

предшественника многолетние травы. Высшая численность микробиоты ризосферы озимой пшеницы развивается по предшественнику многолетние травы, согласующихся с высокой интенсивностью прохождения в растениях физиологических процессов.

Ключевые слова: гербицид, регуляторы роста, ризосфера, бактерии, микромицеты, предшественник, пшеница озимая.

Annotation

Z.M. Hrytsaienko, L.H. Voloshyna

Microbiological activity of winter wheat rhizosphere on the different growing backgrounds and applying of biologically active preparations

The results for the research of the effects of various norms of herbicide Lancelot 450 WG (13, 23, 33 g / ha) applied separately and combined with plant growth regulators Biolan and Radostym on the grouping of microbiota rhizosphere of winter wheat grown after different predecessors are given. It was established that the number of bacteria and micromicetes of winter wheat rhizosphere grown after different predecessor depends on the presowing treatment of seeds with PGR Radostym and postemergence apply of herbicide Lancelot 450 WG and PGR Biolan. The greatest number of bacterial and fungal microbiota is observed against the presowing treatment of winter wheat seeds with PGR Radostym and spraying with herbicide Lancelot 450 WG in the norms of 13 g / ha and PGR Biolan (20 ml / ha), which exceeds the control I over 58 and 91% after the maize for silage predecessor and 76 and 98% – after the perennial grasses predecessor. Larger quantities of microbiota of winter wheat rhizosphere are developed after the perennial grasses predecessor that is accorded with a higher intensity of plant physiological processes.

Keywords: herbicide, growth regulators, rhizosphere, bacteria, micromycete, predecessor, winter wheat.

УДК 631.51:631.95

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТВЁРДОСТИ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ПРИРОДНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

А.В. Жуков¹, доктор биологических наук

Г.А. Задорожная¹, кандидат биологических наук

А.А. Демидов², кандидат сельскохозяйственных наук

Е.В. Рысина¹, аспирант

¹ Днепропетровский государственный аграрный университет

² Департамент земледелия Министерства аграрной политики и продовольствия Украины

Досліджена просторова мінливість твердості чорнозему звичайного на полях, що обробляються відповідно до технологій природного та традиційного землеробства. Встановлений та доведений зв'язок між формуванням профілю чорнозему за твердістю та біологічною продуктивністю агроценозів за показниками нормалізованого різницевого вегетаційного індексу. Надані

практичні рекомендації виробництву з локального проведення глибокої оранки досліджених полів для оптимізації фізичних властивостей ґрунту.

Ключові слова: *твердість ґрунту, нормалізований різнищевий вегетаційний індекс, кластерний аналіз, природне землеробство.*

Технологія природного агропроизводства заключається в повному відмові від застосування генномодифікованих організмів, антибіотиків, ядохимікатів і мінеральних добрив. Це призводить до підвищенню природної біологічної активності в ґрунті, відновленню балансу поживних речовин, посиленню відновительних властивостей ґрунту, нормалізації роботи ґрунтових організмів. Виникає приріст гумусу, і, як результат, – збільшення врожайності сільськогосподарських культур. Результатом природного землеробства є екологічно безпечна продукція, вільна від несвоєчасних продуктів харчування хімічних елементів [1].

Ідея природного землеробства на даний момент популярна в багатьох країнах світу, особливо в Європі. Україна має величезний резерв родючих ґрунтів, тому в минулому вона була і в майбутньому повинна бути однією з світових лідерів виробництва високоякісних, екологічно чистих продуктів харчування [2]. Для цього потрібна повна інформація про стан ґрунтів, їх родючість і фізичні властивості.

Як індикатор ґрунтових властивостей непересомне перевага має показувач її твердості [3]. До таких переваг слід віднести високу інформативність і продуктивність, відносну простоту і високу точність вимірювання. Твердість – незамінний показувач для оцінки умов проростання насіння і їх розвитку на перших етапах онтогенезу, в тому числі оцінки здатності кореневих волосків освоювати не тільки між-, але і внутріагрегатне простір [4, 5]. Тобто, з допомогою показувача твердості можна оцінити не тільки міцність ґрунтового агрегату, але і якість його складу. При цьому таку оцінку практично неможливо отримати, використовуючи традиційний показувач щільності складу [3].

Виходячи з вищесказанного, метою нашого дослідження було визначення просторової організації чорнозема звичайного при застосуванні технології природного землеробства за даними твердості ґрунту.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- дослідити твердість чорнозема звичайного на полях, оброблюваних відповідно до технологій традиційного і природного землеробства;
- класифікувати отримані дані про твердість;
- визначити величину біологічної продуктивності досліджуваних полів з допомогою нормалізованого різнищевий вегетаційного індексу (NDVI), отриманого шляхом аналізу космічних знімків;
- побудувати цифрову модель рельєфу, отриману шляхом аналізу космічних знімків;
- встановити залежність між твердістю ґрунту, рельєфом і біологічною продуктивністю досліджуваних полів.

Методика досліджень. Дослідження проведені в 2012 році. Два сусідніх поля розташовані на відстані 5 км на північ від с. Синельниково

(Днепропетровской области). На одном поле (находится восточней) с 2008 г. в практике сельскохозяйственного производства отказались от применения пестицидов и минеральных удобрений. Борьба с сорняками на этом поле ведется с помощью ручной прополки. Такую систему земледелия можно отнести к так называемому природному земледелию. Соседнее поле возделывается по интенсивной технологии с применением пестицидов и минеральных удобрений. На обоих полях в 2012 г. возделывался семенной подсолнечник.

25 сентября и 2 октября были проведены полевые исследования. В 90 точках на поле природного земледелия (25 сентября) и в 92 точках на поле интенсивного земледелия (2 октября) была измерена твердость и электропроводность почвы, а также отобраны почвенные образцы из верхнего 10-см горизонта. Точки расположены в виде 6 трансект по 15 точек в каждой (на поле интенсивного земледелия первые две трансекты представлены 16 точками). Ориентировочно, расстояние между точками в трансекте составляло 75 м. Точные координаты мест отбора фиксировались с помощью GPS-навигатора. Расстояние между трансектами на поле природного земледелия ориентировочно составило 50 – 70 м.

Измерение твердости почв производилось в полевых условиях с помощью ручного пенетрометра Eijkelkamp на глубину до 50 см с интервалом 5 см. Средняя погрешность результатов измерений прибора составляет $\pm 8\%$. Измерения производились конусом с размером поперечного сечения 2 см². В пределах каждой точки измерения твердости почвы производились в однократной повторности.

В работе проведен анализ снимков, сделанных 16 апреля, 2 и 11 мая, 12 и 19 июня, 14 и 30 июля и 6 и 22 августа 2012 г. Таким образом, временной диапазон снимков охватывает основную часть вегетационного периода. Снимки получены с сервера *Earthexplorer* (<http://earthexplorer.usgs.gov>).

