

УДК: 10.18522/2308-9709-2021-37-5
<https://new.jbks.ru/archive/issue-37/article-5>

Варьирование показателей плодородия почвы при возделывании озимой пшеницы по технологии no-till

[Бирюкова О. А.¹](#), [Уралев Л. И.²](#), [Ильченко А. Е.³](#), [Ильченко Я. И.⁴](#)

1. Доктор сельскохозяйственных наук
2. Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского ЮФУ
3. Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского ЮФУ
4. Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского ЮФУ

В работе представлена оценка пространственной изменчивости питательных веществ и запасов продуктивной влаги в агрочерноземе миграционно-сегрегационном при возделывании озимой пшеницы по технологии no-till. Между обследованными полями (n=131) установлено значительное варьирование содержания нитратного азота и подвижного фосфора в почве ($V > 40,0\%$). Пространственная изменчивость запасов продуктивной влаги меньше ($V = 5,0-17,0\%$), чем содержания подвижных форм основных элементов питания. Возможно, это связано с положительным влиянием технологии no-till на водный режим почвы. Пространственная вариабельность условий произрастания сильно влияет на урожайность озимой пшеницы. Выявлена зависимость урожайности культуры от запасов продуктивной влаги перед ее посевом ($r = 0,80$) и в фазу выхода в трубку ($r = 0,34$), а также от содержания нитратного азота ($r = 0,34$) и подвижного фосфора в почве перед посевом ($r = 0,30$). Полученные результаты свидетельствуют о необходимости корректировки доз азотных и фосфорных удобрений на полях сельскохозяйственного предприятия. При этом эффективность различных агротехнических приемов определяется влагообеспеченностью перед посевом и в фазу выхода в трубку.

Введение

Плодородие почвы является совокупным результатом почвенных условий, обуславливающих урожайность растений, качество продукции и поддержание экологической устойчивости агроландшафтов. Среди множества факторов, влияющих на продуктивность сельскохозяйственных культур и стабильное функционирование агроценозов, почвенные свойства играют одну из ключевых ролей. В отличие от погодных условий и топографии, показатели почвенного плодородия можно регулировать различными агротехническими приемами.

Сельскохозяйственное использование земель может как снижать пространственную неоднородность почвенных свойств, так и усиливать. Единой точки зрения в этом вопросе не существует. Ряд авторов отмечают, что внесение удобрений, гипса, извести и других веществ повышают пространственную вариабельность плодородия почв. Другие исследователи, наоборот, отмечают гомогенизацию почвенных свойств при сельскохозяйственной обработке [5,14].

Почвенные свойства обладают значительной пространственной неоднородностью даже на небольших площадях, что с точки зрения сельскохозяйственного производства является отрицательным фактором, так как создаются разные условия для роста выращиваемых культур и требуется дифференцированный подход к технологиям их возделывания [3,16].

В связи с широким внедрением ресурсосберегающих технологий, и в частности, с применением нулевой технологии, изучение пространственной изменчивости показателей плодородия почвы и ее влияния на урожайность сельскохозяйственных культур приобретает значительную актуальность, так как выравнивающее действие вспашки исчезает.

Целью исследований было изучение варьирования агрохимических показателей плодородия почвы и урожайности озимой пшеницы в системе no-till.

Объект и методы исследования

Исследуемая почва – чернозем обыкновенный карбонатный среднесиловый тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке.

По классификации почв России (2004) это агрочерноземы миграционно-сегрегационные. Эти почвы занимают около 23,0 % общей площади Ростовской области. Распространены они преимущественно в южной и юго-западной частях области, в основном, в южной зоне (Егорлыкский, Зерноградский, Кагальницкий, Песчанокопский, Сальский, Целинский районы) [2]. Исследования проведены в Песчанокопском районе, расположенном в юго-западной части Ростовской области (рис. 1).

