

УДК 631.412 : 631.582

МЕТОД «ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ» В АНАЛИЗЕ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЕЙ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ

© 2023 В.С. Плаксина, К.А. Пронудин

ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», г. Саратов, Россия

Статья поступила в редакцию 10.08. 2024

Для качественной оценки почв сельскохозяйственного назначения помимо агрофизических свойств необходимо учитывать также их внутренние связи. В данной работе для установления взаимозависимостей между основными почвенными свойствами были использованы известные методы математической статистики. Цель исследований заключалась в определении корреляционных взаимосвязей водно-физических свойств почвы, характеризующих нагрузку гипотетических факторов. В исследованиях, выполненных на почвах опытного поля ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в экспериментальном севообороте, показано, что структурные взаимосвязи в почвах, оцениваемые по коэффициентам корреляции и факторным нагрузкам позволяют получить дополнительную информацию о состоянии почв. Предлагается сопоставление физических свойств почв и показателей водного режима, в частности плотности сложения, влажности почвы в корнеобитаемом слое, общего запаса почвенной влаги, расхода влаги, суммарного водопотребления и коэффициента водопотребления. В ходе исследования установлена различная степень варьирования показателей. При анализе матрицы коэффициентов корреляции рассчитаны гипотетические факторы с вкладом более 5% в накапливаемую дисперсию. Построена корреляционная плеяда, позволяющая продемонстрировать средние и сильные корреляционные связи. Рассмотрены четыре гипотетических факторов, отражающих общий вклад в накапливаемую дисперсию. Первый гипотетический фактор определяют показатели: плотность и влажность почвы весной, запас влаги в метровом слое, расход влаги и суммарное водопотребление. Второй гипотетический фактор (23,97%) определяется вкладом плотности почвы осенью, а также суммарным эффектом других признаков. Третий гипотетический включает суммарный средний эффект признаков плотность почвы весной, влажность почвы осенью и коэффициент водопотребления. Вклад четвертого фактора определяется влажностью почвы весной.

Ключевые слова: чернозем южный, плотность сложения, влажность почвы, водный режим, корреляция, фактор, нагрузка.

DOI: 10.37313/2782-6562-2023-2-3-33-37

EDN: XVSVOY

ВВЕДЕНИЕ

Благоприятные агрофизические свойства почв – одно из необходимых условий их плодородия, получения высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур. Ухудшение состояния почв (уплотнение, разрушение структуры почвы и др.) происходит за счёт несоблюдения чередования культур в севообороте, механического воздействия машин, снижения содержания гумуса в почве и других факторов [1, 2]. Среди показателей агрофизического состояния почвы большое значение имеют запасы влаги, характеризующие обеспеченность доступной влагой растений [3]. Одним из основных показателей агрофизических свойств по-

чвы, также является её плотность. При сильном уплотнении почвы снижается запас доступной растениям влаги, однако и чрезмерно рыхлое сложение почвы может привести к ухудшению водного режима [4]. В настоящее время при качественной оценке почв учитывают только свойства почв. В то же время ряд авторов отмечает необходимость при характеристике почв оценить их внутренние связи [5–8]. В данной работе для установления взаимозависимостей между основными почвенными свойствами были использованы известные методы математической статистики.

Цель исследований заключалась в определении корреляционных взаимосвязей водно-физических свойств почвы, характеризующих нагрузку гипотетических факторов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на почвах опытного поля ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в экспериментальном четырёхпольном севообороте.

Плаксина Вера Сергеевна, старший научный сотрудник отдела многолетних и однолетних трав. ORCID ID: 0000-0002-8968-8774. E-mail: v.plaksina88@yandex.ru
Пронудин Кирилл Алексеевич, научный сотрудник отдела многолетних и однолетних трав. ORCID ID: 0000-0002-9760-6732. E-mail: pronudin.kirill@yandex.ru

Почва характеризуется слабо выщелоченным южным черноземом, среднесуглинистого гранулометрического состава, типичным для зоны засушливого Поволжья. Содержание гумуса в пахотном слое составляет 3,5-4,2%, гидролизуемого азота – 10-15 мг, доступного фосфора – 2,4-12,0 мг, обменного калия – 21-32 мг, кальция – до 8 мг на 100 г почвы.

