

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ И КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПЛОДОРОДИЯ АГРОСЕРОЙ ПОЧВЫ

Р.Н. Ушаков¹, д.с.-х.н., Т.Ю. Ушакова¹, к.с.-х.н., А.В. Ручкина¹, Н.А. Головина², к.б.н., К.В. Кузнецова¹, Ф.Ю. Бобраков³,

¹ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», 390044, Рязань, ул. Костычева, д. 1

²ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова», 390026, Рязань, ул. Высоковольтная, д. 9

*³ФГБОУ ВО «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина», 390000, Рязань, ул. Свободы, д. 46.
r.usakov1971@mail.ru*

Проанализированы обменная кислотность агросерой почвы, подвижные формы фосфора и калия, гумус и сумма обменных оснований и рассчитанного в соответствии с ними бонитета, или сводного показателя качества почв (СПКП). Использованы метод главных компонент и кластерный анализ. Установлено, что вклад обменной кислотности и фосфора в первую главную компоненту, на долю которой приходится около 39 % всей дисперсии, максимальный. Гумус и калий положительно связаны со второй компонентой (29 % всей дисперсии). Обменная кислотность и фосфор играют определяющую, но не исключительную роль в формировании СПКП. Далее идут калий и гумус. Несмотря на повышенное и высокое в среднем значение калия и фосфора, не низкое для агросерых почв содержание гумуса (более 3%), можно считать, что их комбинации в почве не всегда оптимальны. Приемлемая оценка почвенного плодородия достигается при обменной кислотности не ниже 5,2-5,4 ед., содержании подвижных форм фосфора и калия не ниже 170-194 и 125-143 мг/кг соответственно. К сожалению, оценка проведена на ограниченном наборе почвенных показателей. Не отражена роль азота и гумуса. Это не значит, что они не важны. Для описанного конкретного случая роль гумуса оказалась завуалированной чрезмерно высокой обеспеченностью агросерой почвы фосфором и калием.

Ключевые слова: агросерая почва, плодородие почвы, качество почвы, обменная кислотность, подвижный фосфор, подвижный калий, гумус.

Для цитирования: Ушаков Р.Н., Ушакова Т.Ю., Ручкина А.В., Головина Н.А., Абдулаязнова К.В., Бобраков Ф.Ю. Использование метода главных компонент и кластерного анализа для диагностики плодородия агросерой почвы// Плодородие. – 2021. – №6. – С. 26-29. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.07.

Потенциал плодородия зависит главным образом не от величины каждого из его показателей в отдельности, а от степени приближения к оптимальности соотношений между ними в едином, целостном проявлении. Представить комплексную оценку позволяет расчет сводного показателя качества почвы (СПКП или бонитет) – интегральный показатель комплексной оценки для информационного управления плодородием почв.

Для интегрального выражения свойств и оценки свойств используется СПКП, который изменяется под действием различных факторов. Метод главных компонент (МПК) позволяет выявить эти показатели, проанализировать их, изучить степень влияния.

Формализация знаний о СПКП почв и роли (месте) почвенных свойств в его формировании, представленная в форме структурных связей имеет существенное значение для научного понимания вопросов почвенного плодородия, решения практических задач оценки качества земли. Одним из способов решения указанных вопросов является применение метода главных компонент, который направлен не только на извлечение нужной информации из всего ее разнообразия, но и на определение структурных взаимосвязей [1, 3]. Данный метод используют для обработки информации о почвах [2, 4-7], других объектах [8].

Цель исследований – определить структуру взаимосвязей между почвенными параметрами и СПКП.

Методика. Работа выполнена по материалам агрохимического обследования на агросерых почвах. Отдельно обрабатываемые участки делили на элементарные площадки 5-8 га (на пашне). С каждого элементарного участка отбирали один смешанный почвенный образец, который состоял из 20-45 индивидуальных проб.

В смешанных почвенных образцах определяли: подвижный фосфор и обменный калий по Кирсанову (ГОСТ 26204-91); pH_{KCl} (ГОСТ 26483-85), органическое вещество (гумус) по Тюрину (ГОСТ 26213-91); сумму поглощенных оснований (ГОСТ 26821-88).

Объем выборки 68. Таким образом, СПКП характеризуется пятью переменными. Использован программный продукт STATISTICA.