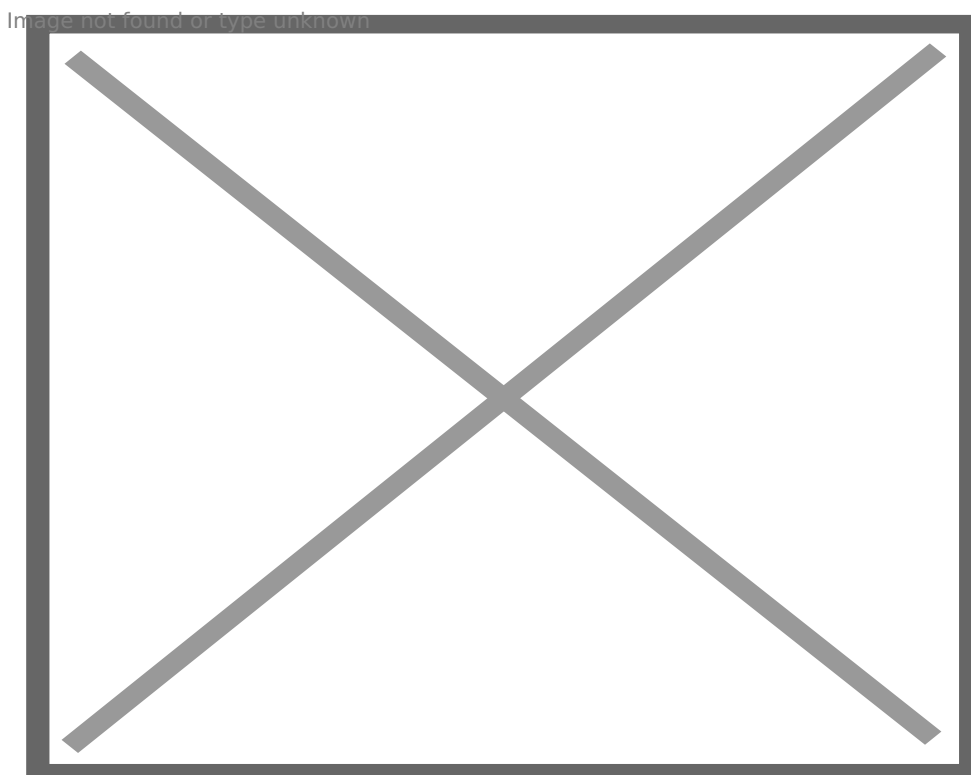


Рисунок 1 – Район проведения исследований (<http://www.zaocmkirova.com/>)

Почвенно-климатические условия района в целом благоприятны для производства озимой пшеницы. Чернозем обыкновенный карбонатный – это почва высокого естественного плодородия, находящаяся в зоне невысокого и недостаточного увлажнения. Однако, в процессе интенсивной эксплуатации почвенного покрова развиваются процессы его деградации [2]. Водной эрозии в рассматриваемой зоне подвержено 25,0 % от общей территории, дефлированных почв – 23,0 % [1]. Внедрение ресурсосберегающих технологий на основе минимальной обработки почвы и прямого посева позволяет стабилизировать гумусное состояние почв и улучшить питательный режим агроценозов [6,17].

В ЗАО имени Кирова минимальная обработка почв используется с 2000 г, нулевая – с 2008 г.

Изучаемые показатели – урожайность озимой пшеницы (Y); содержание нитратного азота ($N-NO_3$), обменного калия (K_2O), подвижного фосфора (P_2O_5) перед посевом культуры; запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы до посева (Vn_1), в фазу кущения (Vn_2) и в фазу выхода в трубку (Vn_3) – были получены в производственных посевах озимой пшеницы с 2018 по 2020 гг. ($n = 131,0$). Образцы почвы отбирали согласно методическим указаниям по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения [7].

Учет урожайности проводили комбайном ACROS 585 по достижению полной спелости зерна озимой пшеницы. Определение подвижного фосфора и обменного калия проводили по методу Мачигина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205-9), содержание нитратного азота – ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86). Определение продуктивной влаги проводили по ГОСТ 28268-89. Для математической обработки полученных результатов использовали программы Microsoft Excel и STATISTICA 13.3

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно полученным данным, содержание нитратного азота перед посевом озимой пшеницы изменяется от 1,2 мг/кг до 36,0 мг/кг (табл. 1).

Таблица 1 – Статистические показатели урожайности озимой пшеницы и основных элементов питания в производственных посевах

n = 131,0	Y, ц/га	N-NO ₃ (до посева) мг/кг	P ₂ O ₅ (до посева) мг/кг	K ₂ O (до посева) мг/кг	Vn ₁ (до посева) мм	Vn ₂ (кущение) мм	Vn ₃ (выход в трубку) мм
Среднее	81,5	7,9	23,9	451,8	156,3	194,3	89,0
Медиана	83,7	7	23,1	432,5	165,0	195,0	88,0
Минимум	36,6	1,2	7,5	231,0	105,2	175,0	52,5
Максимум	116,0	36,0	57,0	965,0	189,4	231,9	148,5
Нижний квартиль	69,9	4,8	16,7	359,0	159,3	189,4	76,6
Верхний квартиль	94,8	10,7	30,0	520,0	169,7	198,1	98,3
Дисперсия	343,2	24,8	102,5	14595,8	504,2	80,8	218,5
Стандартное отклонение	18,5	5,0	10,1	120,8	22,5	9,0	14,8
Коэффициент вариации (V)	23,0	63,0	42,4	27,0	14,4	5,0	17,0
Ошибка среднего	1,6	0,4	0,9	10,6	2,0	0,8	1,3

Разница в содержании нитратного азота между отдельными полями хозяйства составляет 25 раз и более. Среди изученных элементов питания содержание нитратного азота характеризуется наибольшим варьированием (63,0 %), что вполне предсказуемо, так как его накопление определяется биологической активностью почвы, интенсивность которой во многом зависит от агрометеорологических условий [2].

Содержание подвижного фосфора колеблется от очень низкого (7,5 мг/кг) до высокого (57,0 мг/кг). Коэффициент вариации данного показателя (42,0 %) свидетельствует о его значительной пространственной изменчивости.

