

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ

А. В. Ключков, доктор технических наук, профессор;

И. В. Дубень, инженер

Белорусская сельскохозяйственная академия

УДК 631.3:631.55

Стабильность факторов агротехники и урожай

Основные операции по возделыванию сельскохозяйственных культур характеризуются существенной нестабильностью показателей качества. Отмечаются неоднородность плотности подпахотного слоя по ширине захвата плуга, неравномерное распределение комков в верхнем слое. Неоднородные характеристики почвы влияют на глубину заделки семян и дальнейшее развитие растений. Тесно связанными с величиной урожая озимой ржи оказываются глубина посева и условия года возделывания. Однако растения обладают определенной инерционностью в своей реакции на изменчивость факторов агротехники и такие из них, как комковатость верхнего слоя перед посевом, количество предпосевных обработок и неравномерность высоты растений не оказали статистически значимого влияния на урожай. К моменту созревания растений люпина энергоёмкость деформации верхнего слоя почвы оказалась уже не связана с характеристиками индивидуальной продуктивности растений.

Высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур предполагают определенную стабильность условий возделывания. Однако сложная природа основных факторов агротехники, проявление их в условиях неопределенности и взаимодействия вносят существенную нестабильность в действие комплекса технологических мероприятий. Получаемый результат в виде урожая является случайной функцией многих переменных. Одновременно растения как объекты воздействия обладают определенной инерционностью в своей реакции на изменения факторов агротехники. Определить зоны существенности влияния основных управляемых факторов агротехники можно пока только экспериментально. Эти данные имеют практическое значение при назначении агротребований к используемым в технологиях машинам и орудиям.

Важными действующими факторами агротехники являются почвенные условия и характеристики посева. В характеристике почвенных условий их комплексным показателем может служить динамическая твердость почвы, где проявляются плотность сложения почвы и последующие условия для развития корневой системы растений.

При вспашке создаются условия для неравномерного сложения почвы с различной способностью к сопро-

The basic operations on crop production are characterized by essential instability of parameters of quality. Heterogeneity of a subsoil density are marked on width of plough width and non-uniform distribution of lumps in the top layer. The non-uniform characteristics of ground influence depth of seed closing up and further development of plants. The depth of seeding is closely connected with the crop production, its non-uniformity and condition of a production year. However the plants have certain inertia in the reaction to variability of the agrotechnic factors and such of them, as clodding of the top layer before sowing, number of pre-sowing tillage, non-uniformity of height of plants have not rendered statistically significant influences to a crop. By the moment of ripening of lupin plants the dynamic hardness of the top layer of ground has already appeared not connected with the characteristics of individual efficiency of plants.

тивлению деформации, которые усиливаются уплотняющим воздействием колес пахотного агрегата. Для анализа этого воздействия проведено исследование по оценке уплотнения подпахотного слоя почвы колесами трактора и лемехами плуга. Контролировали твердость почвы до и после прохода колес по дну борозды последнего корпуса трехкорпусного плуга ПЛН-3-35 в агрегате с трактором МТЗ-82. Измерения были проведены на расстоянии 5, 15 и 30 см от полевого обреза динамическим твердомером в 15 повторностях. Удельную энергию удара принимали равной 15 Дж/см² при диаметре плоского плунжера 1 см. Энергоёмкость деформации почвы определяли как энергию падающего груза, затрачиваемую на вытеснение плунжером динамического твердомера единицы объема почвы.

Результаты измерений (рис.1) показали неоднородность твердости дна борозды, основная причина которой – неравномерное уплотнение почвы колесами трактора. В середине борозды уплотнение колесами привело к повышению динамической твердости подпахотного слоя в 1,8 раза, а на правой стороне – в 1,4 раза. Одновременно проведены измерения в непаханом массиве почвы рядом с бороздой на глубине, равной глубине вспашки 20–22 см. Так как этот массив находился в зоне предыдущего прохода левых колес трактора (рис.2),

