

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОДОРОДИЯ АГРОСЕРОЙ ПОЧВЫ МЕТОДАМИ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Ушаков Роман Николаевич<sup>1</sup>, Ручкина Анастасия Владимировна<sup>2</sup>,  
Бобраков Федор Юрьевич<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

<sup>1</sup>r.usakov1971@mail.ru, <sup>2</sup>nasni91@gmail.com

### **Аннотация.**

**Проблема и цель.** Для понимания сложности плодородия почв и его управления можно использовать методы многомерного статистического анализа. Цель исследований – оценка устойчивости плодородия и ее оптимизация с помощью кластерного анализа (КА) и метода главных компонент. Они позволяют представить всю совокупность почвенных свойств как один фактор.

**Методология.** Работа выполнена по материалам агрохимического обследования на агросерых почвах. Отдельнообрабатываемые участки делились на элементарные участки площадью 5-8 га (на пашне). С каждого элементарного участка отбирался один смешанный почвенный образец, который состоял из 20-45 индивидуальных проб. Объем проанализированной выборки составил 224 образца. Учеты, наблюдения и анализы проводились по общепринятым методикам.

**Результаты.** Установлено, что оптимальные параметры плодородия агросерой почвы достигались при  $pH_{ксл}$  – 5,5–5,6 ед.,  $N_2$  – 1,7–1,9 мг-экв/100 г,  $P_2O_5$  – 225-240 мг/кг,  $K_2O$  – 158–192 мг/кг, гумусе – 3,0-3,4 %,  $Mg^{2+}$  – 4,4-6,0 мг-экв/100 г,  $V$  – 90-91%.

**Заключение.** Предложена поэтапная корректировка группировки бонитета, сначала выполненная на основе медианы, затем методами многомерного статистического анализа, при которых были достигнуты достоверная классификация вовлеченных в оценку агрохимических почвенных свойств и одинаковый по весу их вклад в дискриминацию.

**Ключевые слова:** оценка устойчивости плодородия, агросерая почва, бонитет, многомерная статистика.

Original article

## ASSESSMENT OF THE STABILITY OF FERTILITY OF AGRO-GRAY SOIL BY METHODS OF MULTIDIMENSIONAL STATISTICAL ANALYSIS

*Ushakov Roman N.<sup>1</sup>, Ruchkina Anastasia V.<sup>2</sup>, Bobrakov Fedor Yu.<sup>3</sup>*

*<sup>1,2,3</sup>Federal State Budgetary Institution of Higher Education «Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev», Ryazan, Russia*

*<sup>1</sup>r.usakov1971@mail.ru, <sup>2</sup>nasni91@gmail.com*

### **Annotation.**

**Problem and purpose.** *Multivariate statistical analysis techniques can be used to understand the complexity of soil fertility and its management. The purpose of the research is to assess the stability of fertility and its optimization using cluster analysis (CA) and the principal component method. They make it possible to present the entire set of soil properties as one factor.*

**Methodology.** *The work was carried out based on materials from an agrochemical survey on agro-gray soils. Separately cultivated plots were divided into elementary plots with an area of 5-8 hectares (on arable land). One mixed soil sample was taken from each elementary plot, which consisted of 20-45 individual samples. The volume of the analyzed sample was 224 samples. Accounts, observations and analyzes were carried out according to generally accepted methods.*

**Results.** *It was established that the optimal fertility parameters of agro-gray soil were achieved at pH<sub>KCl</sub> – 5.5–5.6 units, Hg – 1.7–1.9 mEq/100 g, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 225-240 mg/kg, K<sub>2</sub>O – 158–192 mg/kg, humus – 3.0-3.4%, Mg<sup>2+</sup> – 4.4-6.0 mEq/100 g, V – 90-91%.*

**Conclusion.** *A step-by-step adjustment of the quality grouping is proposed, first performed on the basis of the median, then by methods of multivariate statistical analysis, in which a reliable classification of the agrochemical soil properties involved in the assessment and an equal weight of their contribution to discrimination were achieved.*

**Key words:** *assessment of fertility stability, agro-gray soil, quality, multivariate statistics.*

### **Введение**

Важным сегментом в обеспечении продовольственной безопасности играет почвенный мониторинг. На его важность и различные способы и методы проведения с различными методологическими и познавательными подходами указаны многочисленные работы. Некоторые из них представлены в работах [1, 5, 7, 10, 11, 12, 13, 14].