Подавляющее число полей ($n=76,0$) характеризуется средней степенью обеспеченности подвижным фосфором (15,0–30,0 мг/кг), 28 полей – повышенной (31,0–40,0 мг/кг), 4 поля – высокой (41,0–60,0 мг/кг). К низкой категории обеспеченности (10,0–15,0 мг/кг) отнесены 13 полей, а очень низкой – 9 полей [7]. Вероятно, это связано с историей полей, а именно с различными дозами фосфорсодержащих удобрений, внесенных, как под озимую пшеницу, так и под ее предшественников.

Содержание обменного калия также существенно изменяется по полям исследуемого хозяйства. Оно варьирует от среднего (231,0 мг/кг) до очень высокого (965,0 мг/кг) [7]. Большинство полей (62,0 %) характеризуются оптимальным содержанием, согласно «Нормативам плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области» [10].

Вариабельность содержания обменного калия менее выражена, чем подвижного фосфора ($V=27,0\%$). Известно, что основная масса фосфора, накопленного в результате внесения удобрений, остается в верхнем слое почвы и редко мигрирует по профилю, а калий более подвижен, что приводит к более быстрому выравниванию концентраций. Полученные результаты согласуются с исследованиями [12,13].

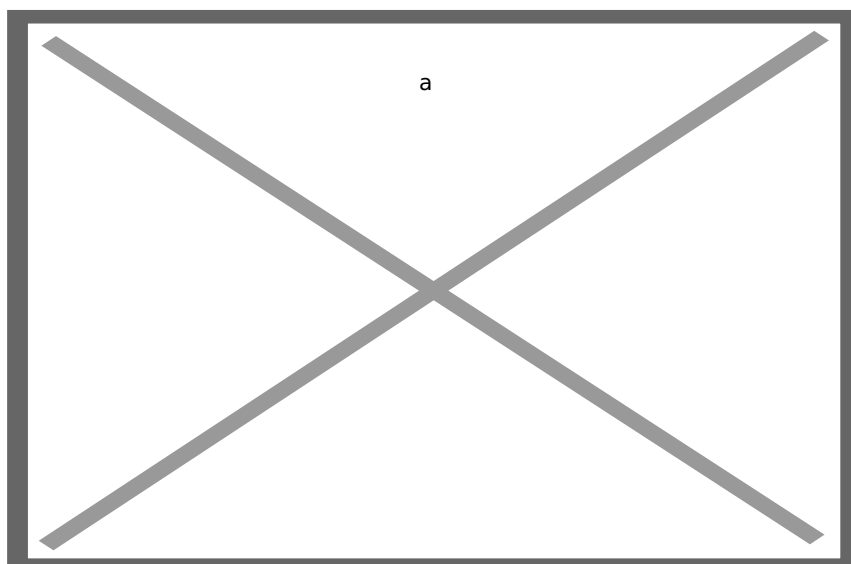
По степени относительной изменчивости основные элементы питания можно расположить в следующий убывающий ряд: $N-NO_3 > P_2O_5 > K_2O$.

Подобное ранжирование агрохимических показателей по коэффициенту вариации было рассмотрено в работах [9,11,12].

Накопление и распределение продуктивной влаги в течение вегетации сельскохозяйственных культур имеет решающее значение для их урожайности в зоне исследования. Перед посевом озимой пшеницы подавляющее число полей характеризуются отличными запасами продуктивной влаги ($>150,0$ мм), 21 поле – удовлетворительными. В фазу кущения практически на всех обследованных полях выявлено высокое содержание продуктивной влаги. Однако, в фазу выхода в трубку, из-за отсутствия осадков, большинство полей характеризовалось недостаточными запасами продуктивной влаги. Варьирование продуктивной влаги в почве зависит от срока отбора образцов. До посева озимой пшеницы и в фазу выхода в трубку пространственная изменчивость этого показателя характеризуется средним коэффициентом вариации – 14,0 % и 17,0 % соответственно, в фазу кущения – низким ($V=5,0\%$) [4].

Пространственное варьирование условий произрастания озимой пшеницы сильно влияет на ее урожайность. Среднее значение урожайности озимой пшеницы за два года исследований составляет 82,0 ц/га при минимальных и максимальных значениях – 36,0 и 115,0 ц/га соответственно. Вариабельность урожайности на исследуемых полях составила 23,0 %. Большинство посевов (63 поля), имеют высокую урожайность – от 70,0 до 100,0 ц/га. На 7 обследованных полях хозяйства урожайность озимой пшеницы достигла потенциально возможную величину для исследуемых сортов – 110,0–115,0 ц/га (рис. 1 а).