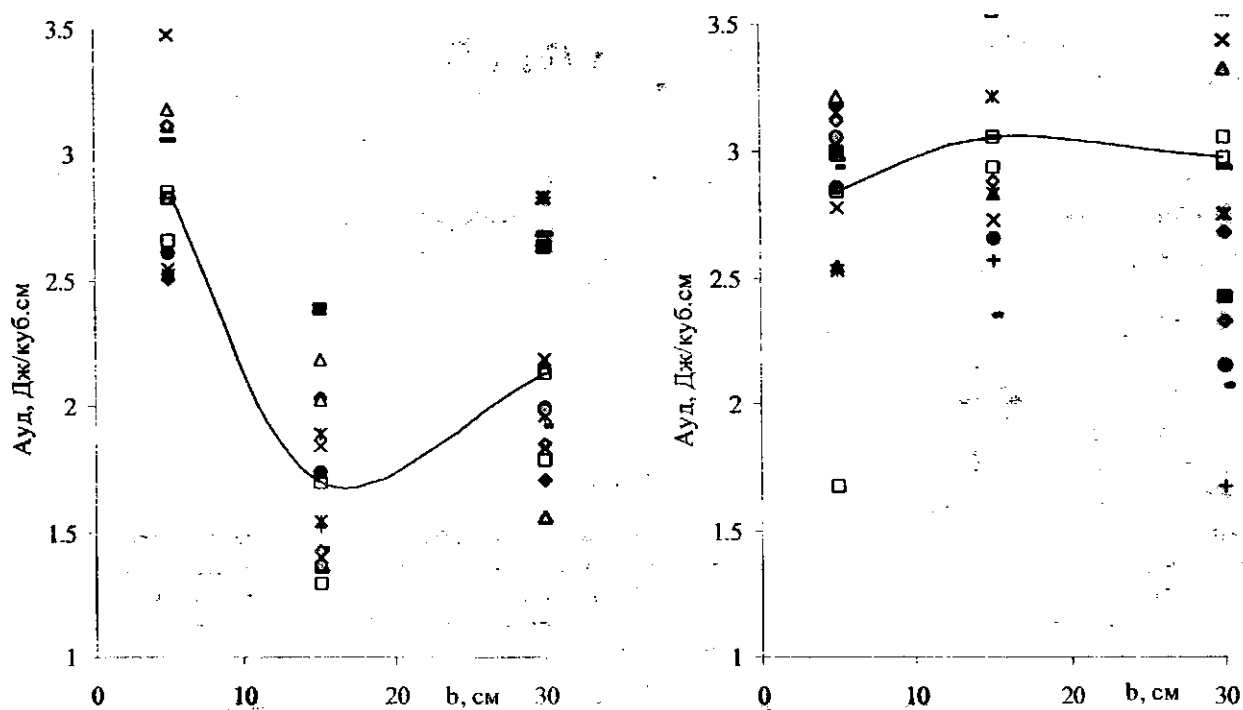


Рис.1. Энергоемкость деформации почвы до (слева) и после (справа) прохода по плужной борозде колес трактора на различном расстоянии b от стенки борозды

идуших по поверхности поля (центр следа находится на расстоянии 15 см слева от стенки борозды), то энергоемкость деформации подпахотного слоя оказалась в среднем на 37% больше, чем после прохода лемеха плуга. По этой же причине наблюдалась повышенная энергоемкость в области прохода долота лемеха. В борозде и рядом с бороздой после прохода колес трактора энергоемкость деформации почвы составила 2,2–3,4 Дж/см³. Проход колес трактора по поверхности поля и по борозде повысил динамическую твердость подпахотного слоя почвы в среднем на 30%.

Параллельно проводили измерения твердости подпахотного слоя классическим способом (твердомер Ре-

вякина, 10 повторностей, диаметр штампа 15 мм) в борозде до и после прохода колес, а также вне борозды. Анализ полученных диаграмм твердости в слое 0–20 см показал отсутствие статистически значимой разницы в первых двух случаях. Это отражает несовершенство классической методики определения твердости почвы на небольшую глубину обычным твердомером. Твердость в массиве почвы рядом с бороздой оказалась на 12% больше, чем в борозде, что объясняется уплотнением всей толщи почвы левыми колесами трактора, идущими при вспашке по поверхности поля. В среднем на 20% возросла твердость подпахотного слоя на глубине 2–7 см. Разница исчезает лишь на глубине 18–20 см относительно дна борозды (40–44 см от поверхности поля).

Анализ схемы прохода колес трактора при вспашке по полю (рис.2) показывает, что при колее трактора 1,4 м подпахотный слой подвергается уплотнению до $A_{уд} = 2,5–3,5$ Дж/см³ не менее чем на 50% площади поля. Это способствует созданию неравномерности плотности почвы в виде слоя, препятствующего нормальному влагообмену и развитию растений с глубокой корневой системой.

