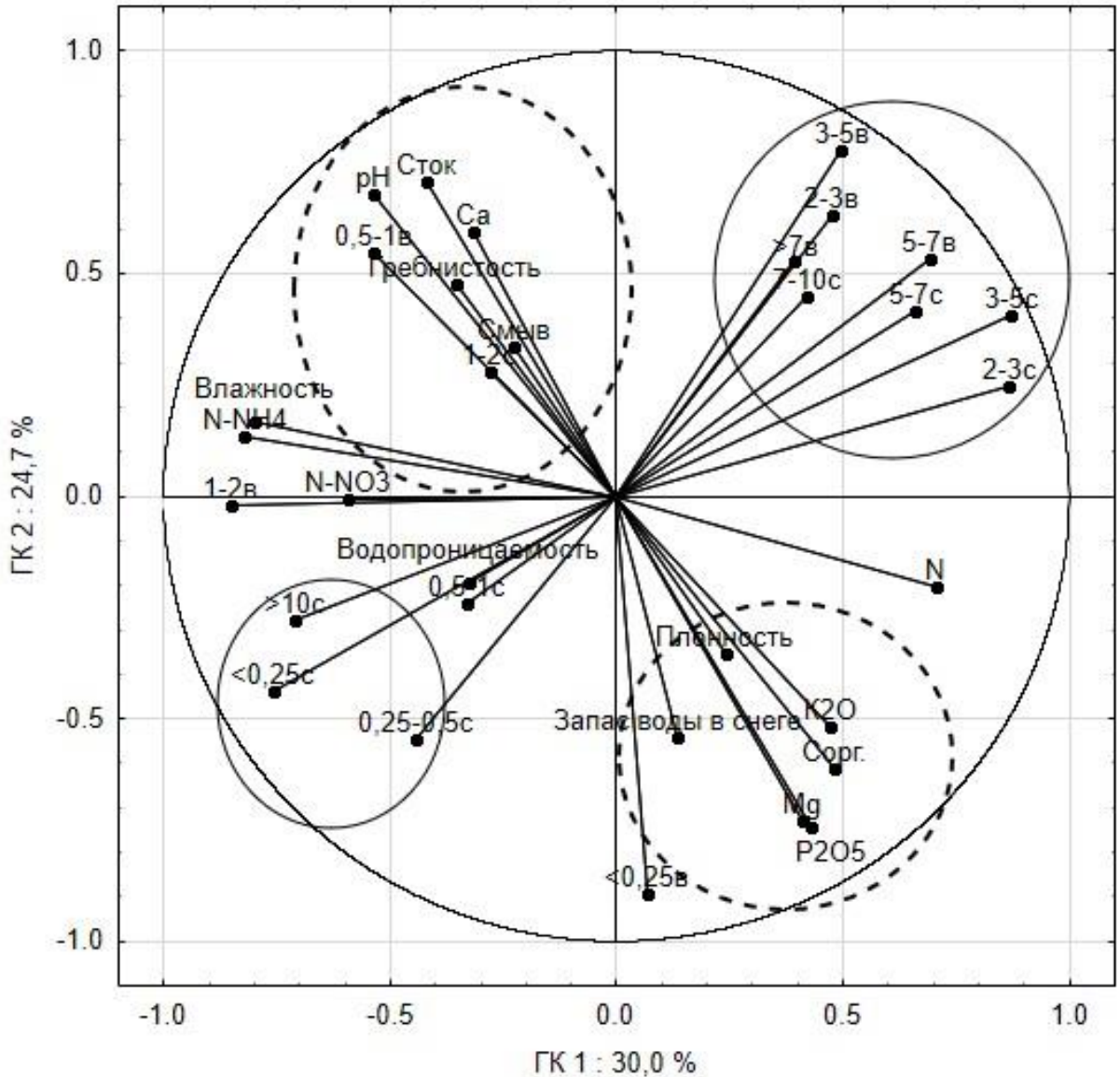


Рис. 2 – Факторные нагрузки главных компонент GK1 и GK2 основных агрохимических и агрофизических показателей чернозема обыкновенного в чистом пару и под озимой пшеницей