Физические свойства исследуемых почв определены традиционными методами, также были рассчитаны показатели водного режима почвы [9, 10]. Отбор почвенных проб проводился весной перед посевом и осенью после уборки культур. Количество вариантов – 7, повторность трехкратная. Пробы почвы отбирались на одной из делянок варианта в 3 точках, расположенных по диагонали, через 10 см на глубину 100 см (для определения влажности) и на глубину 30 см (для определения плотности).

Статистическая обработка результатов исследований выполнена с помощью программы «AGROS 2.09» факторным анализом методом главных компонент [11, 12]. Принятый уровень вероятности $P = 0.95$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании анализа общей характеристики изменчивости параметров установили, что к сильноварьирующим показателям ($V \geq 20,0\%$) следует отнести плотность почвы осенью, влажность почвы в корнеобитаемом слое осенью, общий расход влаги и коэффициент водопотребления (таблица 1). Среднева-

рьирующими показателями ($20,0 \leq V \leq 10,0\%$) являются влажность почвы в корнеобитаемом слое весной, запас влаги в метровом слое почвы осенью и водопотребление. К показателям со слабым варьированием ($V \leq 10,0\%$) можно отнести плотность почвы и общий запас влаги весной.

Корреляционный анализ данных эмпирических признаков позволил рассчитать 36 коэффициентов. Критическое значение коэффициента корреляции на 5%-ном уровне составляет 0,325. Наибольший интерес представляют средние (0,51–0,68) и сильные (0,76–0,94) корреляционные связи. В опыте выявлена тесная корреляционная связь ($r \geq 0,7$) между показателями: запас влаги в метровом слое весной и плотность почвы ($r=0,83$), запас влаги в метровом слое весной и влажность почвы в корнеобитаемом слое весной ($r=0,84$), водопотребление и влажность почвы в корнеобитаемом слое весной ($r=0,71$), расход влаги и общий запас влаги водопотребление и общий запас влаги ($r=0,77$), общий запас и расход влаги ($r=0,81$), водопотребление и расход влаги ($r=0,85$).

Общий вклад в накаливаемую дисперсию четырех гипотетических факторов составляет 93,02%, на долю первых двух приходится 72,99%. Вклад в первый гипотетический фактор в большей мере определяют следующие показатели ($r > |0,7|$): плотность и влажность почвы весной, запас влаги в метровом слое, расход влаги и суммарное водопотребление.

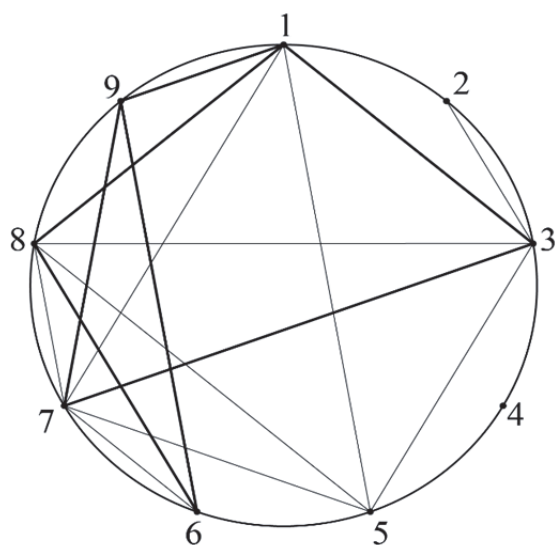
Второй гипотетический фактор (23,97%) в значительной мере определяется вкладом плотности почвы осенью, а также суммарным эффек-

Таб. 1. Общая характеристика изменчивости параметров, 2021-2023 гг.