Результаты исследований. Твёрдость почвы на двух полях не различается статистически достоверно, поэтому нами приведены обобщенные результаты по всей территории (табл. 1).

1. Твёрдость почвы на различных глубинах (в МПа)

Глубина, см	N	Среднее	Доверительный интервал		Минимум	Максимум	CV, %	Асимметрия	Эксцесс
			-95%	+95%					
0 – 5	182	1,96	1,86	2,07	0,60	4,20	37,59	0,24	-0,44
5 – 10	182	1,99	1,89	2,10	0,60	4,50	35,36	0,77	0,85
10 – 15	182	1,96	1,88	2,05	0,60	4,50	30,69	0,86	1,29
15 – 20	182	2,18	2,09	2,27	0,70	5,00	29,01	0,88	2,03
20 – 25	182	2,36	2,27	2,45	1,00	4,80	25,70	1,05	2,37
25 – 30	182	2,56	2,48	2,65	1,20	5,00	22,80	0,99	1,53
30 – 35	182	2,81	2,70	2,92	1,50	5,00	26,21	1,10	0,92
35 – 40	182	3,17	3,05	3,30	1,70	5,00	27,61	0,73	-0,43
40 – 45	182	3,55	3,41	3,68	1,70	5,00	26,35	0,31	-1,08
45 – 50	182	4,02	3,89	4,14	1,90	5,00	21,32	-0,34	-0,93

Твёрдость почвы до горизонта 15 см достоверно не различается между соседними горизонтами и составляет 1,96 – 1,99 МПа. Очевидно, такая картина

является результатом вспашки сельхозугодий. Начиная с горизонта 15 – 20 см, и далее, наблюдается постепенное увеличение твёрдости почвы от 2,18 МПа на глубине 15 – 20 см до 4,02 МПа на глубине 45 – 50 см.

Коэффициент вариации твёрдости почвы постепенно уменьшается от поверхности до глубины 25 – 30 см, после чего наблюдается локальный максимум вариабельности на глубине 35 – 40 см. Если за критическую отметку принять твёрдость почвы в 3 МПа, т.е. такую твёрдость, которую корни растений не в состоянии преодолеть при своём росте, то можно отметить, что в не менее 95% случаев этот рубеж не преодолевается вплоть до глубины 30 – 35 см. После указанной глубины критическое значение твердости находится в 95% доверительном интервале.

Попытка описать изменчивость твёрдости с помощью геоморфологических предикторов средствами линейной регрессии не дала удовлетворительных результатов – доля описанной дисперсии находится в пределах 8 – 11% (рис. 1).

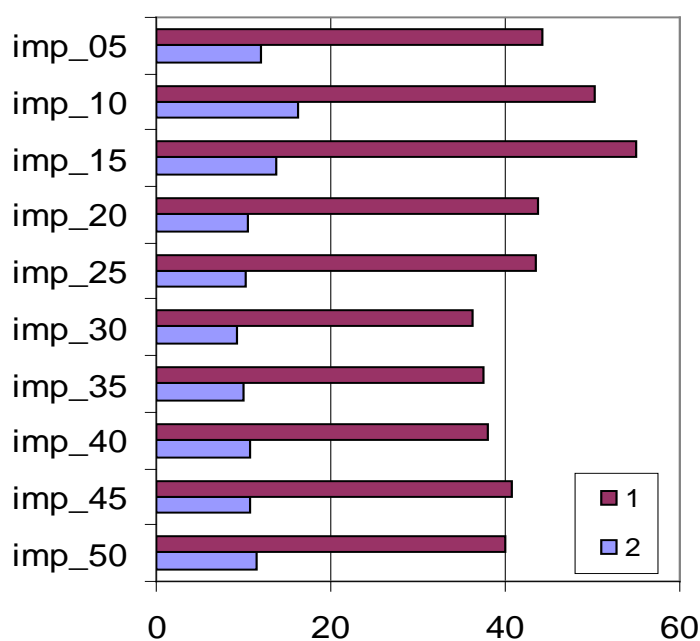


Рис. 1. Дисперсия твёрдости почвы, описанная геоморфологическими предикторами

Условные обозначения: по оси абсцисс – доля описанной дисперсии, в%; по оси ординат – imp_05 – твердость на глубине 0 – 5 см, ..., imp_50 – на глубине 45 – 50 см; регрессионные модели: 1 – опорные векторы; 2 – линейная модель.

Применение регрессии по методу опорных векторов (ядро функции – ANOVA RBF) значительно улучшило предсказательные возможности модели – до 37 – 58%. Таким образом, можно утверждать, что пространственная изменчивость твердости почвы находится в зависимости от геоморфологической обстановки, но характер этой связи выходит за рамки линейного описания.

Несмотря на различия в абсолютных значениях описательных способностей регрессионных моделей, тенденция изменчивости описанной вариации как при линейной модели, так и по методу опорных векторов, подобна: в наибольшей степени от комплекса геоморфологических характеристик зависит твёрдость на

глубине 5 – 10 и 10 – 15 см. Второй максимум значений описанной дисперсии наблюдается для глубины 40 – 45 и 45 – 50 см. Замечательно то, что горизонты, которые регулярно подвергаются вспашке, в конце вегетационного сезона характеризуются твердостью, изменчивость которой в пространстве обусловлена геоморфологическими детерминантами. Очевидно, что динамика водного и теплового режимов, которые испытывают регулирующие воздействие рельефа, отражается в пространственной изменчивости почвы. Так, тест Мантеля между матрицами расстояний Махаланобиса по твердости и по геоморфологическим показателям, равен 0,17 ($p = 0,001$). Частный тест между теми же матрицами с матрицей географических расстояний в качестве контролирующей переменной равен 0,16 ($p = 0,002$). Это свидетельствует о том, геоморфологические детерминанты оказывают влияние на твердость почвы, минуя иные факторы географической природы.

Геостатистические характеристики твердости почвы на различных глубинах представлены в таблице 2. Экстракцию тренда провели с помощью полинома 3-ей степени:

$$\Omega_{xy} = a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5x^3 + a_6y^3 + a_7xy + a_8x^2y + a_9xy^2,$$

где x и y – географические координаты; Ω_{xy} – твердости почвы в точке с координатами x и y ; $a_1...a_9$ – регрессионные коэффициенты.