Близкое расположение переменной к единичной окружности показывает ее лучшее отображение в новой системе координат для первых четырех главных компонент. Из графика видно, что наибольшие факторные нагрузки приходятся на первые две главные компоненты – ГК 1 и ГК 2. Большинство факторных нагрузок имеет значения, близкие к 1, и расположены близко к окружности. Напротив, ГК 3 и ГК 4 находятся на значительном расстоянии от окружности, что говорит о меньшей общности или доли объясненной дисперсии, характеризующей степень общности переменной с другими переменными по заданному числу факторов (Холодов, Ярославцева, 2019).

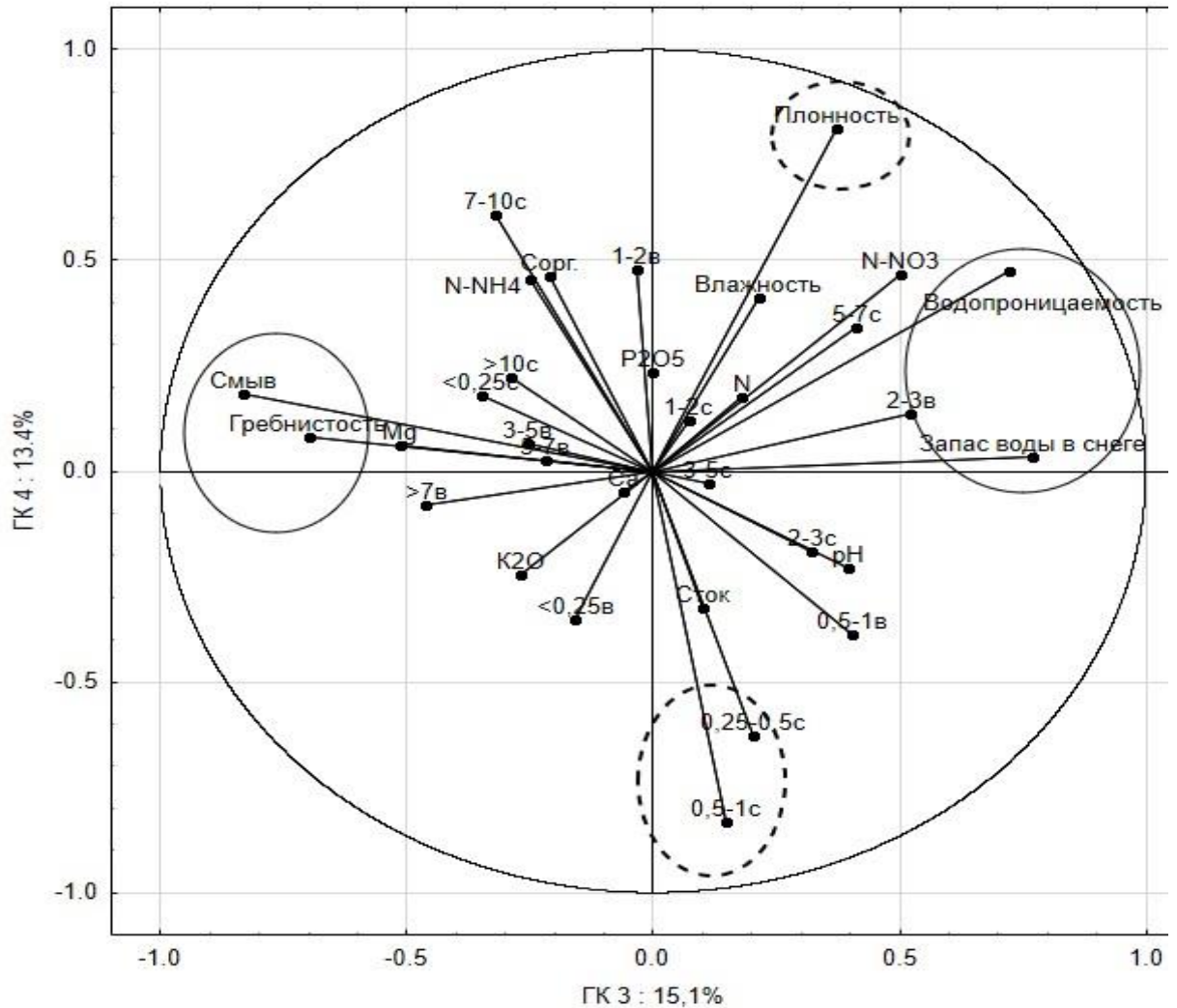


Рис. 3 – Факторные нагрузки главных компонент ГК3 и ГК4 основных агрохимических и агрофизических показателей чернозема обыкновенного в чистом пару и под озимой пшеницей

Как было ранее отмечено, ГК1, условно названная «агрофизические свойства почвы и мезоагрегаты», ее составляющие расположены в положительной области координат, а крупноглыбистые и пылеватые

микроагрегаты находятся в отрицательной области координат, что показывает обратную направленность процесса. Вторая ГК выявляет связь между агрофизическими и агрохимическими свойствами почвы. Здесь были выделены показатели стока, водопрочные агрегаты и фосфор, калий, гумус, общий азот.