Во вспаханном верхнем слое почвы характеристики сложения и расположения растительных остатков также неодинаковы по ширине захвата и глубине обработки. Так, по данным профессора Кононова А.М., при возделывании озимых 30% площади поля подвергается двукратному уплотнению, 20% – четырехкратному, около 2% – восьмикратному и только около 10% не уплотняется [1]. Поэтому в ходе предпосевной обработки почвы следует ожидать еще

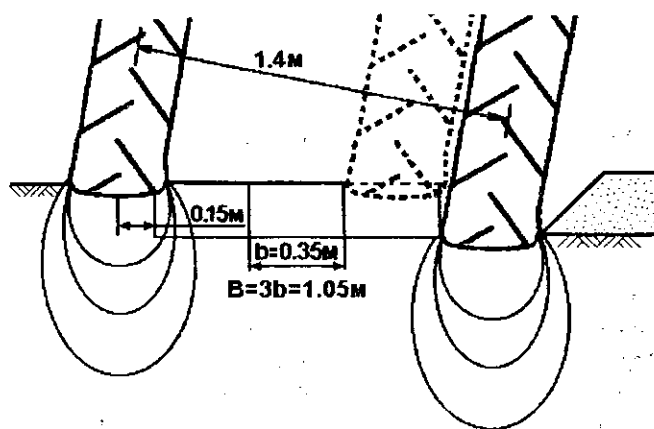


Рис.2. Схема уплотнения почвы колесным трактором МТЗ при вспашке (пунктирной линией обозначен контур левого колеса предыдущего прохода агрегата)

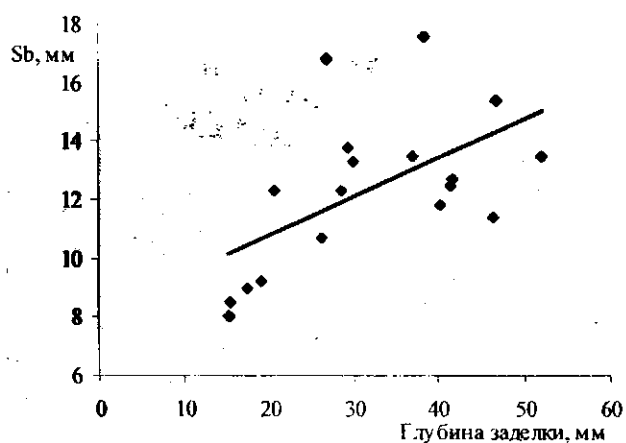


Рис.3. Взаимосвязь глубины заделки семян и ее среднего квадратического отклонения

большого роста неравномерности сложения почвы. Одновременно в верхнем обрабатываемом слое усиливается значение агрегатного состава почвы – ее комковатости. Подробно эта ситуация исследовалась нами [2] при изучении различных вариантов обработки почвы. В частности, коэффициент вариации числа комков на участках поля $0,5 \times 0,05$ м при различных вариантах обработки колеблется от 38,0 до 86,9% и составляет в среднем 64,3%. Характерно, что проведение культивации способствует увеличению неравномерности распределения почвенных комков по ширине поля.

Таким образом, в результате предпосевных обработок создаются неоднородные почвенные условия, оказывающие существенное влияние на работу сошников сеялок и показатели заделки семян, которые в свою очередь также способны оказывать влияние на будущую продуктивность посевов. По экспериментальным данным (всего 18 повторностей) проведены корреляционный и регрессионный анализы зависимости урожая Y озимой ржи от следующих факторов: числа предпосевных обработок n , количества комков N на 1 м^2 подготовленной под посев почвы, глубины заделки семян B и ее среднего квадратического отклонения S_B .

Среди выделенных факторов в наибольшей степени на урожай влияла глубина заделки семян и ее среднее квадратическое отклонение. В значительно меньшей степени урожай зависел от количества проведенных предпосевных обработок. Влияние числа комков N в пределах от 5 до 40 шт./ м^2 на урожай практически отсутствовало. Общий вид уравнения регрессии:

$$Y = 3,034 + 4,112n - 0,045N + 0,318B + 0,333S_B;$$

$$R_{\text{мин}} = 0,719.$$

Проверка по критерию Фишера показала адекватность уравнения в целом, однако статистически значимым фактором является лишь глубина заделки семян. Таким образом, учитываемые факторы, за исключением B , в исследованных пределах нестабильности не служат определяющими по отношению к урожайности.