2. Геостатистические характеристики твёрдости почвы

Глубина, см	Наггет	Порог	Радиус, м	100-SDL, %	R^2
0 – 5	0,26	0,31	388,8	54,39	0,10
5 – 10	0,16	0,32	353,7	66,67	0,07
10 – 15	0,15	0,24	451,2	61,54	0,08
15 – 20	0,09	0,31	145,4	77,50	0,07
20 – 25	0,01	0,37	144,9	97,37	0,04
25 – 30	0,01	0,35	114,9	97,22	0,05
30 – 35	0,00	0,55	90,2	100,00	0,05
35 – 40	0,03	0,76	42,7	96,20	0,07
40 – 45	0,12	0,8	47,7	86,96	0,06
45 – 50	0,35	0,44	45,3	55,70	0,07

Как следует из данных, приведенных в таблице, твердость почвы на различных глубинах в пределах изучаемых полей, практически не подвержена пространственному тренду. Доля дисперсии, описываемой регрессионной моделью, находится на уровне 5 – 10%, что явно не достаточно, чтобы признать роль тренда существенной. Тем не менее, в изменчивости твердости почвы присутствует пространственная компонента, которая обусловлена локальной автокорреляцией. Об этом свидетельствует достаточно высокие индексы 100-SDL, в соответствии с которыми, доля пространственной компоненты изменчивости для твердости почвы составляет 54,39 – 100,00%. Необходимо отметить, что роль автокорреляции увеличивается с увеличением глубины, достигая максимума в горизонте 20 – 40 см. При дальнейшем увеличении показатель 100-SDL несколько снижается.

Радиус влияния автокорреляции характеризуется общей тенденцией к уменьшению с увеличением глубины. На глубине 0–15 см этот показатель находится на уровне 353,7–451,2 м. Начиная с глубины 15 см, радиус влияния резко уменьшается и составляет 42,7–47,7 м на глубине 35–50 см. Очевидно, регулярная вспашка выравнивает механические свойства почвы, вследствие чего локальные пространственные образования уровня педона разрушаются, а структурные уровни педон-полипедон объединяются в один. В подпахотном горизонте педонная структура почвы имеет достаточно времени для восстановления после очередной глубокой вспашки, поэтому на глубине 35–50 см наблюдаются пространственные структуры размерности 45–100 м.

Следующей задачей было выделение пространственно однородных участков почвы по твердости. Для этого результаты наших исследований были обработаны с помощью кластерного анализа. Кластерный анализ является широко применяемой статистической процедурой для классификации данных. Две характеристики определяют результаты кластерного анализа – это мера сходства/различия между объектами, которые классифицируются и способ формирования кластеров.

Мерами сходства могут выступать Манхетенское расстояние, Эвклидово расстояние, расстояние Минковского, Чебышева, коэффициент корреляции Пирсона, другие коэффициенты корреляции и т.д.

Среди методов кластеризации следует указать метод ближнего соседа, дальнего соседа, центроидную кластеризацию, медианную кластеризацию, метод Уорда и т.д.

Применение различных подходов кластерного анализа определяется природой изучаемого объекта, адекватностью концепции методов свойствам объекта. Очень важным является возможность содержательной интерпретации результатов кластеризации.

Для выделения относительно однородных территориальных единиц на основании твердости почвы в качестве критерия однородности можно выбрать согласованность и синхронность изменчивости показателей твердости по профилю почвы, что может быть отражено с помощью коэффициента корреляции. Коэффициент корреляции Пирсона является подходящим показателем сходства профилей. Формально профиль определяется как вектор значений объекта, графически изображаемый в виде ломаной линии.

Кронбах и Глезер (1953) впервые показали, что сходство между профилями определяют следующие три элемента:

- форма, т.е. спуски и подъемы для ломаной линии для всех переменных;
- рассеяние, т.е. дисперсия значений переменной для объекта по всем переменным относительно их среднего;
- поднятие (уровень или сдвиг), т.е. среднее значение для объекта по всем переменным.

Чувствительность коэффициента корреляции Пирсона лишь к форме означает, что два профиля могут иметь корреляцию +1,0, и все же не быть идентичными (т.е. профили объектов не проходят через одни и те же точки). Коэффициент корреляции Пирсона чувствителен только к форме из-за неявной нормировки каждого объекта по всем переменным.

Результаты кластерного анализа сайтов по твердости приведены на рис. 2. В качестве кластерного решения нами выбран вариант с 4 кластерами. Необходимо отметить, что иерархическая кластерная процедура предполагает возможность выделения от 2 до $N-1$ кластеров, где N – объем выборки. Существуют процедуры, которые позволяют по некоторому критерию остановиться на некотором промежуточном варианте кластерного решения. Ведь очевидно, что «слишком малое» число кластеров даёт нам объемные группировки, состав которых искусственно расширен. «Слишком большое» число кластеров не решает главной задачи классификации – получение обозримого количества относительно однородных объектов, так как вместо исходного числа объектов мы получаем новое множество, чуть меньшее по объему, но все равно значительное для понимания их природы.

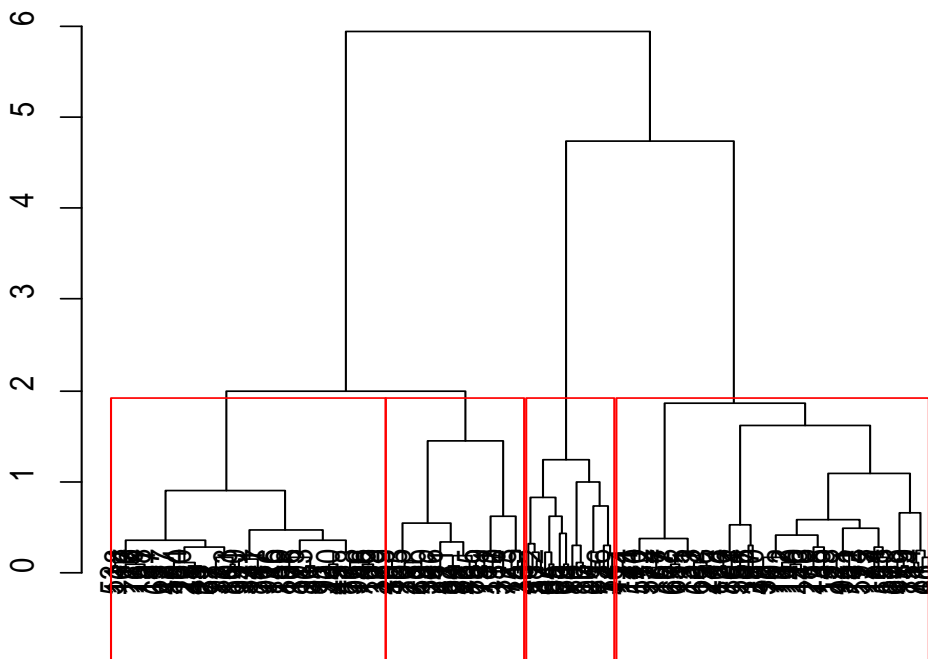


Рис. 2. Кластерный анализ сайтов по твердости. Метод Варда, дистанция Махаланобиса.