Третья ГК отражает процессы, происходящие при смыве почвы → водопроницаемости и запасе воды в снеге → гребнистости. С ухудшением водопроницаемости усиливается смыв почвы, и наоборот: хорошая водопроницаемость почвы связана со способностью почвы до определенного предела впитывать воду, что способствует сокращению стока и смыва. Высота снега, его плотность и запас воды в снеге являются взаимосвязанными величинами, и могут непосредственно влиять на сток талой воды и смыв почвы. Гребнистая вспашка способна задерживать снег, однако не покрытые стерней и растительными остатками гребни теряют снег при сильных ветрах, тогда как стерня и растительные остатки задерживают снег при выдувании его ветром. Особенно это заметно при применении чизельной обработки почвы, где остается стерня озимой пшеницы.

Четвертая ГК описывает связь между плотностью почвы и агрегатами структуры почвы. По-видимому, мелкие фракции размером 0,5–1 мм и 0,25–0,5 мм оказывают значительное влияние на плотность почвы.

Это предположение подтверждает корреляционные отношения: $r = (-0,37) - (-0,63)$. С увеличением плотности почвы уменьшается количество мелких фракций размером 0,5–1 мм и 0,25–0,5 мм.

Ниже приведен график расположения вариации признаков в двухмерном пространстве координат ГК1 и ГК2, из которого видно, что все варианты хорошо распределены в выбранной системе координат (Рисунок 4).

