

ВЫЯВЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПЛОДОРОДИЯ В СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦАХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ РАЗНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Г.А. Ступакова¹, к.б.н., А.А. Лапушкина^{1,2}, к.б.н., Е.Э. Игнатьева¹, Е.Ю. Ветрова¹
¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт имени Д.Н. Прянишникова»
(ФГБНУ «ВНИИ агрохимии») 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д.31А

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
(РГАУ-МСХА) 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49

Показаны степень и характер варьирования основных показателей плодородия (агрохимических показателей) в стандартных образцах (СО) дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава (супесчаных, легко-, средне- и тяжелосуглинистых), отобранных в 1978-2020 г. в различных почвенно-климатических зонах. Все СО подготовлены по одной методике, имеют доказанную однородность, стабильность, аттестованные (сертифицированные) значения изучаемых характеристик. Установлено наличие тесной связи между величиной pH_{KCl} и гидролитической кислотностью, обменными магнием и кальцием, органическим веществом и кальцием. Выявлена низкая степень варьирования (7-15%) обменной кислотности в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава. Высокая степень вариабельности отмечена у P_2O_5 (88%), Mg (82%), органического вещества (66%), Ca (65%), K_2O (59%) и гидролитической кислотности (66%).

Ключевые слова: стандартные образцы, показатели плодородия почвы, коэффициент корреляции, вариабельность, гранулометрический состав.

Для цитирования: Ступакова Г.А., Лапушкина А.А., Игнатьева Е.Э., Ветрова Е.Ю. Выявление корреляционной зависимости между показателями плодородия в стандартных образцах дерново-подзолистой почвы разного гранулометрического состава // Плодородие. – 2022. – №4. – С. 45-49. DOI: 10.25680/S19948603.2022.127.13.

Содержание основных показателей плодородия почвы – это результат влияния ряда факторов и условий, которые в разных почвах складываются по-особому и приводят к получению различных по значению корреляционных связей. Установление агрохимических факторов почвенной среды (гранулометрический состав, реакция среды, содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия и т.д.) позволяет найти вариационно-статистические модели зависимостей для каждого из изучаемых компонентов почвенной среды. Эти знания имеют теоретический аспект и практическое значение при мониторинге почвенного плодородия в разных почвенно-климатических зонах.

Выявлению корреляционных зависимостей между основными показателями плодородия, математических, структурных взаимосвязей в почве посвящен ряд работ [1-3]. Степень варьирования признаков (в данном случае показателей плодородия) может меняться в течение одного вегетационного сезона, различаться в разные годы в связи с погодными условиями.

Поскольку корреляционные связи между изучаемыми показателями могут быть неустойчивыми в разное время отбора СО (весна, лето, осень), погодные условия в годы отбора соответственно тоже, интерес представляет изменчивость состава дерново-подзолистых почв в разных пространственно-временных рамках.

Цель исследований – дать оценку и выявить связи между обменной и гидролитической кислотностью, содержанием подвижных форм фосфора, калия, обменного магния и кальция в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, выведенных из сельскохозяйственного использования.

Методика. В работе использована собранная ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» научная коллекция разных типов почв, представленная в виде Государственных и Отраслевых стандартных образцов, отобранных в различных почвенно-климатических зонах бывшего советского пространства с 1978 по 2020 г. В эксперименте участвуют СО дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава (легко-, средне- и тяжелосуглинистые, супесчаные), общее число образцов – 51. География отбора почвенных образцов обширна и представлена образцами, отобранными в Белоруссии (Минская область), Украине (Ровенская, Львовская, Волынская, Черниговская, Черновицкая области), Латвии (Рижская область), а также на территории субъектов РФ: Горьковской, Свердловской, Рязанской, Ленинградской, Калужской, Владимирской, Архангельской, Новгородской областях, в Удмуртской Республике (Киясовский район). Отбор почвенного материала проводился на незатронутых антропогенным воздействием участках, и в местах, где последние три года не применяли средства химизации (удобрения, средства защиты). Описание методики отбора почвенных образцов и условия их хранения представлены в [4].