Результаты и их обсуждение. Пространственная вариация свойств агросерой почвы достаточно широкая. Например, обменная кислотность (рН) изменяется от 4,3 до 5,2 ед., подвижный фосфор – от 77 до 257 кг/га, подвижный калий – от 65 до 251 кг/га (табл. 1). Минимальное значение гумуса составляет 2,2 %, максимальное – 5,6 %. Разница по кальцию и магнию равна 4,8 и 11 мг-экв/100 г почвы соответственно. По этой причине значение бонитета варьирует от 55 до 100 ед.

1. Описательная статистика почвенных показателей

Показатель	Средняя	Доверительный интервал – 95 % + 95 %		Медиана	Min	Max	Ст. откл.	Коэфф. вариации	Ст. ошибка
pH	5,2	5,1	5,3	5,1	4,3	6,1	0,4	8,2	0,1
Hг	1,7	1,6	1,8	1,7	0,5	2,9	0,5	31,5	0,1
P ₂ O ₅ , мг/кг	198,2	185,4	211,1	203,5	77,0	257,0	53,1	26,8	6,4
K ₂ O, мг/кг	135,1	123,9	146,3	124,0	65,0	251,0	46,4	34,3	5,6
Гумус, %	3,2	3,1	3,4	3,1	2,2	5,6	0,6	20,1	0,1
Сумма оснований, мг-экв/100 г	17,8	16,7	18,9	19,6	11,4	26,3	4,6	25,7	0,6
СПКП	86,6	83,0	90,2	90,5	0,8	99,7	14,9	17,2	1,8

Зависимость СПКП от pH хорошо описывается линейным уравнением: при $pH < 5,5$ $Y = -16 + 20X$ ($r = 0,5$). При $pH > 5,5$ ед. уравнение зависимости не достоверно, так как $r = 0,4$. Это дает основание предположить, что в диапазоне pH 5,5 и выше бонитет не увеличивается прямопропорционально.

В диапазоне содержания подвижного фосфора до 200 кг/га уравнение (достоверное) зависимости бонитета от данного элемента имеет вид: $Y = 45 + 0,25X$ при коэффициенте корреляции 0,7; более 200 кг/га – $Y = 58 + 0,14X$ при коэффициенте корреляции 0,4.

По калию обнаруживается аналогичная закономерность: снижение коэффициента корреляции (r) до 0,4 ед. в зависимости бонитета от более высоких значений калия (от 135 мг/кг и выше). Достоверная связь гумуса и суммы обменных оснований с СПКП не установлена.

Для начала необходимо было сделать проверку о наличии или отсутствии корреляции. Расчет корреляционной матрицы установил наличие положительной связи бонитета с pH, подвижными формами фосфора и калия. С гумусом связь отсутствует. Отмечены положительные связи между pH и подвижными фосфором и калием. Между фосфором и калием связь слабая ($r = 0,34$). Это объясняется интенсивным применением фосфорных и калийных удобрений в хозяйстве, на фоне которого выявление связи между элементами питания и гумусом невозможно.

Анализ корреляций позволяет пока только предположить, что имеются два относительно независимых

фактора (это искусственный статистический показатель, который получают в результате преобразований корреляционной матрицы), отраженных в корреляционной матрице: один относится к минеральному питанию и кислотности, а другой – к органической части почвы, т.е. гумусу.

Как известно, извлечение факторов (факторизация) заключается в выборе взаимодействующих переменных, чья взаимная корреляция обуславливает наибольшую долю общей дисперсии. Эти переменные образуют первый фактор. Первые два из четырех собственных факторов (отражают максимум изменчивости) имеют значение более 1, которые в сумме объясняют около 68% дисперсии. Третий фактор имеет значение около 1, и его доля в дисперсии приблизительно 19 %.

В целом полученная факторная модель не совсем удачна. Например, факторные нагрузки относительно высоки (хотя и меньше порогового значения 0,7) в двух факторах одновременно. Это характерно для всех показателей, что подтверждается матрицей остаточной корреляции, в которой значения коэффициентов корреляции оставались относительно высокими. Поэтому неслучайно, что на долю 3- и 4-го факторов приходится 34 % всей дисперсии. Анализ показал скрытое, не учтенное влияние других условий на СПКП.

На основе уравнений линейной регрессии первых двух извлеченных факторов с почвенными свойствами последние были скорректированы. При этом средние значения остались прежними (табл. 2).