Tab. 1. General characteristics of parameter variability, 2021-2023

№	Параметр		\bar{x}	S^2	$S_{\bar{x}}$	V, %
1	Плотность почвы в слое 0-30 см, г/см ³	весна	1,194	0,007	0,083	6,950
2		осень	1,056	0,114	0,338	32,013
3	Влажность почвы в слое 0-30 см, %	весна	25,021	7,439	2,727	10,899
4		осень	18,284	15,916	3,990	21,822
5	Запас влаги в слое почвы 100 см, мм	весна	308,261	698,948	26,438	8,576
6		осень	220,187	605,957	24,616	11,170
7	Расход влаги, мм		88,074	1765,466	42,017	47,706
8	Суммарное водопотребление, мм		262,331	2032,508	45,083	17,186
9	Коэффициент водопотребления, м ³ /т		876,909	214174,469	462,790	52,775

Примечание: \bar{x} – среднее значение, S^2 – дисперсия; $S_{\bar{x}}$ – ошибка средней; V, % коэффициент варьирования.



$r \geq 0,7$ (сильная корреляционная связь)
 $- 0,5 < r < 0,7$ (средняя корреляционная связь)

- 1 – Плотность почвы весной
- 2 – Плотность почвы осенью
- 3 – Влажность почвы весной
- 4 – Влажность почвы осенью
- 5 – Запас влаги весной
- 6 – Запас влаги осенью
- 7 – Расход влаги
- 8 – Суммарное водопотребление
- 9 – Коэффициент водопотребления

Рис. 1. Связь коэффициентов корреляции между параметрами
Fig. 1. Correlation coefficients between the parameters

том других признаков. Средний вклад вносят следующие показатели ($0,5 \leq r \leq 0,7$): влажность почвы весной и осенью, запас влаги в метровом слое осенью и коэффициент водопотребления (таблица 2).

На долю третьего гипотетического фактора приходится 13,00% в накапливаемой дисперсии, который включает суммарный средний эффект признаков плотность почвы весной, влажность почвы осенью и коэффициент водопотребления. Вклад четвертого фактора (7,03%) определяется влажностью почвы весной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования проведена оценка агрофизических свойств почвы в севообороте, а также их внутренних связей. Для установления взаимозависимостей между основными почвенными свойствами были использованы известные методы математической статистики, в том числе метод «главных компонент». В ходе анализа установлено различное по величине варьирование водно-физических свойств почвы и наиболее существенные корреляционные связи.

Табл. 2. Факторные нагрузки параметров
Tab. 2. Factor loads of parameters

№	Параметр		Фактор			
			Z-1	Z-2	Z-3	Z-4
1	Плотность в слое почвы 0-30 см, г/см ³	весна	-0,781	0,053	0,524	-0,234
2		осень	-0,134	0,812	-0,207	0,460
3	Влажность в слое почвы 0-40 см, %	весна	-0,749	0,612	-0,217	-0,049
4		осень	-0,093	0,512	0,674	0,198
5	Запас влаги в слое почвы 100 см, мм	весна	-0,934	0,262	0,056	-0,127
6		осень	0,639	0,574	0,267	-0,370
7	Расход влаги, мм		-0,962	-0,172	-0,121	0,137
8	Суммарное водопотребление, мм		-0,870	-0,047	-0,295	-0,282
9	Коэффициент водопотребления, м ³ /т		-0,501	-0,655	0,419	0,270
Дисперсия			4,411	2,158	1,170	0,633
Дисперсия, %			49,012	23,974	13,004	7,032
Накопленная дисперсия, %			49,012	72,986	85,989	93,021