В результате выполненных работ на все типы СО разработана техническая документация в соответствии с ГОСТ 8.315-2019 [5].

Экспериментальные исследования и обработка результатов для оценки неопределенности от нестабильности проводились в соответствии с методикой оценивания характеристики стабильности по Р 50.2.031-2003 [6].

Каждый образец аттестован в соответствии с [7] на показатели плодородия: подвижный фосфор и обменный калий по ГОСТ Р 54650-2011 (метод Кирсанова)

[8], органическое вещество по ГОСТ 26213-91 [9], величина pH по ГОСТ 26483-85 [11], гидролитическая кислотность по ГОСТ 26212-91 [11], обменные кальций и магний по ГОСТ 26487-85 [12].

Результаты и их обсуждение. Содержание основных агрохимических показателей и коэффициенты их вариации в наборе государственных стандартных образцов дерново-подзолистой почвы различного гранулометрического состава представлены в таблице 1.

1. Среднее арифметическое и коэффициент вариации основных агрохимических показателей в зависимости от гранулометрического состава дерново-подзолистой почвы

Гранулометрический состав почвы, число СО	Показатель*	pH _{KCl}	Нг, ммоль/100 г	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Орг. в-во, %
				млн ⁻¹		ммоль/100 г		
Супесь, 12 СО	\bar{x}	5,4	1,84	98	86	3,8	0,7	1,5
	Cv, %	15	45	78	52	46	60	39
Легкосуглинистая, 11 СО	\bar{x}	5,2	3,01	133	124	5,4	1,5	2,0
	Cv, %	14	70	68	35	50	84	32
Среднесуглинистая, 18 СО	\bar{x}	4,4	4,37	77	104	6,0	1,5	2,1
	Cv, %	7	40	63	72	58	80	93
Тяжелосуглинистая, 10 СО	\bar{x}	5,5	2,46	236	142	11,4	2,3	2,8
	Cv, %	13	48	70	59	42	58	42
Всего, 51 СО	μ	5,0	3,11	126	111	6,4	1,5	2,1
	Cv, %	16	59	88	59	65	82	66

* \bar{x} , μ – среднее арифметическое, Cv – коэффициент вариации.

Наиболее кислой фракцией является средний суглинок – значение pH_{KCl} относится ко II классу (сильнокислая), а Нг – к III классу (повышенная кислотность). Лидерство по содержанию представленных элементов питания и органического вещества следует отдать тяжелосуглинистой фракции почвы. Так, содержание подвижного фосфора и обменного калия находится на уровне V класса (высокое) и IV класса (повышенное) соответственно, а количество обменного кальция и магния отмечается как повышенное (IV класс). Также здесь наблюдается наибольшее содержание органического вещества среди всех разновидностей почвы, но в соответствии с общепринятой классификацией почв России [13]. Содержание почвенного органического вещества 2,8% считается низким, и такая почва называется малогумусной¹.

Самой бедной и неплодородной разновидностью дерново-подзолистой почвы является супесь. В частности, уровень подвижного фосфора и обменного калия соответствует III классу и характеризуется как средний, обеспеченность почвы обменными кальцием и магнием отмечается как низкая (II класс), содержание органического вещества находится на нижней границе III класса и относится почва к малогумусированному виду.

Для понимания того, как могут варьироваться значения в пределах одного агрохимического показателя в почве в зависимости от гранулометрического состава, следует обратиться к рисунку 1. Данные гистограммы выполнены в виде «ящика с усами», где «усы» – это

максимальные и минимальные значения в вариационном ряду, границы «ящика» – это 1- и 3-й квартили, отсекающие первые и последние 25% всех значений, тело «ящика» показывает половину всех значений, наиболее тесно связанных со средним арифметическим. Крестиком обозначено среднее арифметическое для данного ряда показателя, а горизонтальной чертой – медиана. Коэффициент варьирования из таблицы 1 дополняет эти рисунки, показывая, насколько сильно варьируют значения в пределах каждого ряда, позволяя сравнивать между собой степень варьирования у разнотипных показателей.