Для понимания соотношения почвенных свойств между собой, при котором бы они представляли структурное единство, как основа устойчивости почвы, необходимо оперировать объемным и вариабельным фактологическим материалом в отношении агрохимических свойств с привлечением для

обработки информации методов многомерной статистики. Она применяется в различных областях сельскохозяйственной науки [2, 3, 4, 6, 8, 9].

### Материалы и методы исследования

Работа выполнена по материалам агрохимического обследования и лабораторных анализов агросерых почв, проведенных ФГБУ ГЦАС «Московский» в ЗАО «Макеево» Зарайского района Московской области. Отдельно-обрабатываемые участки делили на элементарные участки площадью 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 ( $P_2O_5$ ) и обменный, калий ( $K_2O$ ) по Кирсанову (ГОСТ 26204-91); кислотность в солевой вытяжке ( $pH_{KCl}$ ) (ГОСТ 26483-85), гидролитическую кислотность (Нг) – по Каппену, органическое вещество (гумус) по Тюрину (ГОСТ 26213-91); Обменные формы кальция ( $Ca^{2+}$ ) и магния ( $Mg^{2+}$ ) – атомно-адсорбционным методом (ГОСТ 26487-85). Объем проанализированной выборки составил 224 образца.

### Результаты исследований и их обсуждение

Первоначально массив данных был разделен на две группы по медиане (вариант №1). В группу 1 вошли все значения бонитета со значением меньше 90 ед., в группу 2 – значения больше 90 ед. Различия между группами по бонитету оказались достоверными, однако по некоторым почвенным показателям (Нг,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , степень насыщенности почвы – V) отнесенные к группам значения достоверно не отличались. Следовательно, требовалось разобраться причины изначально плохой матрицы для классификации почвенных свойств. Статистические анализы выполнены с помощью программного продукта STATISTICA 10.

В табл. 1 приведены данные описательной статистики, с которыми достоверно коррелирует бонитет. Обращает внимание сильное различие между минимальными ( $X_{min}$ ) и максимальными значениями ( $X_{max}$ ) по  $P_2O_5$  и  $K_2O$  с коэффициентами вариации ( $K_v$ ) 56 и 40% соответственно.

Таблица 1- Общая статистика почвенных свойств

Параметр	$X_{cp}$	Me	$X_{min}$	$X_{max}$	S	$K_v$ , %	$Sx_{cp}$
$pH_{KCl}$	5,3	5,3	4,3	6,1	0,37	7,0	0,02
Нг, мг-экв/100 г	2,1	2,0	0,5	5,8	0,75	36	0,05
$P_2O_5$ , мг/кг	240,1	209,0	77,0	1097	135	56	9,02
$K_2O$ , мг/кг	145,0	134,5	65,0	440	58,2	40	3,89
Гумус, %	2,7	2,7	1,2	6,5	0,82	30	0,05
$Ca^{2+}$ , мг-экв/100 г	12,3	12,4	8,9	18,0	1,60	13	0,11
$Mg^{2+}$ , мг-экв/100 г	4,2	2,9	1,9	13,0	3,06	73	0,20
V, %	88,6	88,9	73,3	97,7	4,11	4,6	0,27
Бонитет	87,9	90,0	54,7	99,8	9,49	10,8	0,63

Примечание.  $X_{cp}$  – среднее значение; Me – медиана,  $X_{min}$  и  $X_{max}$  – минимальное и максимальное значения, S – стандартное отклонение,  $K_v$  – коэффициент вариации,  $Sx_{cp}$  – стандартная ошибка средней