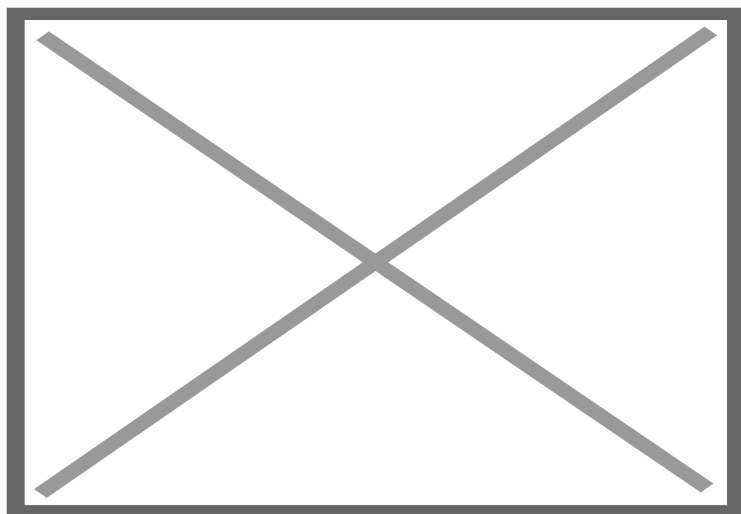
Согласование с нормальным распределением обусловлено попаданием 95,0 % значений в интервал двух стандартных отклонений от среднего и 68,0 % – одного стандартного отклонения [8](рис. 1 б).



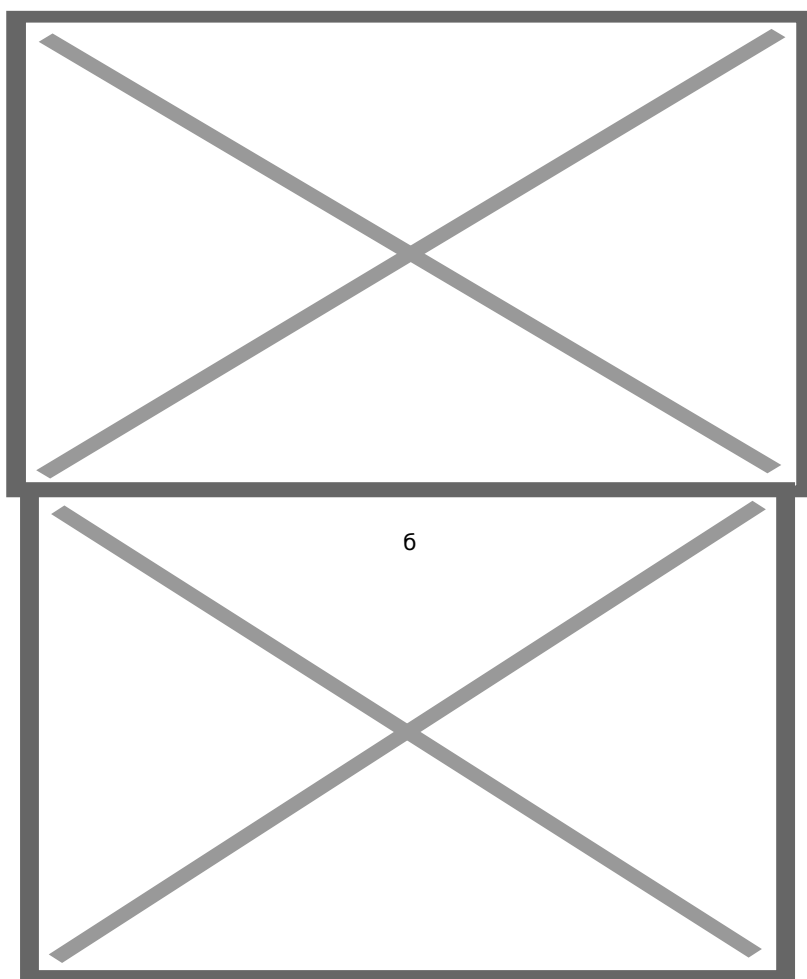
б

Рисунок 2 – а. Гистограмма распределения величин урожайности относительно числа наблюдений; б. Диаграмма размаха урожайности озимой пшеницы

Согласно нормальным вероятностным графикам для урожайности озимой пшеницы и каждого агрохимического показателя, значительного отклонения от распределения Гаусса не наблюдалось (рис. 3 а,б,в,г,е). Величины рассматриваемых показателей находятся близко к прямой и относительно неё сильно не рассеиваются.