Исходя из представленных данных, наименьший разброс значений у всех показателей можно отметить у среднесуглинистой почвы, а наибольший – у тяжелосуглинистой. Минимальная разница между средней и медианой наблюдается у супесчаной почвы, что говорит о распределении вариантов, близком к нормальному.

Вариация значений считается слабой, если коэффициент варьирования менее 10%, средней – 11-25, сильной – более 25%. Как видно из таблицы 1, наименьшим разбросом вариант отличается pH_{KCl} – данный агрохимический показатель имеет средний коэффициент вариации на всех почвенных разностях, за исключением среднесуглинистой почвы, где вариация признака слабая. Для остальных агрохимических показателей Cv является сильным, что свидетельствует о большом разбросе значений в вариационном ряду.

При рассмотрении тесноты связи между содержанием разных показателей в изучаемой почве следует обратиться к корреляционному анализу. В качестве оценки силы связи был выбран коэффициент корреляции (r) Пирсона. В таблице 2 представлены результаты корреляционного анализа, жирным шрифтом выделены те коэффициенты, где обнаружена сильная связь, т.е. $|r| > 0,70$, средняя (0,70-0,30) и слабая (<0,30) связи никак не отмечены. Знак «-» свидетельствует об обратной связи между двумя показателями. Блок, закрашенный серым цветом, является тем признаком (X), относительно которого рассчитаны коэффициенты вариации. Так как корреляционная матрица симметрична, то данные, находящиеся слева от этого блока, дублируют те, что находятся справа по диагонали от них.

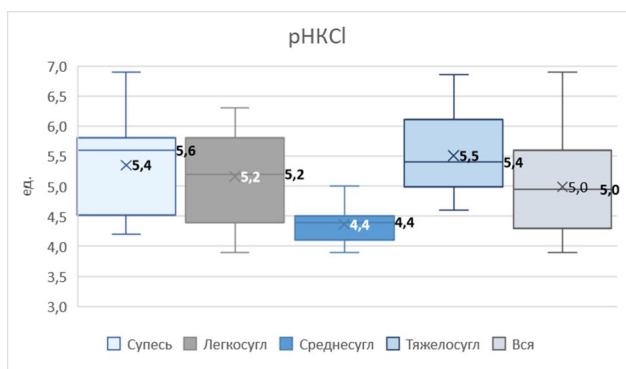
Для начала следует отметить, что корреляционный анализ не даёт объяснения причинно-следственных связей, а лишь измеряет силу и форму взаимосвязи. На основании полученных значений можно сделать вывод, что представленные агрохимические показатели зачастую не имеют высокой тесноты взаимосвязи. Наиболее сильно коррелируют друг с другом обменная и гидролитическая кислотность, обменные кальций и магний, а также органическое вещество с кальцием. Количество г, имеющих сильную тесноту связи, составляет 13% от всего числа представленных коэффициентов, 49% значений определяются средней силой связи и оставшиеся 38% характеризуются слабой теснотой связи.

Необходимо подчеркнуть, что у представленных показателей чаще всего наблюдается положительная корреляционная связь – около 72% всех значений. Такая связь характерна для pH_{KCl} с фосфором, калием и кальцием; кальцием с магнием; органическим веществом с калием, кальцием. Обратная связь на всех почвенных разностях отмечается у гидролитической кислотности с обменной кислотностью, фосфором. Остальным вариантам и комбинациям показателей нельзя дать однозначную характе-

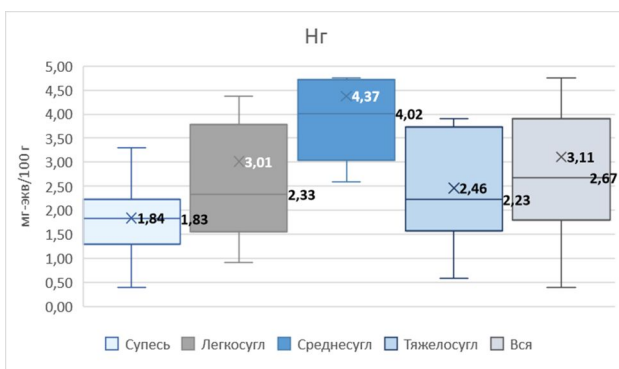
¹ В данной классификации почв России используется термин «гумус». По литературным данным, гумус составляет 80-90% от органического вещества почвы, что в контексте данной статьи позволяет приравнивать органическое вещество и гумус к одному понятию.