Примечание: Z 1...Z 4 – гипотетический фактор

На основании анализа общей характеристики изменчивости параметров установили, что к сильноварьирующим показателям следует отнести плотность почвы осенью, влажность почвы в корнеобитаемом слое осенью, общий расход влаги и коэффициент водопотребления. Выявлена тесная корреляционная связь ($r \geq 0,7$) между показателями: запас влаги в метровом слое весной и плотность почвы, запас влаги в метровом слое весной и влажность почвы в корнеобитаемом слое весной, водопотребление и влажность почвы в корнеобитаемом слое весной, расход влаги и общий запас влаги водопотребление и общий запас влаги, общий запас и расход влаги, водопотребление и расход влаги. Факторный анализ матрицы коэффициентов корреляции по методу главных компонент позволил выявить признаки первых четырех гипотетических факторов, вносящие наибольший вклад на накапливаемую дисперсию (93,02%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронин, А.Н. Ресурсосберегающие приемы использования органических удобрений и возобновляемых биоресурсов в агротехнологиях возделывания кукурузы на зерно в белгородской области / А.Н. Воронин, В.Д. Соловichenko, Е.В. Навольнова – Белгород: Отчий край, 2014. – 30 с.
2. Матюк, Н.С. Экологическое земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник 2-е изд., испр. / Н.С. Матюк, А.И. Беленков, М.А. Мазиров – Санкт-Петербург: Лань. 2014. – 224 с.
3. Плаксина, В.С. Водопотребление сельскохозяйственных культур в полевых севооборотах. Вавиловские чтения – 2019: Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 132-летию со дня рождения академика Н.И. Вавилова / В.С. Плаксина, М.Г. Сучкова, А.А. Сафронов. – Саратов: Амирит, 2020. – С. 212-214.
4. Муха, В.Д. Агрочесоведение / В.Д. Муха. – М.: КолосС, 2003. – 528 с.
5. Седых, В.А. Структурные взаимосвязи между свойствами почв как фактор их плодородия / В.А. Седых, К.В. Савич, О.В. Шиленко, А.Г. Лобанов // Плодородие – 2012 – № 2. – С. 26-28.
6. Мухина, Н.В. Выявление корреляционной зависимости между основными показательными величинами при почвенно-экологическом мониторинге земель сельскохозяйственного назначения / Н.В. Мухина // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 6. – С. 18-24.
7. Федотова, А.В. Изучение взаимозависимостей между почвенными свойствами в засоленных почвах / А.В. Федотова, А.Г. Князев // Вестник ОГУ. – 2011. – № 12 (131) – С. 157-159.
8. Плаксина, В.С. Изучение взаимозависимостей водно-физических свойств почвы зернопаропашного севооборота в условиях Саратовского Правобережья / В.С. Плаксина, А.А. Сафронов // Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях аридизации климата. Сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 35-летию ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». – Саратов, 2021. – С. 370-375.
9. ГОСТ 28268–89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 35 с.
10. Терпелец, В.И. Агрофизические и агрохимические методы исследования почв. Учебно-методическое пособие / В.И. Терпелец, В.Н. Слюсарев. – Краснодар: КубГАУ. 2016. – 55 с.
11. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 352 с.
12. Мартынов, С.П. Статистический и биометрико-генетический анализ в растениеводстве и селекции. Пакет программ «AGROS 2.09» / С.П. Мартынов. – Тверь, 1999.

THE “MAIN COMPONENTS” METHOD IN THE ANALYSIS OF INTERDEPENDENCIES WATER-PHYSICAL PROPERTIES OF THE SOIL

© 2023 V.S. Plaksina, K.A. Prokudin

FGBSI RRISC «Rossorgo», Saratov, Russia

For a qualitative assessment of agricultural soils, in addition to agrophysical properties, it is also necessary to take into account their internal connections. In this work, well-known methods of mathematical statistics were used to establish the interdependencies between the main soil properties. The purpose of the research was to determine the correlation relationships of the water-physical properties of the soil, characterizing the load of hypothetical factors. In the studies carried out on the soils of the experimental field of the FGBSI RRISC «Rossorgo» in the experimental crop rotation, it was shown that structural relationships in soils, estimated by correlation coefficients and factor loads, allow us to obtain additional information about the state of soils. A comparison of the physical properties of soils and indicators of the water regime is proposed, as addition density, soil moisture in the root layer, total soil moisture reserve, moisture consumption, total water consumption and water consumption coefficient. In the course of the study, a different degree of variation in indicators was established. When analyzing the matrix of correlation coefficients, hypothetical factors with a contribution of more than 5% to the accumulated variance are calculated. A correlation galaxy has been constructed to demonstrate medium and strong correlations. Four hypothetical factors reflecting the overall contribution to the accumulated

variance are considered. The first hypothetical factor is determined by the following indicators: soil density and humidity in spring, moisture reserve in the meter layer, moisture consumption and total water consumption. The second hypothetical factor (23.97%) is determined by the contribution of soil density in autumn, as well as the cumulative effect of other signs. The third hypothetical includes the total average effect of soil density in spring, soil moisture in autumn and water consumption coefficient. The contribution of the fourth factor is determined by soil moisture in spring.

Key words: southern black soil, addition density, soil moisture, water regime, correlation, factor, load.