Примечание: Прямоугольники указывают объем кластеров для решения из 4 кластеров.

В качестве кластера в экологических исследованиях должно выступать реально существующая группа объектов, которые характеризуются определенной однородностью статистических параметров, а также однотипностью связи с другими явлениями и процессами их экологического окружения. Если статистическая однородность – это критерий, который логически следует из свойств кластерного анализа, то иногда между различными кластерными решениями нет четкого различия по степени однородности либо другим статистическим свойствам. Поэтому в качестве решающего критерия мы выбрали дискретность кластеров по отношению к внешним характеристикам агроэкосистемы.

Так, решение из 4 кластеров характеризуется достоверным различием между кластерами значений таких геоморфологических показателей, как угол уклона, шероховатость рельефа, кривизна в плане и фактор эрозии, а также вегетационных индексов за разные периоды (табл. 3).

3. Дисперсионный анализ принадлежности сайта к кластеру твердости и вегетационных индексов и топографических характеристик

Показатели	SS	df	MS	SS	df	MS	F-значение	p-уровень
NDVI								
16 апреля	0,00	3	0,00	0,13	178	0,00	1,20	0,31
2 мая	0,00	3	0,00	0,27	178	0,00	0,98	0,40
11 мая	0,01	3	0,00	0,12	178	0,00	2,60	0,05
12 июня	0,01	3	0,00	0,21	178	0,00	2,61	0,05
19 июня	0,01	3	0,00	0,34	178	0,00	1,11	0,35
14 июля	0,05	3	0,02	1,13	178	0,01	2,44	0,07
30 июля	0,07	3	0,02	1,19	178	0,01	3,52	0,02
6 августа	0,08	3	0,03	0,61	178	0,00	7,91	0,00
22 августа	0,08	3	0,03	0,80	178	0,00	6,28	0,00
Геоморфологические показатели								
Dem, м	32,57	3	10,86	1996,06	178	11,21	0,97	0,41
Twl_saga	5,50	3	1,83	156,40	178	0,88	2,09	0,10
TWI	7,99	3	2,66	274,03	178	1,54	1,73	0,16
Slope, °	0,00	3	0,00	0,00	178	0,00	2,75	0,04
Ruggedness, м	0,08	3	0,03	1,70	178	0,01	2,87	0,04
Prof_curv*10 – 31/м	0,00	3	0,00	0,00	178	0,00	0,57	0,64
Plan_curv*10 – 31/м	0,00	3	0,00	0,00	178	0,00	2,97	0,03
Mass_balance	0,00	3	0,00	0,03	178	0,00	0,89	0,45
Ls_factor	0,02	3	0,01	0,30	178	0,00	3,40	0,02
Hillshad	0,00	3	0,00	0,13	178	0,00	2,26	0,08
Direct_insol	0,00	3	0,00	0,10	178	0,00	1,63	0,18
Diffuse_insol	0,00	3	0,00	0,00	178	0,00	0,97	0,41
Mrrtf	5,93	3	1,98	161,00	178	0,90	2,18	0,09
Mrvbf	0,73	3	0,24	173,06	178	0,97	0,25	0,86
Wind	0,00	3	0,00	0,06	178	0,00	0,24	0,87
Altitude	91,88	3	30,63	4748,90	178	26,68	1,15	0,33

Условные обозначения: см. табл. 1; SS – сумма квадратов; df – степени свободы; MS – средний квадрат эффекта

Следует отметить, что кластерные решения, полученные на основании мер, чувствительных не к форме изменчивости по профилю, как коэффициент корреляции Пирсона, а к абсолютным значениям, как, например, Евклидова метрика, не дали кластеров, которые характеризовались такой специфичностью в отношении внешних характеристик по отношению к твердости почвы. Таким образом, можно утверждать, что геоморфологически детерминированным является не абсолютное значение твердости почвы, а характер профильного распределения этого признака. Очевидно, что на динамику абсолютного значения

твердости почвы решающее значение оказывает режим влажности. А характер профильного распределения твердости отражает локальные особенности почвообразовательного процесса, которые находятся под влиянием такого важного почвообразования, как рельеф.

Можно предполагать, что выделенные кластеры детерминируют продуктивность агроэкосистемы вследствие особенностей профильного изменения твердости почвы.

Оценка наземной биомассы необходима для изучения продуктивности, кругооборота углерода, распределения питательных веществ в наземных экосистемах (Ryu et al., 2004). Методы анализа данных дистанционного зондирования земли позволяют оценить свойства и процессы в экосистемах и их годовую динамику на различных масштабных уровнях, так как наблюдения со спутника проводятся со значительным пространственным охватом, высоким пространственным разрешением и временной периодичностью (Running et al., 2000). В ряде исследований показано, что такие индексы, как спектральный вегетационный индекс (SVI), простое отношение (SR), нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (NDVI) и скорректированный нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (NDVIC), полученные с помощью данных со спутника, являются хорошими предикторами индекса листовой поверхности (LAI), биомассы и продуктивности лесных и луговых экосистем (Fassnacht et al., 1997; Jakubauskas, 1996; Nemani et al., 1993; Paruelo, Lauenroth, 1998; Steininger, 2000; Tieszen et al., 1997). Анализ полученной информации состоит из двух этапов – статистического и геостатистического.