ристику по направлению связи, можно судить лишь о тенденции. Так, например, магний и органическое вещество чаще всего имеют положительную корреляционную связь

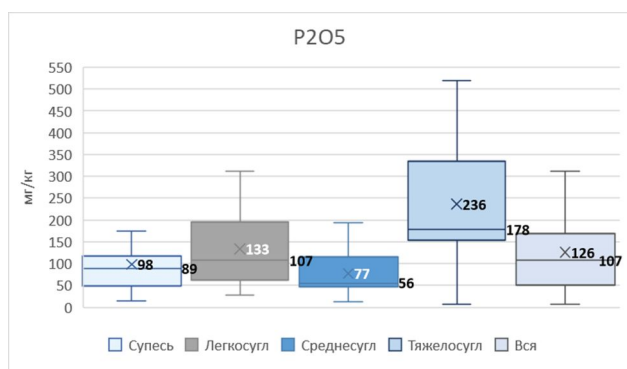
со всеми показателями, но на легко- и тяжелосуглинистой почве есть несколько отрицательных коэффициентов.



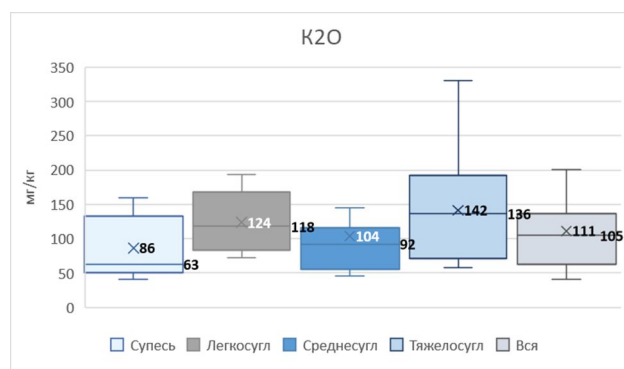
1



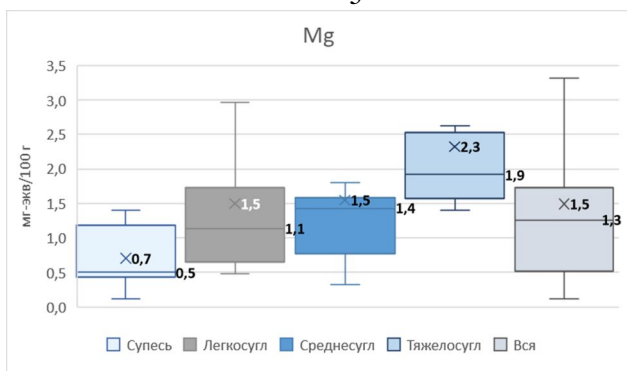
2



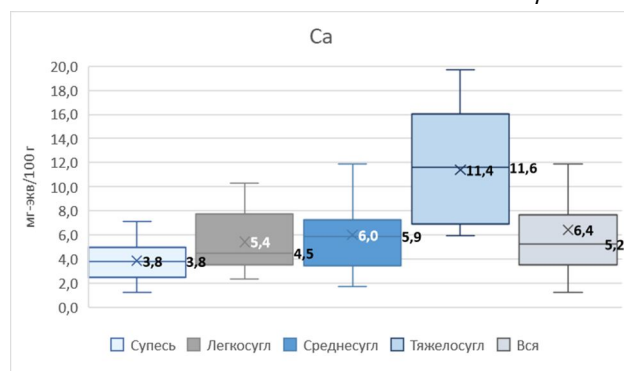
3



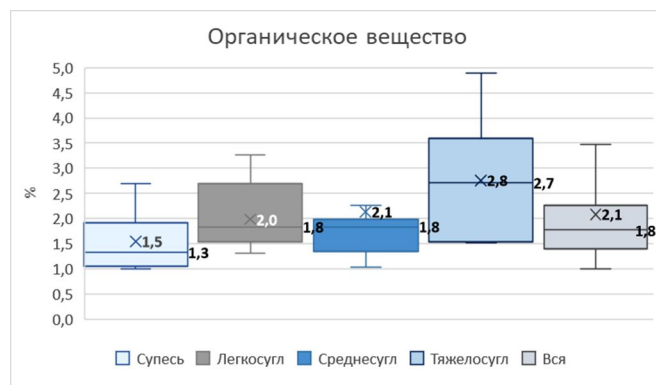
4



5



6



7

Рис 1. Распределение вариантов в вариационном ряду в зависимости от гранулометрического состава дерново-подзолистой почвы (1-7)

2. Парный линейный коэффициент вариации в зависимости от гранулометрического состава дерново-подзолистой почвы

Почва по гранулометрическому составу	pH _{KCl}	Нг , ммоль/100 г	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Орг. в-во,
			млн ⁻¹		ммоль/100 г		%
Супесь		<u>-0.84</u>	0,38	0,69	0,45	0,10	0,37
Легкосуглинистая		<u>-0.87</u>	0,45	0,30	0,58	0,38	-0,38
Среднесуглинистая		-0,35	0,36	0,19	0,47	0,54	0,39
Тяжелосуглинистая		<u>-0.91</u>	0,25	0,39	0,26	-0,39	0,54
Весь массив		<u>-0.74</u>	0,45	0,32	0,32	0,09	0,16
Супесь	<u>-0.84</u>		-0,22	-0,37	-0,08	0,23	-0,05
Легкосуглинистая	<u>-0.87</u>		-0,46	-0,09	-0,38	-0,25	0,56
Среднесуглинистая	-0,35		-0,15	0,68	0,44	0,42	0,65
Тяжелосуглинистая	<u>-0.91</u>		-0,38	-0,34	-0,14	0,13	-0,24
Весь массив	<u>-0.74</u>		-0,33	0,16	0,04	0,17	0,38
Супесь	0,38	-0,22		<u>0.70</u>	0,29	0,33	0,49