При разделении массива данных по варианту №1 среднее значение бонитета для первой группы составило 80 ед., второй – 95 ед. (табл. 2). В этом случае достоверные различия между группами установлены по  $pH_{KCl}$ ,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , гумуса. Поэтому разделение на указанные выше группы является не оптимальным вариантом. Далее в основу разделения были получены результаты кластерного анализа (вариант №2). В этом случае различия по бонитету были не столь существенными, но достоверными (на 7 ед.), но при этом только по  $pH_{KCl}$  и гумусу различия между кластерами оказались недостоверными. Как видно из таблицы 2, средние значения Нг,  $Mg^{2+}$ , гумуса не могут соответствовать уровню бонитету (94 ед.), поэтому классификация почвенных показателей на основе кластерного анализа не подходит. Однако результаты его использовали для дальнейшей корректировки в поиске оптимального варианта. Возникла необходимость исключить из статистической обработки очень высокие значения  $P_2O_5$  – более 29 мг/кг (разделение бонитетов по варианту №3). В этом случае достоверность между группами отмечается еще и по  $pH_{KCl}$ , и отсутствует только по гумусу. По-видимому, в нашем конкретном случае (если следовать логике кластерного анализа) не сложилась комбинация условий, при котором вклад гумуса в общую интегральную оценку плодородия могла бы проявиться. Это недопустимо, т.к. гумус – интегральный, и в этом смысле фундаментальный показатель плодородия [3, 8, 9].

Таблица 2 – Средние значения почвенных показателей по группам и кластерам

Группа/Кластер	$pH_{KCl}$	Нг	$P_2O_5$	$K_2O$	Гумус	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	V	Бонитет
Вариант №1									
1	5,1	2,1	185	115	2,6	12,3	4,1	88,4	80
2	5,4	2,1	286	170	2,9	12,4	4,2	88,8	95
Вариант №2									
1	5,3	2,0	204	134	2,7	12,2	4,3	88,8	87
2	5,4	2,4	556	243	2,7	13,0	2,9	86,7	94
Вариант №3									
1	5,1	2,2	146	114	2,7	12,2	4,2	88,0	81
2	5,3	1,9	230	148	2,7	12,1	4,8	89,6	91
Вариант №4									
1	5,1	2,3	210	129	2,4	12,5	3,7	87,6	83
2	5,4	1,7	278	164	3,2	12,1	4,7	89,8	93
Вариант №5									
1	5,0	2,4	160	113	2,4	12,1	4,1	86,7	73
2	5,2	2,2	230	137	2,5	12,5	3,7	88,0	86
3	5,4	1,9	278	165	3,1	12,1	4,8	89,9	95

Примечание. Единицы измерения почвенных показателей соответствует таблице 1

При сопоставлении результатов дисперсионного анализа выявлено, что если за основу интерпретации взять данные по бонитету, то роль показателей, характеризующих состояние почвенно-поглощающего комплекса (Нг,  $Mg^{2+}$ , V), оказалась не установленной (недостоверные различия). Если за основу принять

группировку на основе кластеров, то нивелируется значение гумуса. Поэтому далее была проведена корректировка кластеров: кластер 1 (бонитет менее 90 ед.) менялся на кластер 2 (бонитет более 90 ед.) если содержание гумуса превышало 3% (вариант №4). В этом случае за исключением  $\text{Ca}^{2+}$  ( $p=0,08$ ) различия между почвенными показателями были достоверными. При значениях бонитета 83 (корректированный кластер 1) и 93 ед. (корректированный кластер 2) достоверные различия по  $\text{pH}_{\text{КСИ}}$  и  $\text{Нг}$  составили 3 мг-экв/100 г., и 0,6 ед. соответственно, по  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 68 мг/кг, по  $\text{K}_2\text{O}$  – 35 мг/кг, гумусу – 0,8%,  $\text{Mg}^{2+}$  – 1 мг-экв/100 г,  $\text{V}$  – 2,2% (табл. 2).

Можно принять другой вариант – выделить дополнительно 3 группу на основе варианта №4 (вариант №5). В этом случае достоверное различие бонитета между первой и третьей группой становится еще более существенной – 22 ед., что обусловлено увеличением дельты по  $\text{P}_2\text{O}_5$  (118 мг/кг) и  $\text{K}_2\text{O}$  (52 мг/кг) (табл. 2).