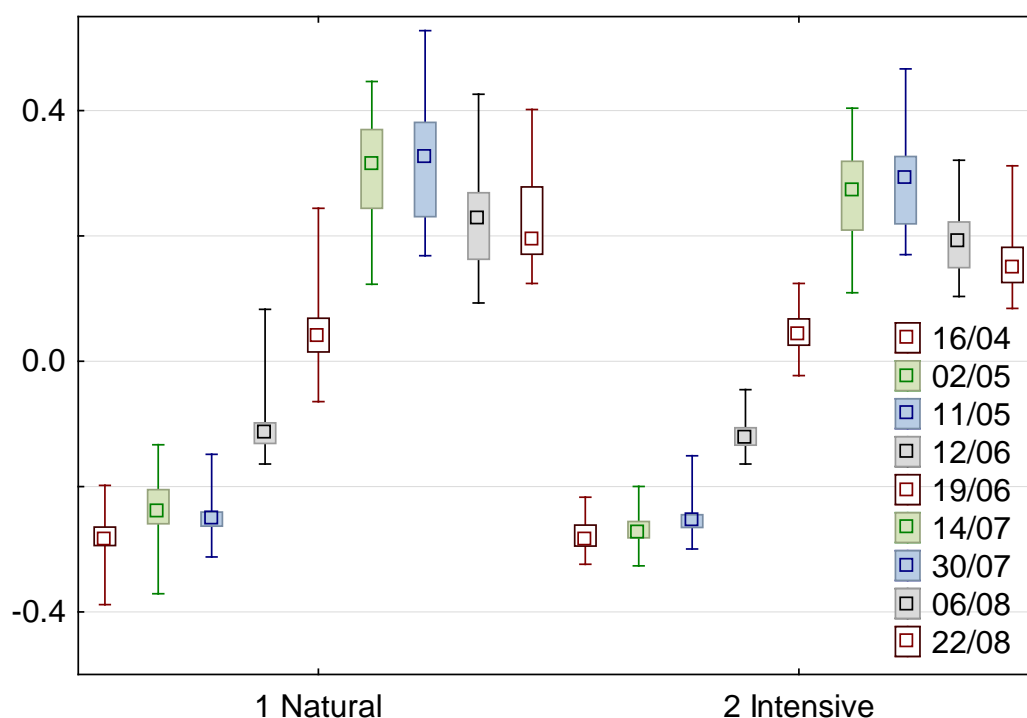


Рис. 3. Динамика вегетационного индекса NDVI на полях с различной технологией

Условные обозначения: квадрат – медиана; прямоугольник – интервал 25% – 75%; линии – минимум-максимум; *Natural* – технология природного земледелия; *Intensive* – технология интенсивного земледелия.

Статистический подход позволяет сравнить вариабельность индекса NDVI во времени, рассматривая два поля как целостные объекты. Данные, представленные на рисунке 3 свидетельствуют о том, что два поля характеризуются подобной динамикой растительности в течение вегетационного периода. Установлено, что активное развитие вегетативной массы культуры наблюдается с конца мая. Этот рост длится вплоть до середины июля. После чего наблюдается плато, которое заканчивается снижением индекса NDVI с начала августа.

Дисперсионный анализ показал (табл. 4), что между значениями NDVI на двух полях наблюдается статистически достоверные различия. Стабильное преобладание индекса NDVI на поле с природной технологией земледелия в сравнении с полем интенсивной технологией наблюдается с середины июля.

4. Дисперсионный анализ достоверности различий вегетационного индекса NDVI между полями с различными технологиями земледелия

Дата	SS – Effect	df – Effect	MS – Effect	SS – Error	df – Error	MS – Error	F	p
16 апреля	0,00	1	0,00	0,13	180	0,00	0,30	0,58
2 мая	0,05	1	0,05	0,23	180	0,00	39,59	0,00
11 мая	0,00	1	0,00	0,12	180	0,00	0,38	0,54
12 июня	0,01	1	0,01	0,21	180	0,00	6,89	0,01
19 июня	0,00	1	0,00	0,35	180	0,00	0,04	0,84
14 июля	0,07	1	0,07	1,10	180	0,01	11,52	0,00
30 июля	0,08	1	0,08	1,18	180	0,01	12,69	0,00
6 августа	0,07	1	0,07	0,62	180	0,00	19,36	0,00
22 августа	0,20	1	0,20	0,69	180	0,00	52,02	0,00

Геостатистический анализ позволяет сравнить особенности пространственного распределения индекса NDVI в пределах каждого из сравниваемых полей.

Геостатистическая процедура – кригинг – должна быть проведена для пространственно-стационарного процесса. Поэтому изначально из наблюдаемых данных должен быть извлечен пространственный тренд. Это можно сделать с помощью регрессионного анализа, если в качестве переменных-предикторов использовать пространственные координаты объектов. Экстракцию тренда мы провели с помощью полинома 3-ей степени:

$$NDVI_{xy} = a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5x^3 + a_6y^3 + a_7xy + a_8x^2y + a_9xy^2,$$

где x и y – географические координаты; $NDVI_{xy}$ – значения индекса NDVI в точке с координатами x и y ; $a_1...a_9$ – регрессионные коэффициенты. Остаток регрессионной модели лишен тренда, который может быть описан полиномом 3-ей степени и может рассматриваться как стационарный пространственный процесс.

Важную информацию о природе изучаемого процесса дает доля дисперсии, описываемой регрессионной моделью зависимости переменной от пространственных координат (тренда, в нашем случае 3-й степени) – R^2 . Эта величина говорит о значении пространственного тренда в изменчивости индекса

NDVI. Тренд в общем виде описывает комплекс факторов, действие которых непрерывно в пределах всей изучаемой территории.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что роль тренда усиливается вместе с увеличением общей фитомассы на полях (табл. 5). Динамика R^2 синхронна с динамикой значения индекса NDVI. Наименьшее значение R^2 наблюдается в апреле, когда растительного покрова практически нет, а индекс NDVI в этот период отражает неоднородность почвенного покрова. За исключением локального максимума значения R^2 2 мая на поле с природной технологией (0,63), рост значения индекса NDVI сопряжен с увеличением роли тренда в пространственной изменчивости вегетационной массы.

5. Геоestatистические характеристики индекса NDVI в различные моменты вегетационного периода

Дата	Тип земледелия	Наггет * 10 ⁴	Порог * 10 ⁴	Радиус, м	100-SDL, %	R^2
16 апреля	Природное	1,87	7,30	104,39	79,61	0,22
	Интенсивное	3,75	2,17	153,80	36,66	0,28
2 мая	Природное	11,40	21,03	153,21	64,85	0,63
	Интенсивное	17,06	27,82	166,72	61,99	0,37
11 мая	Природное	4,44	32,34	87,69	87,92	0,45
	Интенсивное	11,40	29,27	148,18	71,97	0,50
12 июня	Природное	32,27	74,20	317,14	69,69	0,61
	Интенсивное	12,20	28,09	176,93	69,71	0,39
19 июня	Природное	6,83	45,41	183,87	86,93	0,57
	Интенсивное	5,58	12,08	185,01	68,42	0,56
14 июля	Природное	0,00	19,18	143,73	100,00	0,72
	Интенсивное	2,14	14,91	171,44	87,46	0,76
30 июля	Природное	1,31	31,61	149,66	96,03	0,71
	Интенсивное	1,25	9,29	182,36	88,17	0,83
6 августа	Природное	0,12	28,92	157,74	99,60	0,45
	Интенсивное	3,09	6,28	172,19	67,02	0,75
22 августа	Природное	6,54	9,81	167,31	59,99	0,68
	Интенсивное	5,53	10,33	150,13	65,14	0,62

Различия по показателю R^2 между полями с разными типами технологий статистически не достоверны (тест Вилкоксона $Z = 0,18$, $p = 0,86$). Это говорит о сходном характере реагирования растительности на обоих полях в ответ на действие трендовых факторов.