Легкосуглинистая	0,45	-0,46		0,17	0,49	0,12	-0,07
Среднесуглинистая	0,36	-0,15		0,08	0,14	0,20	0,09
Тяжелосуглинистая	0,25	-0,38		-0,02	-0,60	-0,44	-0,36
Весь массив	0,45	-0,33		0,23	0,19	0,10	0,08
Супесь	0,69	-0,37	<u>0.70</u>		0,40	0,42	0,45
Легкосуглинистая	0,30	-0,09	0,17		0,13	-0,12	0,38
Среднесуглинистая	0,19	0,68	0,08		0,66	<u>0.72</u>	<u>0.92</u>
Тяжелосуглинистая	0,39	-0,34	-0,02		-0,11	-0,15	0,55
Весь массив	0,32	0,16	0,23		0,38	0,37	<u>0.74</u>
Супесь	0,45	-0,08	0,29	0,40		<u>0.70</u>	<u>0.75</u>
Легкосуглинистая	0,57	-0,38	0,49	0,13		0,69	0,23
Среднесуглинистая	0,47	0,44	0,14	0,66		<u>0.93</u>	<u>0.74</u>
Тяжелосуглинистая	0,26	-0,14	-0,60	-0,11		0,41	0,49
Весь массив	0,32	0,04	0,19	0,38		<u>0.73</u>	0,61
Супесь	0,10	0,23	0,33	0,42	<u>0.70</u>		0,62
Легкосуглинистая	0,38	-0,25	0,12	-0,12	0,69		0,30
Среднесуглинистая	0,54	0,42	0,20	<u>0.72</u>	<u>0.93</u>		<u>0.82</u>
Тяжелосуглинистая	-0,39	0,13	-0,44	-0,15	0,41		-0,33
Весь массив	0,09	0,17	0,10	0,37	<u>0.73</u>		0,53
Супесь	0,36	-0,05	0,49	0,45	<u>0.75</u>	0,62	
Легкосуглинистая	-0,38	0,56	-0,07	0,38	0,23	0,30	
Среднесуглинистая	0,39	0,65	0,09	<u>0.92</u>	<u>0.74</u>	<u>0.82</u>	
Тяжелосуглинистая	0,54	-0,24	-0,36	0,55	0,49	-0,33	
Весь массив	0,16	0,38	0,08	0,74	0,61	0,53	

Для более детального рассмотрения распределения значений относительно друг друга на рисунке 2 представлено графическое расположение вариант гидролитической кислотности, подвижного фосфора и обменного магния относительно значений pH солевой вытяжки почвы.