2. Скорректированные значения почвенных свойств на основе первых двух извлеченных факторов

Группа бонитета	Исходное значение	Предсказанное значение						
	pH		Фосфор, мг/кг		Калий, мг/кг		Гумус, %	
Min	4,3	4,4	77	80	70	84	2,2	2,4
Max	6,1	5,7	243	230	195	176	3,9	4,0
Средняя	5,1	5,1	164	164	118	118	3,1	3,1
Медиана	5,0	5,1	163	164	110	115	2,9	2,9

Со скорректированными значениями почвенных свойств первый фактор объясняет уже 60,2 % общей вариации (табл. 3), при этом, как и прежде, наибольший вклад обеспечивают pH и подвижный фосфор. Второй фактор объясняет около 49 % всей дисперсии с наибольшими вкладами гумуса и калия. В сумме на два фактора приходится 100 % всей изменчивости.

3. Факторные нагрузки и собственные значения при использовании скорректированных данных по свойствам почв

Параметр	Фактор 1	Фактор 2
pH	- 0,982	- 0,187
Фосфор, мг/кг	- 0,993	0,117
Калий, мг/кг	- 0,419	- 0,907
Гумус, %	0,528	- 0,849
Собственное значение	2,406	1,593
% общей вариации	60,2	39,8

До корректировки данных 32 % информации было скрыто и можно предположить, что не учтены другие

параметры плодородия. Однако, если и присутствует доля неучтенных условий, то она априори не может быть высокой. Причиной плохой классификации может быть плохая исходная факторная модель (при нормальном распределении данных). Применительно к почвенным свойствам это может быть связано с отсутствием оптимальных, с точки зрения комплексной оценки плодородия, соотношений между почвенными свойствами. И это, несмотря на то, что после изменения факторной матрицы, классификация информации о почвенных свойствах анализировалась извлечением двух факторов.

Максимальные и минимальные значения скорректированной pH практически не отличаются от исходной pH. В целом интегральная оценка плодородия не ухудшится, если максимальное содержание подвижного фосфора уменьшить на 13 мг/кг, подвижного калия – на 19 мг/кг.

В то же время, особенно по калию, можно отметить его низкое минимальное значение – 70 мг/кг. Около 45

% всех наблюдений приходится на содержание фосфора менее 200 мг/кг, при корректировке их стало 85 %, по калию – менее 150 кг/га – 65 и 85 % соответственно, при этом на СПКП, т.е. на плодородие, увеличение доли почв с уменьшенными значениями содержания фосфора и калия не повлияло. Это существенно сэкономит на применении минеральных удобрений.

4. Влияние некоторых почвенных свойств на плодородие агросерой почвы

Содержание калия	Содержание фосфора	pH	Бонитет	Стан. ошибка бонитета	Доверительный интервал	
					- 95 %	+ 95 %
< 150	< 200	> 5	85,2	1,69	81,8	88,6
< 150	< 200	< 5	68,8	2,56	63,7	74,0
< 150	> 200	> 5	88,2	1,75	84,7	91,7
< 150	> 200	< 5	84,0	2,77	78,5	89,6
> 150	< 200	> 5	96,0	3,03	89,9	102,1
> 150	< 200	< 5	86,9	3,92	79,1	94,8
> 150	> 200	> 5	98,1	1,75	94,6	101,6
> 150	> 200	< 5	92,0	6,79	78,4	105,5

Роль обменной кислотности (при увеличении ее до 5 и выше), оцененная через СПКП, сильнее всего прояв-

ляется на фоне снижения в почве калия и фосфора, так как в этом случае СПКП возрастает на 19 % (с 69 до 85 ед.) (табл. 4). На фоне увеличения элементов вклад обменной кислотности составляет всего 6 %. Если в почве кислотность выше или ниже 5 ед., снижение содержания подвижного калия на фоне высоких значений фосфора понизит оценку на 9-10 % (СПКП уменьшится с 98 до 88 ед. и с 92 до 84 ед. соответственно). Снижение фосфора ниже 200 мг/кг на фоне содержания калия выше 150 кг/га не приводит к снижению СПКП. Это указывает на необоснованно завышенную обеспеченность агросерой почвы данным элементом, что еще раз показывает несбалансированность элементов плодородия.

Необходим поиск приемлемого для конкретных условий (см. табл. 1) агрохимического состояния агросерой почвы. Он был проведен с помощью кластерного анализа скорректированных после редукции завышенных значений фосфора и калия и извлечения информации о почвенных свойствах двумя главными факторами. Результаты представлены в таблице 5.