Характеристики вариограммы дают важную информацию о пространственной организации явления либо процесса на локальном уровне. Соотношение наггет-эффекта и частичного порога указывают на роль пространства в организации переменной, а радиус автокорреляции показывает протяженность пространственного взаимодействия.

Значения наггет-эффекта и частичного порога используются для вычисления показателя пространственной автокорреляционной независимости переменной – *SDL*. Очевидно, логично говорить о пространственной зависимости, поэтому мы будем рассматривать комплиментарный показатель – 100- *SDL*. Автокорреляционная компонента пространственной зависимости также синхронна фитомассе. Показатель 100-*SDL* наименьший в начале вегетационного периода, растет с увеличением индекса NDVI, и после достижения плато – снижается. Особенность состоит в том, что показатель 100-*SDL* достоверно выше

для поля с природной технологией земледелия (тест Вилкоксона $Z = 2,19$, $p = 0,03$).

Рис. 4. Пространственная изменчивость индекса NDVI в пределах поля с природным земледелием (полигон слева) и интенсивным (полигон справа) 14 июля 2012 г. по данным спутника Landsat ETM+.

Примечание: Культура – подсолнечник. Размер ячеек растра – 30×30 м. Проекция – UTM, 36 зона.

Радиус автокорреляции индекса NDVI не подвержен закономерному изменению в течение вегетационного периода и не различается статистически достоверно между двумя полями (тест Вилкоксона $Z = 1,13$, $p = 0,26$). Для поля с природной технологией возделывания этот показатель равен в среднем 162,75 м, а для поля с интенсивной технологией – 167,42 м. Этот факт может свидетельствовать о природе возникновения автокорреляции фитомассы. Наиболее вероятно то, что действие локальных экзогенных (в данном случае – эдафических) факторов приводит к пространственному структурированию растительного покрова. Можно сказать, что пространственная неоднородность почвенных свойств является причиной формирования пространственных паттернов растительности, что по определению является основой для внедрения системы точного земледелия.

Важной особенностью является увеличение роли тренда и локальной автокорреляции при увеличении фитомассы, которая индицируется с помощью NDVI – более обильное растительное сообщество становится более пространственно-структурированным. Данный результат является очевидным

пространственным следствием закона лимитирующего фактора Либиха. С увеличением фитомассы в процессе вегетации факторы различной природы и различного масштабного уровня все в большей степени оказывают свое ограничивающее влияние.

Как показано на рисунке 5, наиболее благоприятные условия для формирования продукции складываются в пределах кластера 1. Наихудшие условия для первичной продукции отмечены для кластера 2; кластеры 3 и 4 занимают промежуточное положение по значениям NDVI.

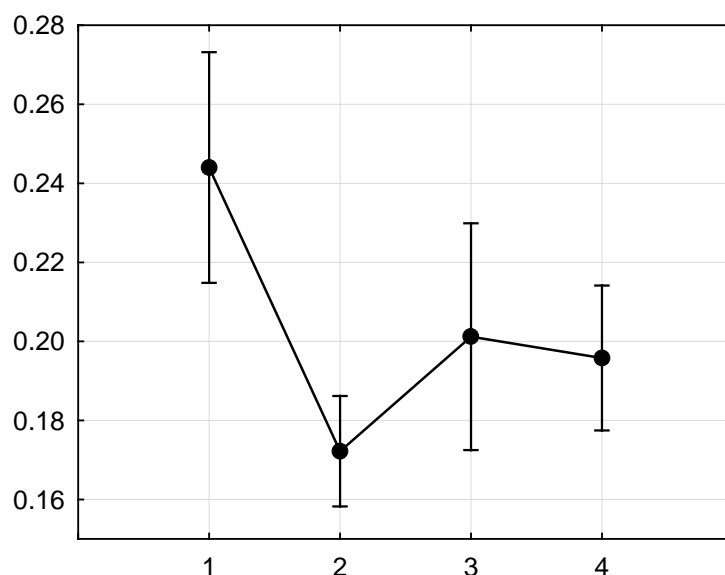


Рис. 5. Значения индекса NDVI 22 августа 2012 г. в сайтах, принадлежащих различным кластерам по твердости.

Примечание: По оси абсцисс – нумерация кластеров, по оси ординат – NDVI

Особенности профильного распределения твердости, характерные для каждого кластера, представлены на рисунке 6. Анализ данных, приведенных на рисунке, показывает, что основным отличием между кластерами является скорость, с которой увеличивается твердость с глубиной. Для кластера 1, который характеризуется наиболее высоким уровнем индекса NDVI, характерно постепенное увеличение твердости с глубиной, благодаря чему в корненасыщенном горизонте с очень малой вероятностью наблюдается превышение пороговых уровней твердости (3 МПа). Необходимо отметить, что твердость почвы на глубинах 0 – 20 см в пределах кластера 1 в целом превышает аналогичные значения в других кластерах. Но, наблюдаемые значения твердости почвы не превышают критического значения, благодаря чему такая особенность не снижает возможности роста и развития корневой системы растений, а значит и продуктивности растительного покрова.

Для кластера 2, в пределах которого формируются наихудшие условия для развития растений по критерию твердости, характерно сочетание высокого уровня твердости в верхних горизонтах (0 – 10 см) и высокого уровня твердости на глубине 40 – 50 см. Для кластеров 3 и 4 характерна низкая твердость почвы в поверхностных горизонтах и высокая твердость – в глубоких. Различия между

этими кластерами состоят в том, на какой глубине резко возрастает твердость. В кластере 3 резкий рост твердости отмечен с глубины 40 – 45 см, а в кластере 4 – с глубины 30 – 35 см.