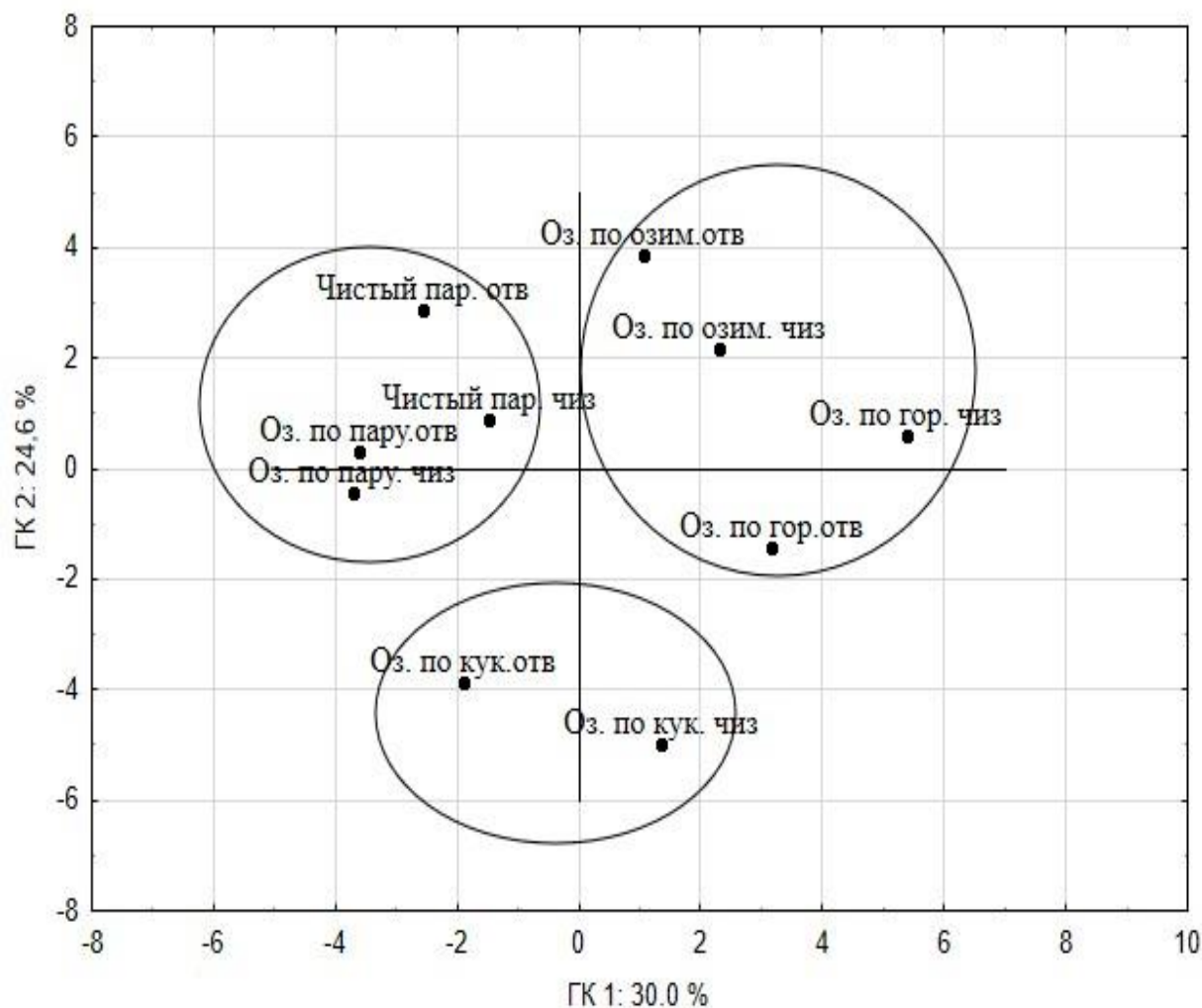


Рис. 4 – Расположение в пространстве первых двух главных компонент основных агрохимических и агрофизических показателей чернозема обыкновенного в чистом пару и под озимой пшеницей, по различным предшественникам и агротехнологиям

Ближкие предшественники озимой пшеницы по свойствам – чистый пар и озимая пшеница, посеянная по предшественнику чистый пар – находятся на графике относительно близко друг к другу, что говорит о значительном влиянии предшественника. Чистый пар и озимая пшеница по предшественнику чистый пар и непаровые предшественники озимой пшеницы (горох и озимая пшеница) расположены относительно близко друг к другу в системе координат, но занимают различные стороны относительно осей координат, что указывает на общие или схожие агрофизические и агрохимические свойства почвы между предшественниками. Напротив, чистый пар и озимая пшеница при использовании различных систем обработки почвы располагаются в системе координат компактно, и это

подтверждает незначительное влияние на агрохимические и агрофизические свойства почвы различных изучаемых агротехнологий.

Заключение

Предложенный подход может быть применен для выявления наиболее значимых параметров почвенного плодородия, оптимальных при возделывании озимой пшеницы. В результате сопоставления распределений агрофизических и агрохимических показателей черноземов обыкновенных в пространстве главных компонент, выделены четыре ГК, описывающие 83,1 % общей дисперсии. Первая главная компонента (ГК1) характеризует обратную зависимость агрофизических показателей (мезоагрегатов и пылинкрупноглыбистой фракции) от влажности почвы. ГК2 отражает взаимосвязь агрофизических и агрохимических свойств почвы (сток воды, количество водопрочных агрегатов и содержание макроэлементов, гумуса). ГК3 показывает связь между гребнистостью, запасом воды в снеге, водопроницаемостью и смывом почвы. Четвертая ГК 4 выявила связь плотности почвы и мезоагрегатов. Представленная модель анализа показывает, что метод главных компонент позволяет выявить наиболее значимые параметры и выявить неявные факторы, влияющие на плодородие почвы.