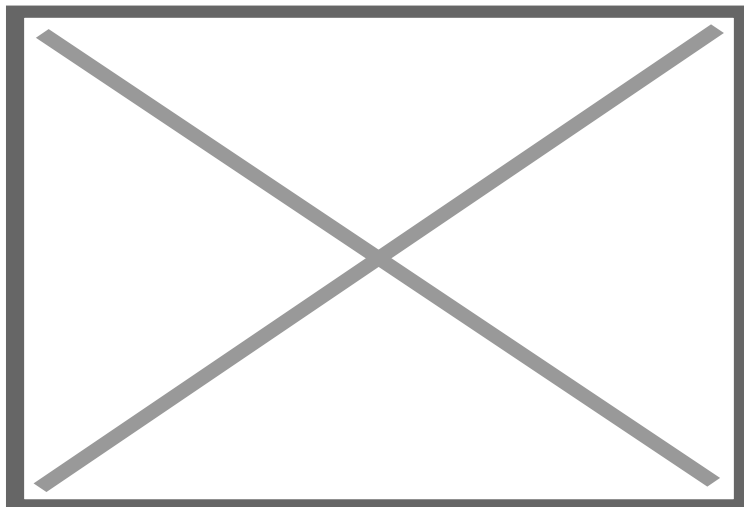


а

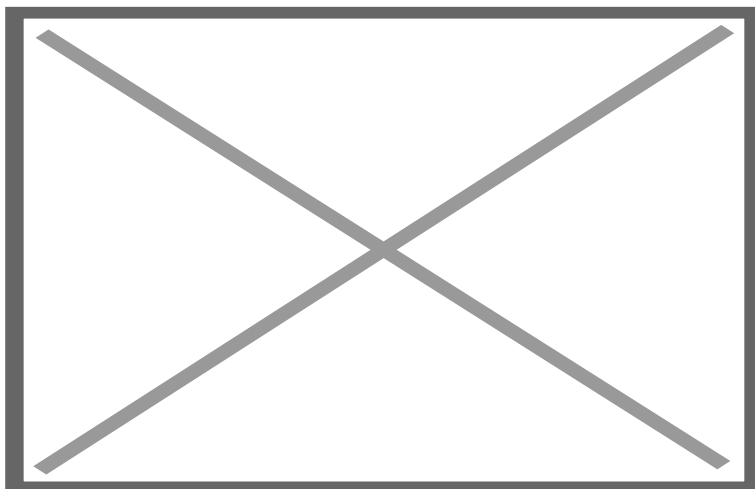


б

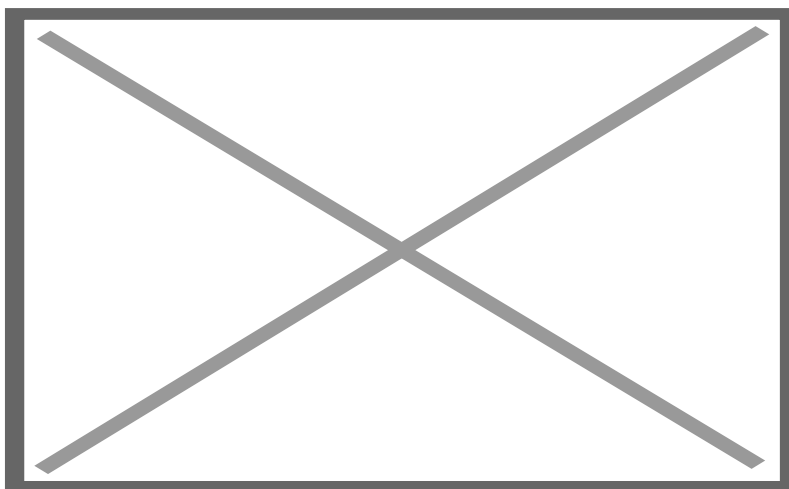
в



г



д



е

Рисунок 3 – Нормальные вероятностные графики агрохимических показателей (а – Y ; б – K_2O ; в – P_2O_5 ; г – $N-NO_3$; д – Vn_1 ; е – Vn_3)

По запасам продуктивной влаги в почве (рис. 3 д), наблюдается отклонение точек от прямой линии. Это можно идентифицировать как заметные нарушения в нормальности распределения [11]. Несмотря на визуальные отличия от нормального распределения, демонстрируемые при помощи нормальных вероятностных графиков [12], другие способы проверки, в частности критерий частот Шапиро-Уилка, не отвергает гипотезу о нормальности (табл.2).

Таблица 2 – Доказательство нормальности распределения генеральной совокупности по Шапиро-Уилка

	W	p
Y , ц/га	0,97	0,0036
P_2O_5 (до посева), мг/кг	0,96	0,0004
K_2O (до посева), мг/кг	0,92	0,0000
$N-NO_3$ (до посева), мг/кг	0,89	0,0000
Vn_1 (до посева), мм	0,75	0,0000
Vn_2 (кущение), мм	0,95	0,0001
Vn_3 (выход в трубку), мм	0,17	0,0000

Поэтому вполне допустимо принять, что статистические распределения урожайности озимой пшеницы и агрохимических показателей подчиняются закону нормального распределения, что является важным условием для использования корреляционного анализа [12,13].