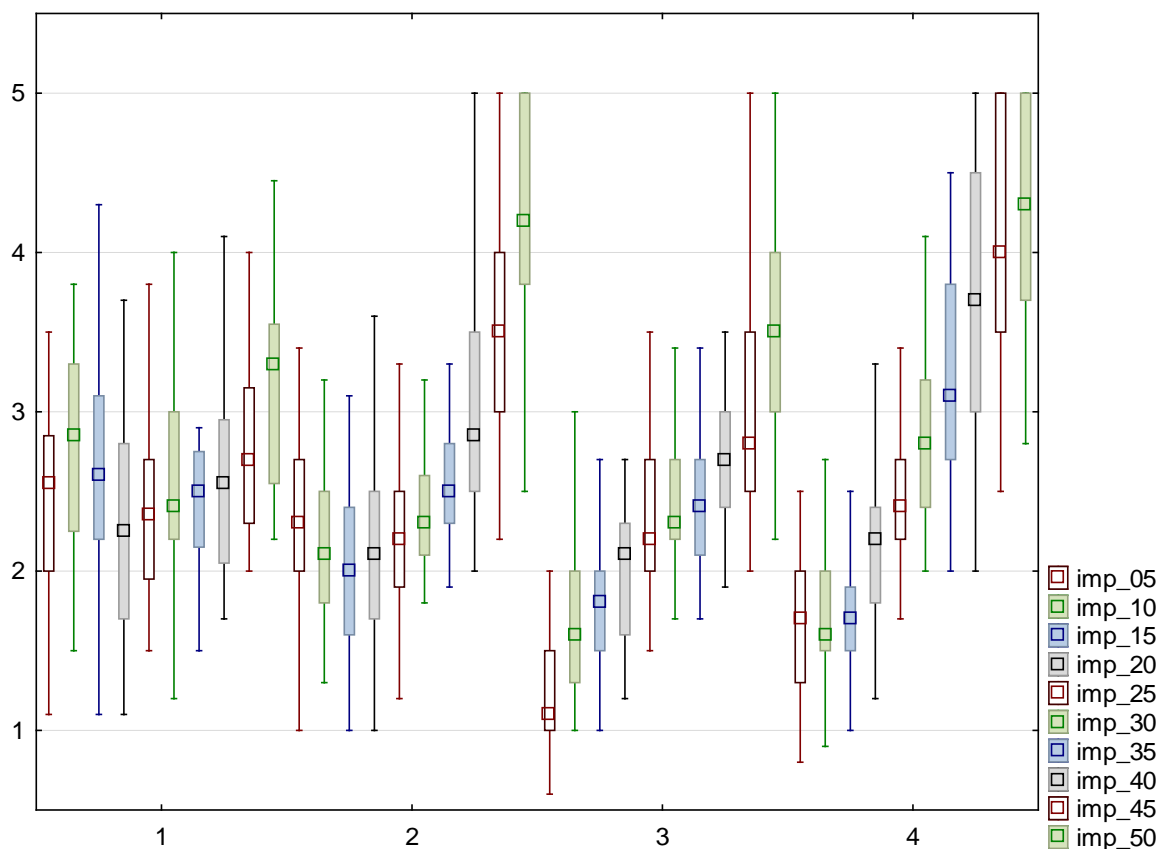


Рис. 6. Твердость почвы, характерная для кластеров 1 – 4.

Условные обозначения: По оси абсцисс – нумерация кластеров; imp_05 – горизонт 0 – 5 см, imp_10 – горизонт 5 – 10 см, ..., imp_50 – горизонт 45 – 50 см; по оси ординат – твердость почвы (в МПа); квадраты – медиана, прямоугольники – квартиль 25 – 75%, линии – диапазон минимум-максимум.

Очевидно, данные по динамике твердости в пространстве и во времени могут дать наиболее объемную и полную информацию о характере влияния этого важного показателя на продуктивность агроценоза. Информация о пространственной изменчивости твердости почвы в конце вегетации перед уборкой урожая свидетельствует о том, что не только абсолютное значение твердости, но и характер профильного распределения (форма профиля по твердости) являются информационно-важными показателями, которые оказывают управляющее воздействие на пространственную изменчивость индекса NDVI и позволяют описать его пространственные особенности во времени. Последнее обстоятельство позволяет сделать предположение об инвариантном характере формы профильного распределения твердости во времени.

В данном случае под инвариантностью мы понимаем сходный характер профильного распределения твердости в пределах каждого кластера. Абсолютные значения твердости могут изменяться во времени, особенно в результате

динамики почвенной влаги и механического воздействия на почву сельхозагрегатов. Но после существенных флуктуаций, в пределах каждого кластера почва стремится к некоторому стационарному состоянию, которое для этого кластера характерно. Профильное распределение твердости, в свою очередь, влияет на распределение влаги и условия роста корней растений и жизни почвенной фауны.

На рисунке 7 представлено пространственное размещение кластеров, выделенных по твердости почвы. Кластер 1 занимает 15,92% площади полей, кластер 2 – 46,87, кластер 3 – 16,98, кластер 4 – 20,24%. Таким образом, площадь земель с наиболее благоприятными по твердости условиями составляет 15,92%, а с наиболее неблагоприятными около половины – 46,87%. Кластер 1 на территории представлен фрагментарными локусами – максимальный по площади из которых составляет 37,79% от площади, занимаемой кластером. Кластер 2 представляет собой практически целостное образование – 90,37% от площади кластера занимает наибольший локус. Аналогичные показатели для кластеров 3 и 4 составляют 44,28 и 63,78% соответственно.

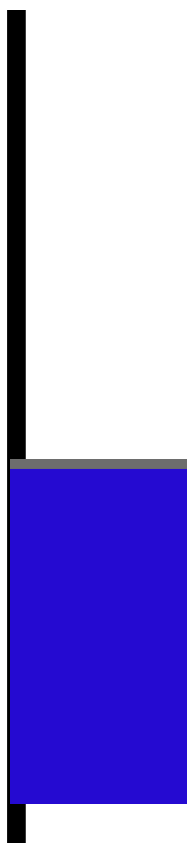


Рис. 7. Пространственное распределение кластеров твердости почвы по результатам классификации по методу опорных векторов. В качестве переменных-предикторов использованы геоморфологические характеристики рельефа.

Сплошной характер расположения кластера 2, в пределах которого сформировались неблагоприятные условия для произрастания культур по твердости, предполагает возможность локального проведения глубокой вспашки для оптимизации физических свойств.

Таким образом, распределение дискретных единиц – кластеров – в пределах поля представляет собой основу для установления «единиц управления». Единицы управления – участки поля, которые характеризуются однородными технологическими требованиями, которые достаточно отличаются от требований соседних единиц управления в пределах поля.

Выводы.

1. Средние значения твёрдости почвы опытных полей закономерно повышаются с глубиной от 1,96 МПа в верхнем 15-сантиметровом слое до 4,02 на глубине 45 – 50 см. Распределение показателей твердости наиболее отлично от нормального на глубине 15 – 30 см от поверхности.

2. Результаты кластерного анализа позволили выделить четыре кластера сайтов. В пространстве каждый кластер представлен некоторым количеством четко обособленных образований, однородных по формированию профиля по твердости. Основным отличием между кластерами является скорость, с которой увеличивается твердость с глубиной.

3. Горизонты, которые регулярно подвергаются вспашке (0 – 25 см), в конце вегетационного сезона характеризуются твердостью, изменчивость которой в пространстве обусловлена геоморфологическими детерминантами. Регулярная вспашка выравнивает механические свойства почвы, вследствие чего локальные пространственные образования на уровне педонов разрушаются, а структурные уровни педон-полипедон объединяются в один. В подпахотном горизонте педонная структура почвы имеет достаточно времени для восстановления после очередной глубокой вспашки, поэтому на глубине 35 – 50 см наблюдаются пространственные структуры размером 45 – 100 м в диаметре.