Таблица 1. Матрица корреляции характеристик предпосевной обработки и посева с урожаем озимой ржи

Факторы	n	N	B	S_B	Y
n , шт.	1				
N , шт./ м^2	-0,369	1			
B , мм	-0,317	0,266	1		
S_B , мм	-0,219	0,251	0,574	1	
Y , ц/га	0,208	-0,008	0,575	0,411	1

Учитывая возможность влияния на урожай неравномерности глубины посева, проведен регрессионный анализ зависимости среднего квадратического отклонения глубины заделки семян S_B от количества предпосевных обработок n , числа комков на 1 м^2 поля перед посевом N , глубины заделки семян B . Число комков на поверхности поля, подготовленного под посев, на неравномерность глубины заделки семян влияет незначительно ($R=0,251$). Среди факторов статистически значима только глубина заделки (рис.3), а уравнение регрессии имеет вид:

$$S_B = 8,15 + 0,132B; R_{\text{мин}} = 0,574.$$

В результате комплекса технологических мероприятий, имеющих определенную нестабильность в различных почвенно-климатических условиях, создаются условия для неравномерности роста растений. Рассмотрим степень взаимовлияния факторов, характеризующих нестабильность внешних условий роста растений (год проведения опыта G), неравномерность роста растений, оцениваемую показателями среднего квадратического отклонения высоты растений S_H , длины колоса S_L и результирующего показателя – урожайности Y . Коэффициенты парной корреляции урожайности с перечисленными факторами составили соответственно 0,661, -0,282 и 0,210, что говорит о существенном влиянии на урожай обобщенного фактора агроклиматических и агротехнических условий – года проведения опыта. Для среднего квадратического отклонения длины колоса S_L также характерна тенденция зависимости от года возделывания – коэффициент парной корреляции равен 0,436. Взаимосвязь неравномерности высоты растений и длины колоса S_H и S_L характеризуется коэффициентом парной корреляции 0,374. Значимого влияния неравномерности высоты растений S_H на урожай не прослеживается. Для остальных факторов коэффициенты парной корреляции не превышают 0,4, что указывает на несущественность связи.

Коэффициент множественной корреляции зависимости урожайности Y от года возделывания и факторов S_H и S_L составил 0,716. Проверка по критерию Фишера показала адекватность полученного уравнения регрессии. Свободный член уравнения регрессии равен 24,71, коэффициенты при переменных G , S_H и S_L равны соответственно 2,520, -0,059 и 0,114, однако значимыми по t -критерию оказались только год опыта G и среднее квадратическое отклонение высоты растений S_H .

Таблица 2. Статистические характеристики показателей

Показатель	Энергоемкость деформации почвы, Дж/см ³			Высота растений, см			Количество бобов на растении, шт.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Номер поля									
Среднее	105,5	115,4	114,3	76,5	79,0	75,0	18,5	22,2	20,8
Дисперсия	544,7	736,9	479,2	70,9	71,5	62,9	38,2	62,6	39,0
Вариация, %	22,1	23,5	19,2	11,0	10,7	10,6	33,4	35,7	30,0
Асимметрия (по Важенину)	0,225 слабая	0,158 слабая	0,076 слабая	-0,157 слабая	-0,409 средняя	0,396 средняя	0,421 средняя	0,918 сильная	0,414 средняя
Экссесс (по Важенину)	-0,147 слабый	-0,685 слабый	-0,471 слабый	0,057 слабый	1,589 средний	-0,090 слабый	-0,115 слабый	1,803 средний	0,330 слабый

Представляет интерес, сохраняется ли влияние почвенных условий на растения ко времени их созревания. Это изучалось на трех полях люпина со 100 замрами на каждом. Контролируемые показатели – энергоемкость деформации верхнего слоя почвы возле растения динамическим твердомером (удельная энергия удара 10 Дж/см², площадь плоского плунжера 1 см²), высота растений II и количество бобов на растении п. Построенные гистограммы всех трех параметров близки к нормальному распределению с проявляющейся правой асимметрией (табл.2). В полученной матрице корреляций не отмечено существенных связей между изучаемыми показателями. Парные коэффициенты кор-

реляции факторов не превышают 0,1. Таким образом, к моменту созревания растений энергоемкость деформации верхнего слоя почвы стабилизируется и не связана с характеристиками индивидуальной продуктивности растений.

Литература

1. Кононов А.М. Предпосевное разуплотнение почвы: Учеб. пособие. - Минск: Уралджай, 1993. 104 с.
2. Ключков А.В. Предпосылки к исследованию операций предпосевной обработки почвы // Совершенствование комбинированных почвообрабатывающих и посевных машин. Сб. науч. тр./ БСХА – Горки, 1984. – Вып. 115. – С.12–22.