Литература

ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. – Дата введения 1993-07-01. – М.: Стандартинформ, 1998. – 10 с.

ГОСТ 82268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – Дата введения 1990-06-01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 6 с.

ГОСТ 26489-85. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. – Дата введения 1985-03-26. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 5 с.

ГОСТ 26951-86. Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. – Дата введения 1986-06-30. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 10 с.

Доспехов, Б.А. Практикум по земледелию: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / Б.А. Доспехов, И.П. Васильев, А.М. Туликов. – М.: Колос, 1987. – 384 с.

Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – Изд. 4-е перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.

Дуктова Н.А., Применение многомерного анализа для оценки селекционной ценности исходного материала твердой яровой пшеницы [Электрон. ресурс] / Н.А. Дуктова, С.И. Гриб, Е.В. Иванова, Е.Л. Андроник, Д.В. Виноградов // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/СТАТУИ/2023/1/st_125.pdf.
<https://doi.org/10.51419/202131125>.

Дьяков, В.Н. Совершенствование метода учета смыва почв по водородионам. / В.Н. Дьяков // Почвоведение. – 1984. – №3. – С. 146-148.

Иванова, В.С. Исследование модельных обусловленностей показателей свойств черноземов Оренбургского Предуралья / В.С. Иванова, А.М. Русанов, А.П. Тетерин, Т.А. Курякова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2008. – № 10(92). – С. 157-160.

Классификация и диагностика почв СССР. сост. чл.-кор. ВАСХНИЛ В.В. Егоров, проф. В.М. Фридланд, проф. Е.Н. Иванова [и др.]; Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. – М.: Колос, 1977. – 223 с.

Курякова, Т.А. Факторный анализ для определения групповых параметров экосистем / Т.А. Курякова // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – № 6. – С. 12-13.

Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почвы при изучении водной эрозии. – Л.: Гидрометеиздат, 1975.– 88 с.

Муслинов, К. К. Изучение коллекционных образцов пшеницы мягкой озимой с использованием кластерного анализа и метода главных компонент / К.К. Муслинов, А.С. Сурначев // Достижения науки и техники АПК. – 2024. – Т. 38, № 3. – С. 4-9. – https://doi.org/10.53859/02352451_2024_38_3_4.

Русанов, А.М. Параметрический прогноз почвенных параметров при дефиците исходных данных / А.М. Русанов, Т.А. Смирных, Т.В. Кайкова, Т.А. Курякова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2008. – № 6(88). – С. 138-139.

Холодов, В.А. Агрегаты и органическое вещество почв восстанавливающихся ценозов / В.А. Холодов, Н.В. Ярославцева. – М.: ГЕОС, 2021. – 120 с.

Холодов, В.А. Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования / В.А. Холодов, Н.В. Ярославцева [и др.] // Почвоведение. – 2019. – № 2. – С. 184-193. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020060>.

Kaiser, H.F. The application of electronic computers to factoranalysis / H.F. Kaiser // Educational and Psychological Measurement 1960. Vol. 20 P. 141-151.
StatSoft, Inc. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 13. 2020.

Available online: <https://web.archive.org/web/20131213145004/>. / (дата обращения 1 августа 2024г.).

World reference base for soil resources 2014. II nternational soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. – №. 106. – FAO, Rome.

References

GOST 26205-91. Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by the Machigin method modified by TSINAO. – Date of introduction 1993-07-01. – Moscow: Standartinform, 1998. – 10 p.