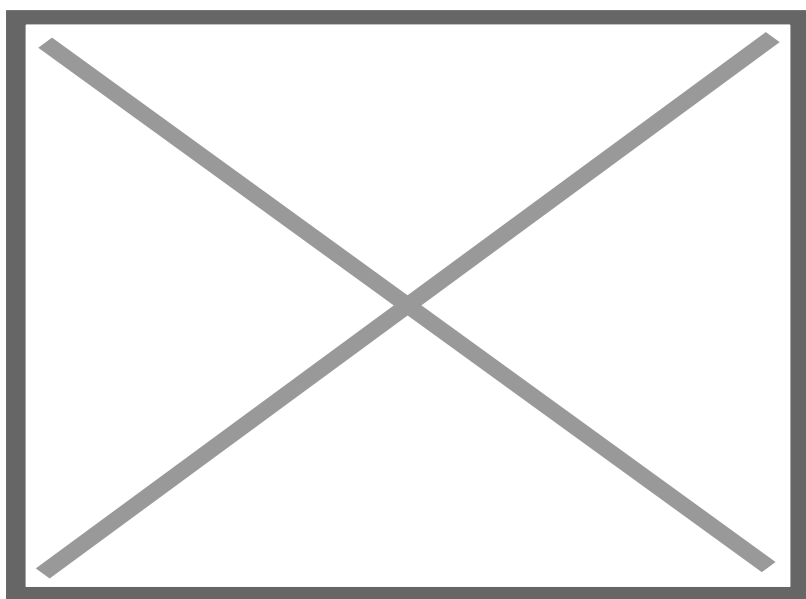
Высокая математически доказуемая теснота связи [9] выявлена между урожайностью и продуктивной влагой до посева культуры (табл. 3). В условиях южной зоны Ростовской области влага является одним из основных факторов, лимитирующих урожайность сельскохозяйственных культур. Полученные результаты свидетельствуют о том, что эффективность различных агротехнических приемов определяется увлажненностью перед посевом и в фазу выхода в трубку.

Таблица 3 – Теснота связи урожайности озимой пшеницы с агрохимическими показателями почвы

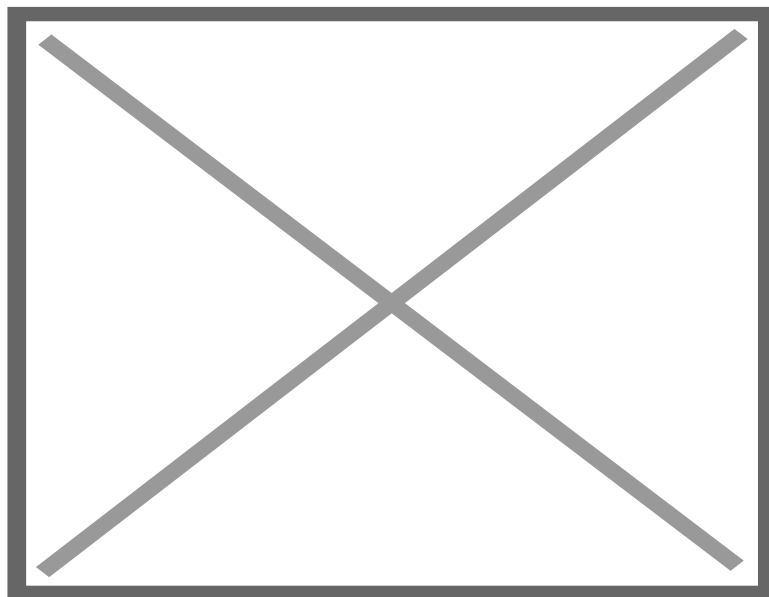
Показатели	P_2O_5 (до посева), мг/кг	K_2O (до посева), мг/кг	$N-NO_3$ (до посева), мг/кг	Vn_1 (до посева), мм	Vn_2 (кущение), мм	Vn_3 (выход в трубку), мм
У, ц/га	0,30	0,17	0,34	0,80	0,07	0,34
p значимое	0,001	0,052	0,000	0,000	0,406	0,000

Средняя зависимость урожайности озимой пшеницы отмечена с содержанием нитратного азота ($r = 0,34$) и подвижного фосфора в почве ($r=0,30$).

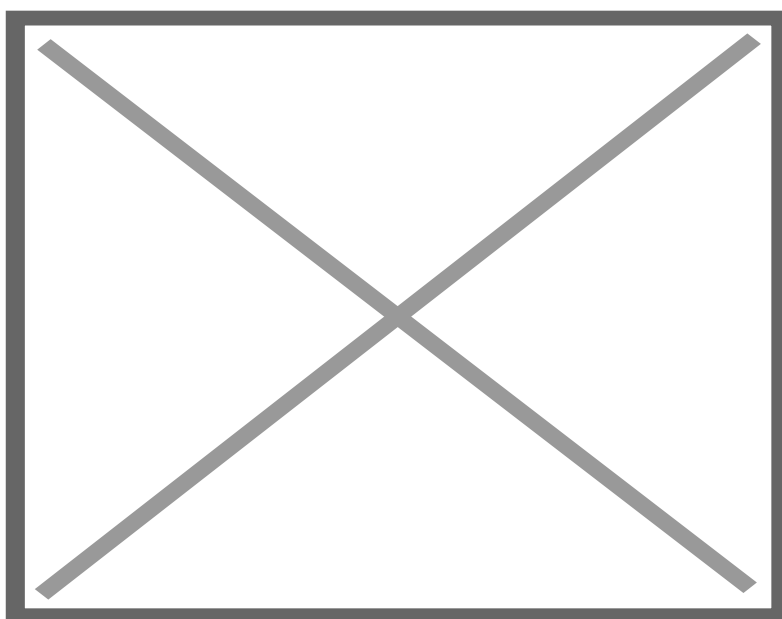
На основании показателей с наименьшим уровнем значимости (p), были построены диаграммы рассеивания (рис. 4. а, б, в, г).