5. Оптимальная структура почвенного плодородия

Кластер	pH				Подвижный фосфор, мг/кг				Подвижный калий, мг/кг				Гумус, %			
	Хср	Ст. ошибка	- 95 %	+ 95 %	Хср	Ст. ошибка	- 95 %	+ 95 %	Хср	Ст. ошибка	- 95 %	+ 95 %	Хср	Ст. ошибка	- 95 %	+ 95 %
1	5,3	0,0	5,2	5,4	182	6,0	170	194	134	4,3	125	143	3,1	0,09	2,9	3,3
2	4,8	0,1	4,7	4,9	140	7,2	125	154	96	5,1	85	106	3,1	0,10	2,8	3,3

Выводы. Обменная кислотность, подвижные формы фосфора и калия, гумус имеют равноценное значение для бонитета, следовательно, для почвенного плодородия. МГК при всех его недостатках при выявлении структурных связей между переменными при некоторых допущениях можно использовать для понимания комплексности почвенного плодородия. Ее можно оценить через бонитет. В нашем случае обменная кислотность и фосфор играют определяющую, но не исключительную роль в формировании бонитета. Далее идут калий и гумус. По-видимому, основной фактор (на его долю приходится 39 % всей дисперсии) можно интерпретировать как более интенсивное использование фосфорных удобрений в хозяйстве, улучшение обеспеченности серой лесной почвы фосфором, в том числе по причине подкисления (в среднем обменная pH классифицируется как слабокислая). Отсутствие гумуса и калия в основном факторе, которые могли бы существенно увеличить долю дисперсии, указывает на слабое проявление оптимальных комбинаций почвенных условий по элементам питания и гумуса. Гумус и калий были включены во второй фактор с долей дисперсии всего 29 %. Вариативность бонитета менее выражена от этих показателей. Несмотря на повышенное и высокое в среднем значение калия и фосфора, не низкое для агросерых почв содержание гумуса, можно считать, что их комбинации в почве не всегда оптимальны. В количественном измерении почвенные параметры не в оптимальных соотношениях друг с другом. К сожалению, оценка приведена на ограниченном наборе почвенных показателей. Не отражена роль азота и гумуса. Это не значит, что они неважны. Для описанного выше конкретного случая роль гумуса оказалась завуалирован-

ной чрезмерно высокой обеспеченностью элементами питания, изначально плохой факторной моделью. После корректировки исходной матрицы приемлемая оценка почвенного плодородия достигается при обменной кислотности не ниже 5,2-5,4 ед., содержании подвижных форм фосфора и калия не ниже 170-194 и 125-143 мг/соответственно.

Литература

1. Волков Д.А., Навоев В.В. Преодоление проблемы мультиколлинеарности при решении задач многомерной калибровки в экспертных системах / Теоретические и практические проблемы развития современной науки. Сб. материалов 6-й международной научно-практической конференции. – 2014. – С. 36-38.
2. Гиниятуллин К.Г., Валеева А.А., Смирнова Е.В. Использование кластерного и дискриминантного анализов для диагностики литологической неоднородности почвообразующей породы по гранулометрическому составу // Почвоведение. – 2017. – № 8. – С. 946-953.
3. Колемаев В.А. Эконометрика: учеб. для студентов вузов. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 160 с.
4. Липатов Д.Н., Щеглов А.И., Манахов Д.В., Завгородняя Ю.А. и др. Пространственное варьирование свойств торфяных почв в нефтегазодобывающем регионе на северо-востоке о. Сахалин // Почвоведение. – 2017. – № 7. – С. 874-885.
5. Рожков В.А. Классификация почв – не место для дискуссий // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2013. – № 72. – С. 47-64.
6. Федоров Б.А. Построение многофакторных регрессионных моделей для оценки свойств торфяной залежи и торфа методом главных компонент // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2007. – № 12. – С. 148-150.
7. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Лазарев В.И., Фрид А.С. Интерпретация данных агрегатного состава типичных черноземов разного вида использования методами кластерного анализа и главных компонент // Почвоведение. – 2016. – № 9. – С. 1093-1100.
8. Bakulina G., Fedoskin V., Pikushina M., Kukhar V., Kot E. Factor analysis models in enterprise costs management // *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*. – 2020. – Т. 14. – С. 232-240.