GOST 82268-89. Soils. Methods for determining humidity, maximum hygroscopic humidity and humidity of stable wilting of plants. – Date of introduction 1990-06-01. – Moscow: Standartinform, 2006. – 6 p.

GOST 26489-85. Soils. Determination of exchangeable ammonium by the TsINAO method. – Date of introduction 1985-03-26. – Moscow: Publishing House of Standards, 1985. – 5 p.

GOST 26951-86. Soils. Determination of nitrates by ionometric method. – Date of introduction 1986-06-30. – Moscow: Publishing House of Standards, 1986. – 10 p.

Dospekhov, B.A. Practical farming: textbook. handbook for university students. studies. institutions / B.A. Dospekhov, I.P. Vasiliev, A.M. Tulikov. – M.: Kolos, 1987. – 384 p.

Dospekhov, B.A. Methodology of field experience: (With the basics of statistical processing of research results) / B.A. Dospekhov. – Ed. 4th revision. and add. – M.: Kolos, 1979. – 416 p.

Duktova N.A., The application of multidimensional analysis to assess the breeding value of the source material of durum spring wheat [Electron. resource] / N.A. Duktova, S.I. Grib, E.V. Ivanova, E.L. Andronik, D.V. Vinogradov // AgroEcoInfo: Electronic scientific and production journal. – 2023. – No. 1. – Access mode: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/1/st_125.pdf .
<https://doi.org/10.51419/202131125>.

Dyakov, V.N. Improvement of the method of accounting for soil flushing by algae. / V.N. Dyakov // Soil Science. - 1984. – No. 3. – pp. 146-148.

Ivanova V.S., Rusanov A.M., Teterin A.P., Kuryakova T.A. Investigation of model conditions of indicators of properties of chernozems of the Orenburg region / V.S. Ivanova // Bulletin of Orenburg State University. – 2008. – № 10(92). – Pp. 157-160.

Classification and diagnostics of soils of the USSR. comp. ch.-cor. VASHNIL V.V. Egorov, prof. V.M. Friedland, prof. E.N. Ivanova [et al.]; Soil. V.V. Dokuchaev Institute, Moscow: Kolos Publ., 1977, 223 p.

Kuryakova T.A. Factor analysis for determining group parameters of ecosystems / T.A. Kuryakova // Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 2009, No. 6, pp. 12-13.

Methodological recommendations on the consideration of surface runoff and soil flushing in the study of water erosion. – L.: Gidrometeoizdat, 1975.– 88 p.

Musinov, K. K. Study of collection samples of soft winter wheat using cluster analysis and the method of main components / K.K. Musinov, A.S. Surnachev // Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. – 2024. – Vol. 38, No. 3. – pp. 4-9. – https://doi.org/10.53859/02352451_2024_38_3_4.

Rusanov, A.M. Parametric forecast of soil parameters with a shortage of initial data / A.M. Rusanov, T.A. Smirnykh, T.V. Kaikova, T.A. Kuryakova // Bulletin of Orenburg State University. – 2008. – № 6(88). – Pp. 138-139.

Kholodov, V.A. Aggregates and organic matter of soils of recovering cenoses / V.A. Kholodov, N.V. Yaroslavtseva, Moscow: GEOS, 2021, 120 p.

Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V. Changes in the ratio of fractions of aggregates in humus horizons of chernozems in various conditions of land use // Soil Science. – 2019. – No. 2. – pp. 184-193.
<https://doi.org/10.1134/S0032180X19020060>.

Kaiser, H.F. The application of electronic computers to factoranalysis / H.F. Kaiser // Educational and Psychological Measurement 1960. Vol. 20 P. 141-151.

StatSoft, Inc. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 13. 2020. Available online: <https://web.archive.org/web/20131213145004/>. / (дата обращения 1 августа 2024г.).

World reference base for soil resources 2014. II nternational soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. – №. 106. – FAO, Rome.

Статья поступила в редакцию 4 марта 2025 г.

Поступила после доработки 10 марта 2025 г.

Принята к печати 18 марта 2025 г.

Received 4, March, 2025

Revised 10, March, 2025

Accepted 18, March, 2025