Как было отмечено, pH_{KCl} и Нг имеют сильную отрицательную корреляционную связь ($r = -0,74$), что видно на первой из трёх точечных диаграмм. Значения гидролитической кислотности расположены близко к прямой, характеризующей ряд вариант pH солевой вытяжки.

Связь обменной кислотности с подвижным фосфором уже не такая сильная ($r = 0,45$), что отображается и графически – разброс значений относительно прямой на второй диаграмме намного больше по сравнению с первым графиком. Корреляция величины pH_{KCl} с содержанием Mg отсутствует вовсе, так как $r = 0,09$, нет никакой связи между этими двумя показателями, – значительная часть точек на диаграмме находится далеко от прямой.

Заключение. При анализе содержания основных агрохимических показателей в стандартных образцах дерново-подзолистой почвы разного гранулометрического состава был определен ряд закономерностей в соотношении отдельных статистических характеристик. Показано, что независимо от разных пространственных (география отбора СО) и временных (год и время отбора СО) факторов обнаружены хорошо выраженные корреляционные связи между обменной и гидролитической кислотностью ($r = 0,74-0,91$), обменными кальцием и магнием ($r = 0,70-0,94$). Анализ цифрового материала показал, что в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава коэффициент вариации величины pH_{KCl} был низким (7-15%). Остальные показатели характеризуются высокими коэффициентами вариации: вариабельность содержания подвижных форм P₂O₅ (63-88%), K₂O (35-72%), обменных Mg (58-84%) и Ca (42-65%), органического вещества (32-93%) колебалась в зависимости от гранулометрического состава.