R.N. Ushakov¹, Professor, Doctor of Agricultural Sciences, T.Yu. Ushakova¹, candidate of agricultural Sciences,
A.V. Ruchkina¹, assistant, Golovina², candidate of biological sciences, assistant,
K.V. Kuznetsova¹, bachelor, F.U. Bobrakov³, master's degree student

¹FGBOU VO Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva¹, 390044, Ryazan, st. Kostycheva, 1

²FSBEI HE "Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlova", 390026, Ryazan, st. High-voltage, 9

³FGBOU VO «Ryazan State University named after S.A. Esenina», 390000, Ryazan, st. Svobody, 46
r.ushakov1971@mail.ru

The work was carried out on the basis of materials of agrochemical examination of agro-gray heavy loamy soil. The exchangeable acidity, mobile forms of phosphorus and potassium, humus and the sum of exchangeable bases and bonitet calculated in accordance with them are analyzed. The sample size is 68. The principal components method and cluster analysis were used. It has been established that the contribution of exchangeable acidity and phosphorus to the first main component, which accounts for about 39% of the total dispersion. Humus and potassium are positively associated with the second component (29% of the variance). Exchangeable acidity and phosphorus play a decisive, but not exclusive role in the formation of bonitet. This is followed by potassium and humus. Despite the increased and high average values of potassium and phosphorus, the humus content is not low for agro-gray soils, it can be considered that their combinations in the soil are not always optimal. An acceptable assessment of soil fertility is achieved when exchangeable acidity is not lower than 5.2 – 5.4 units, the content of mobile forms of phosphorus and potassium is not lower than 170 – 194 mg / kg and 125 – 143 mg / kg, respectively. Unfortunately, the assessment is based on a limited set of soil parameters. The role of nitrogen and humus is not reflected. This does not mean that they are insignificant. For the specific case described above, the role of humus turned out to be veiled by the excessively high supply of phosphorus and potassium to agro-gray soil.

Key words: agro-gray soil, soil fertility, soil quality, exchangeable acidity, mobile phosphorus, mobile potassium, humus.

УДК 631.86

DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.08

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ НА ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ

**Р. Нуоров Реджепнур, К.Я. Аманов, Туркменский сельскохозяйственный университет
имени С.А. Ниязова, Туркменистан, г. Ашхабад
amanovkadyr@gmail.com; kadyramanov.23@mail.ru**

Рассматриваются почвоулучшающие свойства экологически чистого органоминерального удобрения, полученного в институте Химии АН Туркменистана. В качестве сырья использовали куриный помёт кур породы Бройлер и фосфатные руды месторождения Магданлы-Кугитанского региона участка "Дурналы" и определяли их химический состав (влажность, зольность, общее органическое вещество, общий азот, фосфор, калий и рН среды). В составе птичьего помёта выявлено содержание в достаточном количестве органических веществ и таких важных питательных элементов, как азот, фосфор, калий. В лабораторных условиях был изучен научный способ получения экологически чистого органоминерального удобрения. Куриный помёт, использованный в качестве сырья, был очищен от семян сорняков и яиц гельминтов. Перерабатывая на основе безотходной технологии отходы, образующие на птицефермах, получено экологически чистое, экономически выгодное, улучшающее почвы органоминеральное удобрение. Почвоулучшающие свойства полученных органоминеральных удобрений изучали в Туркменском сельскохозяйственном университете имени С.А.Ниязова на трех участках сельскохозяйственных угодий размерами 1 x 6 м. Были взяты образцы для анализа из каждой из 3-х почв до и после внесения органоминерального удобрения. Проведены агрохимический анализ почвы и количественный анализ растворимых в ней веществ. В результате был определён элементный и гумусовый состав образцов почвы до и после внесения удобрения и доказано, что можно увеличить количество гумуса в почве с 0,12 до 2,17%.

Ключевые слова: куриный помёт, способ переработки органических отходов, органическое удобрение, переработка куриного помёта, экологически чистое удобрение, фосфоритовая руда, повышение гумуса почвы.

Для цитирования: Р. Нуоров Реджепнур, Аманов К.Я. Влияние экологически чистого органоминерального удобрения на плодородие почвы// Плодородие. – 2021. – №6. – С. 29-33. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.08.

Современные экологические проблемы связаны с накоплением большого количества отходов животноводства (птичий помёт, навоз крупного рогатого скота и свиней). Если предприятия используют при производстве непереработанный навоз и другие отходы животноводства, то они загрязняют почву гельминтами, микроорганизмами-возбудителями заболеваний и токсичными химическими соединениями. В последние годы наблюдается неуклонное уменьшение содержания гумуса в почве, что снижает урожайность, а также ухуд-

шает физические, химические и физико-химические свойства почвы.

С птичьим помётом связан один из важных вопросов в области охраны окружающей среды. С точки зрения содержания он относится к 3-му классу токсичности. При переработке птичьего помёта уровень его токсичности доводится до 5-го класса после извлечения содержащихся в нем ядовитых газов, и он используется в качестве экологически чистого органоминерального удобрения в сельском хозяйстве.