Метод главных компонент (МГК) направлен не только на редукцию данных без потери ценной информации, но и на изучение взаимосвязей между переменными (в нашем случае почвенных свойств). В отношении почвенных свойств это особенно важно, т.к. все они являются структурными элементами плодородия, поэтому исключение какого-либо из них неприемлемо. При рассмотрении первой главной компоненты, на долю которой приходится 37% всей дисперсии, оказалось, что наиболее различающимися группами при варианте №5 были первая (бонитет = 73, табл. 2) с коэффициентом собственного вектора (КСВ) 0,75 и третья (бонитет = 95), КСВ = -0,43 (табл. 3). Наибольший вклад в формирование различий по этой компоненте вносят  $\text{V}$  и  $\text{Нг}$  (КСВ = 0,91; вклад по 37%), далее  $\text{pH}_{\text{КСИ}}$  (КСВ = -0,63, вклад – 17%) и  $\text{P}_2\text{O}_5$  (КСВ = -0,37, вклад – 6%, табл. 4). Вторая главная компонента описывает около 26% информации по группировке. По ней максимальные различия между первой и третьей группами обусловлены элементами питания (КСВ = 0,74–0,83), вклад 35–44% (табл. 3). Роль гумуса отражена в третьей компоненте, объясняющей 17% всей дисперсии. При КСВ 0,96, вклад органического вещества составляет 90%. Наибольший вклад (62%)  $\text{pH}_{\text{КСИ}}$  установлен по четвертой компоненте с долей дисперсий 10%.

Таблица 3 – Коэффициенты собственного вектора (КСВ) при разделении на группы

При группировке по варианту №6	Компонент 1	Компонент 2	Компонент 3	Компонент 4
1	0,75	-0,88	0,28	0,18
2	0,16	-0,14	0,32	0,03
3	-0,43	0,45	-0,42	-0,10

По отмеченным в таблице 4 параметрам корректировка групп на основе МГК (вариант №6) еще в некоторой степени улучшила результат классификации почвенных свойств – 95% против 72 % (вариант №5). Это видно по общей Лямбде Уилкса (чем ближе она к нулю, тем выше вклад почвенных свойств в разделение на группы),  $F$ -значению (отношение межгрупповой дисперсии к

внутригрупповой), поэтому, чем больше F, тем лучше, а также по каноническому коэффициенту корреляции – R. При этом по варианту №5 по второй компоненте значение R было недостоверным.

Таблица 4 – Некоторые параметры дискриминантного анализа при группировке

Группировка	Общая Лямбда Уилкса	F-значение	R*	% случаев верной классификации
По варианту №5	0,48	19	0,7/0,2	72
По варианту №6	0,20	44	0,9/0,4	95

Примечание. \* в числителе по первой компоненте; в знаменателе – по второй компоненте

Группировка по варианту №1 была сделана на основе исходной информации по агрохимическому обследованию почв. Она не отражает представление о комплексности плодородия, т.к. некоторые показатели оказались исключенными при оценке, вследствие недостоверности участия по уровню значимости. Например, оптимизация состояния почвенного плодородия установила необходимость снижения Нг на 0,2–0,3 мг-экв/100 г до 1,7–1,9 мг-экв/100 г., увеличения содержания гумуса на 0,3–0,4% до 3,0–3,4%, Mg<sup>2+</sup> на 0,7–1,2 мг-экв/100 г (табл. 5).

Таблица 5 – Доверительные интервалы почвенных показателей

Группа	pH <sub>KCl</sub>	Нг	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус	Mg <sup>2+</sup>	V	Бонитет
Вариант №1								
1	5,1–5,2	1,9–2,3	169–201	108–122	2,4–2,7	3,5–4,7	87–89	78–81
2	5,3–5,4	1,9–2,2	259–313	159–181	2,7–3,0	3,7–4,8	88–89	94–95
Вариант №6								
1	4,6–4,9	2,7–4,0	108–136	96–141	2,0–2,8	2,6–3,1	79–85	68–77
2	5,1–5,1	2,0–2,2	182–199	124–137	2,3–2,6	3,3–4,2	88–89	84–87
3	5,5–5,6	1,7–1,9	22–240	158–192	3,0–3,4	4,4–6,0	90–91	93–96

Для более детальной и качественной комплексной оценки состояния почвенного плодородия в хозяйстве недостаточно агрономической службой оперировать только описательной статистикой. Информация по ней может выдать неточное представление о плодородии. Данное предположение исходит из результатов анализа методами многомерной статистики, когда вытекает, что не все почвенные показатели достоверно классифицируются или их вклады контрастируют между собой по весу. Поэтому задачи комплексной оценки плодородия не выполняются. Так случилось в нашем случае после статистической обработки результатов агрохимического обследования в хозяйстве.