DOI: 10.37313/2782-6562-2023-2-3-33-37

EDN: XVSVOY

REFERENCE

1. *Voronin, A.N.* Resursoberegayushhie priemy` ispol`zovaniya organicheskix udobrenij i vozobnovlyaemy`x bioresurov v agrotexnologiyax vozdel`vaniya kukuruzy` na zerno v belgorodskoj oblasti / A.N. Voronin, V.D. Solovichenko, E.V. Navol`nova – Belgorod: Otchij kraj, 2014. – 30 s.
2. *Matyuk, N.S.* E`kologicheskoe zemledelie s osnovami pochvovedeniya i agroximii: uchebnik 2-e izd., ispr. / N.S. Matyuk, A.I. Belenkov, M.A. Mazirov — Sankt-Peterburg: Lan`. 2014. – 224 s.
3. *Plaksina, V.S.* Vodopotreblenie sel`skoxozyajstvenny`x kul`tur v polevy`x sevooborotax. Vavilovskie chteniya – 2019: Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashhennoj 132-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N.I. Vavilova / V.S. Plaksina, M.G. Suchkova, A.A. Safronov. – Saratov: Amirit, 2020. – S. 212-214.
4. *Muxa, V.D.* Agropochvovedenie / V.D. Muxa. – M.: KolosS, 2003. – 528 s.
5. *Sedy`x, V.A.* Strukturny`e vzaimosvyazi mezhdru svojstvami pochv kak faktor ix plodorodiya / V.A. Sedy`x, K.V. Savich, O.V. Shilenko, A.G. Lobanov // Plodorodie – 2012 – №2. – S.26-28
6. *Mukhina, N.V.* Vy`yavlenie korrelyacionnoj zavisimosti mezhdru osnovny`mi pokazatel`ny`mi velichinami pri pochvenno-e`kologicheskom monitoringe zemel` sel`skoxozyajstvennogo naznacheniya / N.V. Mukhina // Vestnik KrasGAU. – 2008. – № 6. – S. 18-24.
7. *Fedotova, A.V.* Izuchenie vzaimozavisimostej mezhdru pochvenny`mi svojstvami v zasolenny`x pochvax / Fedotova A.V., Knyazev A.G. // Vestnik OGU. – 2011. – № 12 (131) – S. 157-159.
8. *Plaksina, V.S.* Izuchenie vzaimozavisimostej vodno-fizicheskix svojstv pochvy` zernoparopropashnogo sevooborota v usloviyax Saratovskogo Pravoberezh`ya / V.S. Plaksina, A.A. Safronov // Nauchnoe obespechenie ustojchivogo razvitiya agropromy`shlennogo kompleksa v usloviyax aridizacii klimata. Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashhennoj 35-letiyu FGBNU RosNIISK «Rossorgo». – Saratov, 2021. – S. 370-375.
9. GOST 28268–89 Pochvy`. Metody` opredeleniya vlazhnosti, maksimal`noj gigroskopicheskoy vlazhnosti i vlazhnosti ustojchivogo zavyadaniya rastenij – M.: Izd-vo standartov, 1989. – 35 s.
10. *Terpelec, V.I.* Agrofizicheskie i agroximicheskie metody` issledovaniya pochv. Uchebno-metodicheskoe posobie / V.I. Terpelec, V.N. Slyusarev. – Krasnodar: KubGAU. 2016. – 55 s.
11. *Dospekhov, B.A.* Metodika polevogo opy`ta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul`tatov issledovanij) / B.A. Dospekhov. – M.: Kniga po Trebovaniyu, 2012. – 352 s.
12. *Marty`nov, S.P.* Statisticheskij i biometriko-geneticheskij analiz v rastenievodstve i selekcii. Paket programm “AGROS 2.09” / S.P. Marty`nov. – Tver`, 1999.

Vera Plaksina, Senior Researcher at the Department of Perennial and Annual Herbs. ORCID ID: 0000-0002-8968-8774. E-mail: v.plaksina88@yandex.ru

Kirill Prokudin, Researcher at the Department of Perennial and Annual Herbs. ORCID ID: 0000-0002-9760-6732. E-mail: pronudin.kirill@yandex.ru