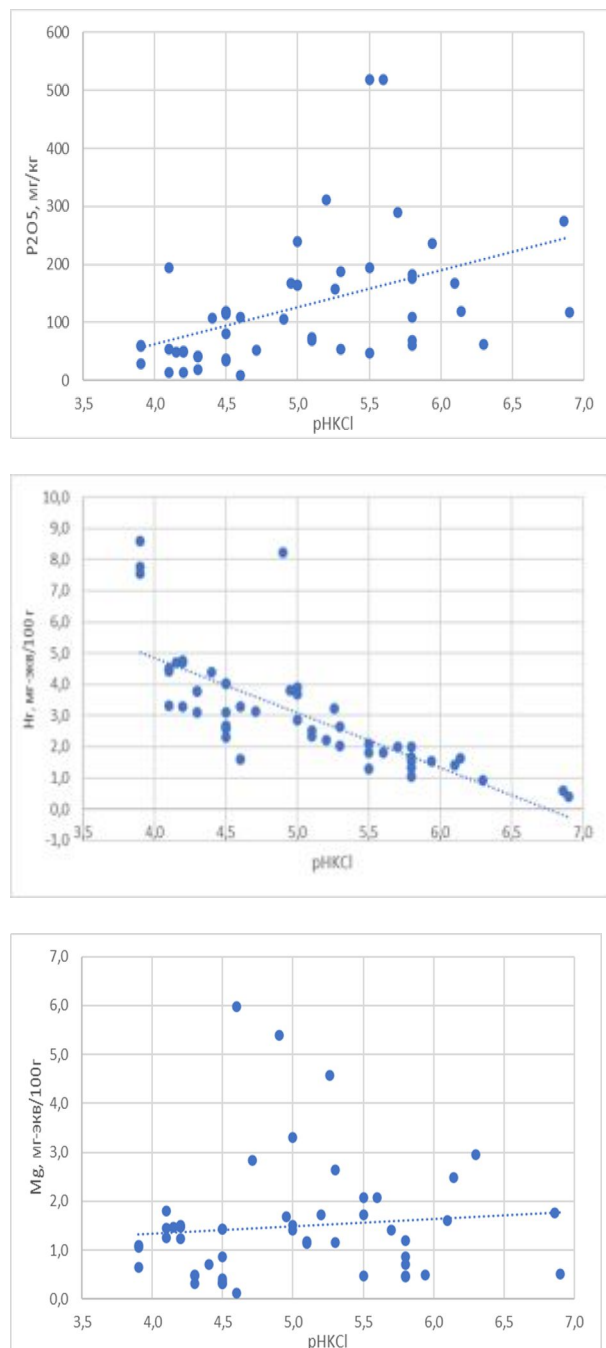


Рис. 2. Распределение вариант относительно друг друга

Литература

1. Духанин Ю.А., Савич В.И., Батанов Б.Н., Савич К.В. Информационная оценка плодородия почв. – М.: Росинформагротех, 2006. – 476 с.
2. Мухина Н.В. Выявление корреляционной зависимости между основными показательными величинами при почвенно-экологическом мониторинге земель сельскохозяйственного назначения // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2008. – №6. – С. 18-24.
3. Генин В.А., Клебанович Н.В. Оценка пространственного варьирования агрохимических показателей на отдельном поле // Агрохимический вестник. – 2018. – №6. – С.2-7.
4. Ториин С.П., Лукашенко С.Н., Ступакова Г.А., Смолина Г.А., Эдомская М.А. Вариабельность содержания природных радионуклидов в стандартных образцах почв // Плодородие. – 2022. – №1. – С.61-65.
5. ГОСТ 8.315-2019 ГСИ. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения. Изд. офиц. – М.: Стандартинформ, 2020. – 33 с.
6. Р 50.2.031-2003. ГСИ. Стандартные образцы состава веществ и материалов. Методика оценивания характеристики стабильности. Изд. офиц. – М.: Госстандарт России, 2003. – 10 с.
7. ГОСТ 8.532-2002 ГСИ. Стандартные образцы состава веществ и материалов. Межлабораторная метрологическая аттестация. Содержание и порядок проведения работ. Изд. офиц. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 10 с.
8. ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Изд. офиц. – М.: Стандартинформ, 2013. – 7 с.
9. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. Изд. офиц. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
10. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. Изд. офиц. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 6 с.
11. ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. Изд. офиц. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
12. ГОСТ 26487-85 Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО. Изд. офиц. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 13 с.
13. Шишов Л. Л., Тонконозов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И./ Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 341 с.

IDENTIFICATION OF THE CORRELATION BETWEEN FERTILITY INDICATORS IN REFERENCE MATERIALS OF SOD-PODZOLIC SOIL OF DIFFERENT GRANULOMETRIC COMPOSITION

G.A. Stupakova¹ PhD, A.A. Lapushkina^{1,2} PhD, E. E. Ignatieva¹, E.Y. Vetrova¹

¹FGBNU "D.N.Pryanishnikov All-Russian Research Institute

(FGBNU "Research Institute of Agrochemistry") 127550, Moscow, Pryanishnikova str., 31A

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (RSAU-MTAA). 127550 Moscow, 49 Timiryazevskaya str.

The degree and nature of variation of the main indicators of fertility (agrochemical indicators) in reference materials (RM) of sod-podzolic soils of different granulometric composition (sandy loam, light, medium and heavy loam) selected in 1978-2020 in different soil and climatic zones are shown. All RM are prepared according to the same methodology, have proven uniformity, stability, certified values of the studied characteristics. A close relationship has been established between the pH_{KCl} and hydrolytic acidity, exchange magnesium and calcium, organic matter and calcium. A low degree of variation (7-15%) of the exchange acidity in sod-podzolic soils of different granulometric composition was revealed. A high degree of variability was observed in P₂O₅ (88%), Mg (82%), organic matter (66%), Ca (65%), K₂O (59%) and hydrolytic acidity (66%).

Keywords: reference materials, soil fertility indicators, correlation coefficient, variability, granulometric composition.