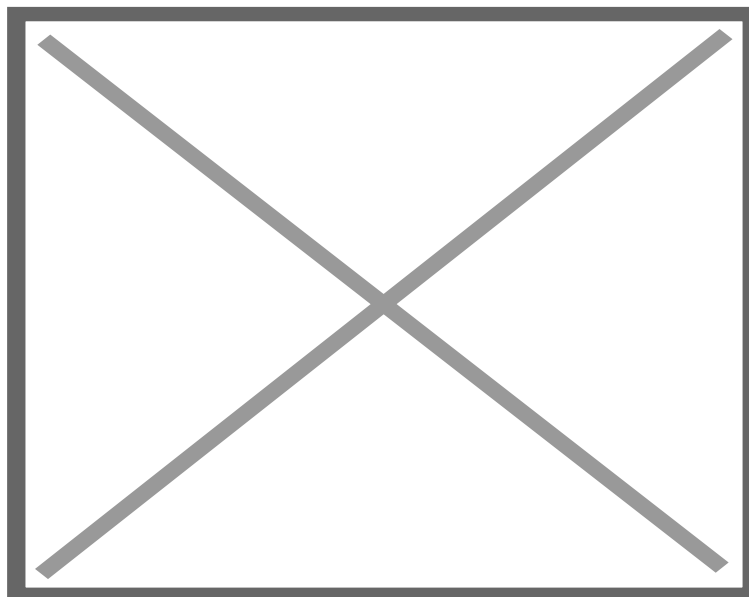
а



б



в



г

Рисунок 4 - Диаграммы рассеивания по агрохимическим показателям со значимыми корреляциями (а - P_2O_5 ; б - $N-NO_3$; в - Vn_1 ; г - Vn_3)

Среди представленных агрохимических показателей наблюдаются только положительные прямолинейные корреляции (рис. 4 а,б,в,г).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на обследованных полях хозяйства необходима корректировка доз азотных и фосфорных удобрений.

Выводы

1. Результаты исследования выявили значительную пространственную изменчивость содержания нитратного азота и подвижного фосфора в почве перед посевом озимой пшеницы в пределах сельскохозяйственного предприятия. Коэффициент вариации превышает 40,0%. Это свидетельствует о существенном различии в обеспеченности производственных посевов озимой пшеницы этими элементами питания.
2. Пространственная изменчивость запасов продуктивной влаги в почве меньше, чем вариабельность содержания подвижных форм основных элементов питания между обследованными полями. Коэффициент вариации невысокий и находится в пределах от 5,0 до 17,0% в зависимости от срока отбора образцов почвы. Возможно, это связано с положительным влиянием технологии no-till на водный режим почвы.
3. Пространственная неоднородность содержания питательных веществ и запасов продуктивной влаги в почве перед посевом озимой пшеницы оказала существенное влияние на ее урожайность. Выявлена тесная положительная корреляция урожайности культуры с запасами продуктивной влаги ($r= 0,80$), средняя положительная теснота связи - с содержанием нитратного азота ($r= 0,34$) и подвижного фосфора ($r= 0,30$).
4. Для выравнивания агрохимических показателей плодородия почв сельскохозяйственного предприятия и получения стабильных урожаев полевых культур необходима оптимизация системы удобрения.

The research was financially supported by the "Priority 2030" program of the Ministry of Science and Education of the Russian Federation, project no. SP02/S4_0708 Priority_01/SP02/S4_0706 Priority_01.

Список литературы

1. Агафонов Е. В., Полуэктов Е. В. Почвы и удобрения Ростовской области: учеб. пособ. Персиановка, 1995. 87 с.
2. Вальков В. Ф., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Почвы Ростовской области: генезис, география и экология. Ростов н/Д.: ЮФУ, 2012. 316 с.
3. Гончаров В. М. Агрофизическая характеристика почв в комплексном почвенном покрове: автореф. дис. доктора биол. наук. М., 2010. 44 с.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
5. Литвинович А. В. Пространственная неоднородность агрохимических пахотных дерново-подзолистых почв. // Агрохимия. № 5. 2007. С. 89-94.
6. Медведева А. М., Бирюкова О. А., Ильченко Я. И., Кучеренко А. В. Содержание и запас гумуса в черноземе обыкновенном при использовании различных систем основной обработки // Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 29-34
7. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
8. Мешалкина Ю. Л., Самсонова В. П. Математическая статистика в почвоведении: Практикум. М.: МАКС Пресс, 2008. 84с.
9. Мудрых Н. М. Пространственное варьирование свойств в агродерново-подзолистой почве // Антропогенная трансформация природной среды. № 4. 2017. С. 82-84.
10. Назаренко О.Г., Пашковская Т. Г., Продан В. И., Чеботникова Е. А. Нормативы основных показателей плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Ростовской области. Рассвет: ГЦАС «Ростовский», 2011. 68 с.
11. Самсонова В. П. Пространственная изменчивость почвенных свойств на примере дерново-подзолистых почв. М.: Изд-во «ЛКИ», 2008. 156 с.
12. Самсонова В. П., Д. Г. Кротов Пространственная изменчивость агрохимических свойств сельскохозяйственных угодий Брянской области // Агрохимия. № 7. 2017. С. 11-18.
13. Самсонова В. П., Мешалкина Ю. Л. Оценка роли рельефа в пространственной изменчивости агрохимически важных почвенных свойств для интенсивно обрабатываемого сельскохозяйственного угодья // Вестник Московского ун-та. № 3. 2014. С. 36-44.
14. Сидорова В. А. Динамика пространственного варьирования почвенных свойств луговых агроценозов Карелии при постантропогенном развитии // Экология почв. 2016. № 3. С. 23-27.
15. Хрусталева Ю. П., Василенко В. Н., Свисюк И. В., Панов В. Д., Ларионов Ю. А. Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области. Ростов н/Д, 2002. 183 с.
16. Шеин Е. В. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств почв. М.: Изд-во МГУ, 2001. 17 с.
17. Medvedeva, A. M., Biryukova O. A., Ilchenko Y. I., Minkina T. M., Kucherenko A. V., Bauer T. V., Mandzhieva S. S., Mazarji M. Nitrogen state of Haplic Chernozem of the European part of Southern Russia in the implementation of resource-saving technologies. // J. Sci. Food Agric. № 101. 2021. p. 2312-2318.