### Заключение

Предложена поэтапная корректировка группировки бонитета, сначала выполненная на основе медианы, затем методами многомерного

статистического анализа, при которых были достигнуты достоверная классификация вовлеченных в оценку агрохимических почвенных свойств и одинаковый по весу их вклад в дискриминацию. После этого предложено оптимальное сочетание значений показателей при интенсивном применении минеральных удобрений и бонитете не ниже 93 единиц: солевая кислотность должна лежать в пределах 5,5–5,6 ед., гидролитическая кислотность – 1,7–1,9 мгэкв/100 г, подвижный фосфор– 225-240 мг/кг, обменный калий– 158–192 мг/кг, гумус – 3,0-3,4 %, обменный магний– 4,4-6,0 мгэкв/100 г, степень насыщенности почв основаниями – 90-91%.

#### **Библиографический список**

1. Ашинов, Ю.Н. Мониторинг земельных угодий и уровня плодородия почв Республики Адыгея / Ю.Н. Ашинов, Н.И. Мамсиров // Новые технологии. – 2022. – Т. 18. – № 3. – С. 185-197.–URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-zemelnyh-ugodiy-i-urovnya-plodorodiya-pochv-respubliki-adygeya?ysclid=lmfbtqsm8p260425126>
2. Боисов, Н.Н. Особенности экологической бонитировки почв и перспективы ее осуществления в условия Республики Таджикистан / Н.Н. Боисов, С.В. Шарипова // Ученые записки Худжандского государственного университета им. академика Б. Гафурова. Серия: естественные и экономические науки. – Т. 60. – № 1. – С. 60-64.
3. Василько, В.П. Плодородие почвы – основа устойчивости сельскохозяйственного производства и экологизации агроландшафтов / В.П. Василько, В.Н. Герасименко, Л.О. Великанова и др. // Труды Кубанского ГАУ. – 2022. – № 102. – С. 114-120.–URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53749730&ysclid=lmfbwqtlvp832204827>
4. Голобобова, А.Г. Исследование пространственного распределения микроэлементов в почвах методом многомерного статистического анализа (на примере территории Далдынского Кимберлитового поля, Северо-Западная Якутия) / А.Г. Голобобова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 3. – С. 89-103.
5. Есаулко, А.Н. Мониторинг плодородия почв Северо-Восточной части Ставрополя / А.Н. Есаулко, Е.В. Колесникова, А.Ю. Ожередова и др. // Плодородие. – 2022. – № 4 (127). – С. 41-44. –URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-prostranstvennogo-raspredeleniya-mikroelementov-v-pochvah-metodom-mnogomernogo-statisticheskogo-analiza-na-primere?ysclid=lmfdpj7b9a855461807>
6. Захарова, О.А. Статистические исследования производства ячменя в Рязанской области и прогноз урожайности культур / О.А. Захарова, О.В. Черкасов, К.Е. Евсенкин и др. // Вестник Рязанского государственного университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14. – № 1. – С. 19-26.–URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/statisticheskie-issledovaniya-proizvodstva-yachmenya-v-ryazanskoy-oblasti-i-prognoz-urozhaynosti-kultury?ysclid=lmfdqia1tg964952089>