4. Выделенные кластеры детерминируют производительность агроэкосистемы вследствие особенностей профильного изменения твердости почвы. Наиболее благоприятные условия для продуктивности формируются в пределах кластера 1. Наихудшие условия для первичной продукции отмечены для кластера 2; кластеры 3 и 4 занимают промежуточное положение по значению NDVI.

5. Кластер 1 на территории представлен фрагментарными локусами – максимальный по площади из которых составляет 37,79% от территории, которую занимает кластер. Кластер 2 представляет собой практически целостное образование – 90,37% от площади кластера занимает самый большой локус. Аналогичные показатели для кластеров 3 и 4 составляют 44,28 и 63,78% соответственно. Сплошной характер расположения кластера 2, в рамках которого сформировались неблагоприятные условия для выращивания культур по твердости, предполагает возможность локального проведения глубокой вспашки для оптимизации физических свойств почвы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лук`яненко А.С. Економічна ефективність ґрунтозахисного біологічного землеробства / А.С. Лук`яненко. — К.: «Оранта», 2000. 303 – 310 с.
2. Медведев В.В. Мониторинг почв Украины. Концепция. Итоги. Задачи. Харьков: КП «Городская типография», 2012. 536 с.

3. Медведев В. В. Твердость почв / В.В. Медведев. — Харьков: «Городская типография», 2009, — 152 с.
4. Задорожна Г.О. Просторова організація дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. — 2011, № 1. — С. 70 – 76.
5. Жуков А. В. Твердость дерново-литогенных почв на лесовидных суглинках \ А. В. Жуков, О. М. Кунах // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. — 2011, № 1. — С. 63 – 69.
6. McGarigal K., S. A. Cushman, M.C. Neel, E. Ene FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. — 2002. — Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
7. Козлов Д.Н., Пузаченко М.Ю., Федяева М.В., Пузаченко Ю.Г. Отображение пространственного варьирования свойств ландшафтного покрова на основе дистанционной информации и цифровой модели рельефа // Изв. РАН. Сер. Географ. № 4. — 2008. — С. 112 – 124.
8. Cronbach, L.J. & Gleser, G.C. /Review of the book *The study of behavior*/. *Psychometrika* 19, 1954. 327 – 330 p.
9. Родин Л. Е. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах / Л. Е. Родин, Н. П. Ремезов, Н. И. Базилевич – Л., 1968. — 145 с.
10. Ryu S. — R., Chen J., Crow T. R., Saunders S. C. Available fuel dynamics in nine contrasting forest ecosystems in north America // *Environmental Management*. — 2004. — Vol. 33. — P. 87– 107.
11. Running S. W., Thornton P. E., Nemani R., Glassy, J. M. Global terrestrial gross and net primary productivity from the earth observing system // O. E. Sala, R. Jackson, H. A. Mooney, & R.Hwarth (Eds.) *Methods in ecosystem science*. — New York, Springer-Verlag. — 2000. — P. 44– 57. Fassnacht et al., 1997; Jakubauskas, 1996; Nemani et al., 1993; Paruelo, Lauenroth, 1998; Steininger, 2000; Tieszen et al., 1997.

Одержано 16.09.2013

Аннотация

Жуков А.В., Задорожная Г.А., Демидов А.А., Рысина Е.В.

Экологическое значение пространственной изменчивости твердости почвы в условиях природного земледелия

Исследована пространственная изменчивость твёрдости чернозёма обыкновенного на полях, которые обрабатываются по технологии природного и традиционного земледелия. Установлена и доказана связь между формированием профиля чернозёма по твёрдости и биологической продуктивностью агроценозов по показателям нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI). Даны практические рекомендации производству по проведению локальной глубокой вспашки исследованных полей для оптимизации физических свойств почвы.

Ключевые слова: твёрдость почвы, нормализованный разностный вегетационный индекс, кластерный анализ, природное земледелие.

Annotation

Zhukov A.V., Zadorozhnaya G. O., Demidov A. A, Rysina E.V

Ecological importance of spatial variability of soil penetration resistance in the conditions of natural farming

The spatial variability of the hardness of ordinary chernozem in the fields which are cultivated by the technologies of natural and traditional farming was investigated. The connection between chernozem penetration resistance profile formation and biological productivity of agrocenoses by normalized differential vegetation index (NDVI) was set. Practical recommendations for the manufacture on conducting local deep plowing of studied fields were given to optimize the physical properties of the soil.

Keywords: *soil penetration resistance, normalized differential vegetation index, cluster analysis, natural farming.*

УДК 577.15:633.12:631.811.98

АКТИВНІСТЬ АНТИОКСИДАНТНИХ ФЕРМЕНТІВ У РОСЛИНАХ ГРЕЧКИ ЗА ДІЇ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ

З. М. Грицаєнко, доктор сільськогосподарських наук

А. А. Даценко, аспірант

Уманський національний університет садівництва

Представлено результати досліджень з вивчення дії різних норм мікробіологічного препарату Діазобактерин (150, 175, 200 мл) та способів застосування регулятора росту рослин Радостим (обробка насіння перед сівбою – 250 мл/т, обприскування посівів – 50 мл/га) на активність антиоксидантних ферментів – каталази, пероксидази та поліфенолоксидази.

Ключові слова: *регулятор росту рослин, мікробіологічний препарат, гречка, каталаза, пероксидаза, поліфенолоксидаза.*

Основні процеси життєдіяльності рослинного організму, а саме фотосинтез, дихання, синтез органічних речовин, на пряму залежать від активності ферментів класу оксидоредуктаз [1]. Зміна в рослинах ферментативної активності у значній мірі залежить від підвищених концентрацій у фотосинтезуючих тканинах активних форм кисню (АФК), які продукуються у відповідь на біотичні та абіотичні стресові чинники, серед яких можливі водний дефіцит, засолення, низька або підвищена температура, дія гербіцидів, тяжких металів, радіації, інфекції патогенів [2, 3]. Так, у хлоропластах, можливе утворення синглетного кисню, супероксидрадикалу й пероксиду водню, у мітохондріях – супероксидрадикалу та ін. [4]. АФК реагують з білками, ліпідами, нуклеїновими кислотами, ушкоджуючи структури мембран та макромолекул, що негативно впливає на проходження фізіологічних процесів у рослинах та формування їх продуктивності [5]. Визначну роль у нейтралізації АФК відіграє антиоксидантна система, що представлена комплексом низькомолекулярних антиоксидантних сполук та ферментів, у тому числі таких як каталаза, пероксидаза,