Spisok Literatyri

1. Agafonov E. V., Poluektov E. V. Pochvy i udobreniya Rostovskoj oblasti: ucheb. posob. Persianovka, 1995. 87 s.
2. Val'kov V. F., Kazeev K. SH., Kolesnikov S. I. Pochvy Rostovskoj oblasti: genezis, geografiya i ekologiya. Rostov n/D.: YUFU, 2012. 316 s.
3. Goncharov V. M. Agrofizicheskaya harakteristika pochv v kompleksnom pochvennom pokrove: avtoref. dis. doktora. biol. nauk. M., 2010. 44 s.
4. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta. M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
5. Litvinovich A. V. Prostranstvennaya neodnorodnost' agrohimicheskikh pahotnyh dernovo-podzolistykh pochv. // Agrohimiya. № 5. 2007. С. 89-94.
6. Medvedeva A. M., Biryukova O. A., Il'chenko YA. I., Kucherenko A. V. Soderzhanie i zapas gumusa v chernozeme obyknovenom pri ispol'zovanii razlichnyh sistem osnovnoj obrabotki // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2018. № 1. S. 29-34
7. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya. M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2003. 240 s.
8. Meshalkina YU. L., Samsonova V. P. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii: Praktikum. M.: MAKS Press, 2008. 84s.
9. Mudryh N. M. Prostranstvennoe var'irovanie svojstv v agrodernovo-podzolistoj pochve // Antropogennaya transformaciya prirodnoj sredy. № 4. 2017. С. 82-84.
10. Nazarenko O. G., Pashkovskaya T. G., Prodan V. I., CHEbotnikova E. A. Normativy osnovnyh pokazatelej plodorodiya pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya Rostovskoj oblasti. Rassvet: GCAS «Rostovskij», 2011. 68 s.
11. Samsonova V. P. Prostranstvennaya izmenchivost' pochvennyh svojstv na primere dernovo-podzolistykh pochv. M.: Izdvo «LKI», 2008. 156 s.

12. Samsonova V. P., D. G. Krotov Prostranstvennaya izmenchivost' agrohimiicheskikh svojstv sel'skohozyajstvennyh ugodij Bryanskoj oblasti // Agrohimiya. № 7. 2017. S. 11-18.
13. Samsonova V. P., Meshalkina YU. L. Ocenka roli rel'efa v prostranstvennoj izmenchivosti agrohimiicheski vazhnyh pochvennyh svojstv dlya intensivno obrabatyvaemogo sel'skohozyajstvennogo ugod'ya // Vestnik Moskovskogo un-ta. № 3. 2014. S. 36-44.
14. Sidorova V. A. Dinamika prostranstvennogo var'irovaniya pochvennyh svojstv lugovyh agrocenozov Karelii pri postantropogennom razvitii // Ekologiya pochv. 2016. № 3. S. 23-27.
15. Hrustalev YU. P., Vasilenko V. N., Svisyuk I. V., Panov V. D., Larionov YU. A. Klimat i agroklimaticheskie resursy Rostovskoj oblasti. Rostov n/D, 2002. 183 c.
16. SHein E. V. Polevye i laboratornye metody issledovaniya fizicheskikh svojstv pochv. M.: Izd-vo MGU, 2001. 17 s.
17. Medvedeva, A. M., Biryukova O. A., Ilchenko Y. I., Minkina T. M., Kucherenko A. V., Bauer T. V., Mandzhieva S. S., Mazarji M. Nitrogen state of Haplic Chernozem of the European part of Southern Russia in the implementation of resource-saving technologies. // J. Sci. Food Agric. № 101. 2021. p. 2312-2318.