7. Зинченко, С.И. Влияние приемов основной обработки в зернотравяном севообороте на плотность сложения серой лесной почвы / С.И. Зинченко // Земледелие. – 2023. – №. – С. 21-26.–URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-priemov-osnovnoy-obrabotki-v-zernotravyanom-sevooborote-na-plotnost-slozheniya-seroy-lesnoy-pochvy?ysclid=lmfdrg64cf428829829>
8. Зубкова, Т.В. Использование в качестве удобрений азотсодержащих производственных отходов животноводческого происхождения / Т.В. Зубкова, А.В. Бутов, А.А. Соколов и др. // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 1 (55). – С. 11.–URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50481634&ysclid=lmfdfs8aylw86900530>
9. Костин, И.Г. Мониторинг основных параметров плодородия почв с применением геоинформационных систем / И.Г. Костин, Е.С. Малышева // Вестник Казанского ГАУ. – 2020. – Т. 15. – № 2 (58). – С. 96-101.–URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-plodorodiya-pochv-s-primeneniem-geoinformatsionnyh-sistem?ysclid=lmfdtfre9d540790097>
10. Смольский, Е.В. Влияние общих физических свойств серой лесной почвы на урожайность сои / Е.В. Смольский, Н.С. Шпилев, А.Л. Силаев // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. – № 5(93). – с. 17-25. – URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-obschih-fizicheskikh-svoystv-seroy-lesnoy-pochvy-na-urozhaynost-soi?ysclid=lmfdu5qvi440739642>
11. Турусов, В.И. Влияние приемов обработки почв на урожайность и экономическую эффективность выращивания ячменя / В.И. Турусов, А.В. Дедов, В.А. Шевченко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 15. – № 4 (75). – С. 12-19.–URL: <https://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2023/01/12-19.pdf>
12. Ручкина, А.В. Оценка конституционной основы плодородия агросерой почвы / А.В. Ручкина, Р.Н. Ушаков, Н.Н. Новиков и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 1. – С. 56-61.–URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44595363&ysclid=lmfdw25lnh174917359>
13. Ушаков, Р.Н. Оценка и оптимизация плодородия агросерой почвы методами многомерного статистического анализа / Р.Н. Ушаков, Т.Ю. Ушакова, А.В. Ручкина и др. // Агрохимия. – 2022. – № 12. – С. 69-78.–URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=wroyqi&ysclid=lmfdwpbh6n917388813>
14. Шабаев, В.П. Влияние стимулирующих рост растений ризосферных бактерий на устойчивость яровой пшеницы к токсическому действию никеля при загрязнении агросерой почвы / В.П. Шабаев, В.Е. Остроумов // Агрохимия. – 2021. – № 11. – С. 87-94.–URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46650882&ysclid=lmfdxaogqx458717915>

#### **References**

1. Ashinov, YU.N. Monitoring zemel'nyh ugodij i urovnya plodorodiya pochv Respubliki Adygeya / YU.N. Ashinov, N.I. Mamsirov // Novye tekhnologii. – 2022. – Т 18. – № 3. – S. 185-197.–URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-zemelnyh-ugodiy-i-urovnya-plodorodiya-pochv-respubliki-adygeya?ysclid=lmfibtqsm8p260425126>

2. Boisov, N.N. Osobennosti ekologicheskoy bonitirovki pochv i perspektivy ee osushchestvleniya v usloviya Respubliki Tadzhiqistan / N.N. Boisov, S.V. SHaripova // Uchenye zapiski Hudzhandskogo gosudarstvennogo universiteta im. akademika B. Gafurova. Seriya: estestvennye i ekonomicheskie nauki. – T. 60. – № 1. – S. 60-64.
3. Vasil'ko, V.P. Plodorodie pochvy – osnova ustojchivosti sel'skohozyajstvennogo proizvodstva i ekologizacii agrolandshaftov / V.P. Vasil'ko, V.N. Gerasimenko, L.O. Velikanova i dr. // Trudy Kubanskogo GAU. – 2022. – № 102. – S. 114-120.–URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53749730&ysclid=lmfbwqtlvp832204827>
4. Golobobova, A.G. Issledovanie prostranstvennogo raspredeleniya mikroelementov v pochvah metodom mnogomernogo statisticheskogo analiza (na primere territorii Daldynskogo Kimberlitovogo polya, Severo-Zapadnaya YAkutiya) / A.G. Golobobova // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2023. – T. 334. – № 3. – S. 89-103.
5. Esaulko, A.N. Monitoring plodorodiya pochv Severo-Vostochnoj chasti Stavropol'ya / A.N. Esaulko, E.V. Kolesnikova, A.YU. Ozheredova i dr. // Plodorodie. – 2022. – № 4 (127). – S. 41-44.–URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-prostranstvennogo-raspredeleniya-mikroelementov-v-pochvah-metodom-mnogomernogo-statisticheskogo-analiza-na-primere?ysclid=lmfdpj7b9a855461807>
6. Zaharova, O.A. Statisticheskie issledovaniya proizvodstva yachmenya v Ryazanskoj oblasti i prognoz urozhajnosti kul'tur / O.A. Zaharova, O.V. CHerkasov, K.E. Evsenkin i dr. // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2022. – T. 14. – № 1. – S. 19-26.– URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/statisticheskie-issledovaniya-proizvodstva-yachmenya-v-ryazanskoy-oblasti-i-prognoz-urozhaynosti-kultury?ysclid=lmfdqialtg964952089>
7. Zinchenko, S.I. Vliyanie priemov osnovnoj obrabotki v zernotravyanom sevooborote na plotnost' slozheniya seroj lesnoj pochvy / S.I. Zinchenko // Zemledelie. – 2023. – №. – S. 21-26.– URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-priemov-osnovnoy-obrabotki-v-zernotravyanom-sevooborote-na-plotnost-slozheniya-seroy-lesnoj-pochvy?ysclid=lmfdrg64cf428829829>
8. Zubkova, T.V. Ispol'zovanie v kachestve udobrenij azotsoderzhashchih proizvodstvennyh othodov zhivotnovodcheskogo proiskhozhdeniya / T.V. Zubkova, A.V. Butov, A.A. Sokolov i dr. // AgroEkoInfo. – 2022. – № 1 (55). – S. 11.– URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50481634&ysclid=lmfdfs8aylw86900530>
9. Kostin, I.G. Monitoring osnovnyh parametrov plodorodiya pochv s primeneniem geoinformacionnyh sistem / I.G. Kostin, E.S. Malysheva // Vestnik Kazanskogo GAU. – 2020. – T. 15. – № 2 (58). – S. 96-101.– URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-plodorodiya-pochv-s-primeneniem-geoinformatsionnyh-sistem?ysclid=lmfdtfre9d540790097>
10. Smol'skij, E.V. Vliyanie obshchih fizicheskikh svojstv seroj lesnoj pochvy na urozhajnost' soi / E.V. Smol'skij, N.S. SHpilev, A.L. Silaev // Vestnik Bryanskoj

- gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2022. – № 5(93). – s. 17-25.– URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-obschih-fizicheskikh-svoystv-seroy-lesnoj-pochvy-na-urozhaynost-soi?ysclid=lmfdu5qvi440739642>
11. Turusov, V.I. Vliyanie priemov obrabotki pochv na urozhajnost' i ekonomicheskuyu effektivnost' vyrashchivaniya yachmenya / V.I. Turusov, A.V. Dedov, V.A. Shevchenko // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – T. 15. – № 4 (75). – S. 12-19.– URL: <https://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2023/01/12-19.pdf>
12. Ruchkina, A.V. Ocenka konstitucionnoj osnovy plodorodiya agroseroj pochvy / A.V. Ruchkina, R.N. Ushakov, N.N. Novikov i dr. // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. – 2021. – № 1. – S. 56-61. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44595363&ysclid=lmfdw25lnh174917359>
13. Ushakov, R.N. Ocenka i optimizaciya plodorodiya agroseroj pochvy metodami mnogomernogo statisticheskogo analiza / R.N. Ushakov, T.YU. Ushakova, A.V. Ruchkinai dr. // Agrohimiya. – 2022. – № 12. – S. 69-78.– URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=wroyqi&ysclid=lmfdwp6h6n917388813>
14. SHabaev, V.P. Vliyanie stimuliruyushchih rost rastenij rizosfernyh bakterij na ustojchivost' yarovoj pshenicy k toksicheskomu dejstviyu nikelya pri zagryaznenii agroserojpochvy / V.P. SHabaev, V.E. Ostroumov // Agrohimiya. – 2021. – № 11. – S. 87-94.– URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46650882&ysclid=lmfdxaogqx458717915>