

УДК 631/635. 631.445.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В АГРОЭКОСИСТЕМАХ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ

<sup>1</sup>Зинченко С.И., <sup>2</sup>Рябов Д.А.

<sup>1</sup>Владимирский НИИСХ, Суздаль, e-mail: zinchenkosergei@mail.ru;

<sup>2</sup>Ивановская ГСХА имени академика Д.К. Беляева, Иваново

Исследования на серой лесной почве Ополной зоны показали, что в агроэкосистемах корни озимой ржи, яровой пшеницы, ячменя и овса проникают в пахотные и подпахотные слои серой лесной почвы на глубину не менее 150 см. Масса корневой системы зависит от плотности сложения формируемой приёмами основной обработки почвы в пахотном слое в период после посева культур. Основная масса корневой системы озимой ржи находится в слое 0–50 см – 73,0 – 78,0%. В слое 0–100 см – 91,0–94,5%, 100–150 см – 4,0–8,0%. У яровой пшеницы в верхнем полуметровом слое расположено 58,0–69,0% массы корней. В слое 0–100 см – 88,0–90,0%, 100–150 см – 10,0–11,0%. Расположение корней ячменя и овса в слое 0–50 см было на уровне 51,7–77,4%. В слое 0–100 см их содержание было на уровне – 70,0–90,7%, а в слое 100–150 см – 10,8–19,7% от общей их массы. Высокая масса корней у озимой ржи, ярового ячменя и овса формируется в агроэкосистемах с ежегодной отвальной вспашкой на глубину 20–22 см, а у яровой пшеницы – с ежегодной отвальной вспашкой и плоскорезной обработкой на 20–22 см. Наименьшая масса корневой системы сельскохозяйственных культур в изучаемом профиле отмечается на вариантах с обработкой на 6–8 см независимо от глубины предшествующей основной обработки. Это обусловлено более высокой плотностью сложения на этом варианте в пахотном слое (0–20 см) в отличие от остальных вариантов в период после посева культур.

**Ключевые слова:** агроэкосистема, серая лесная почва, приемы основной обработки, плотность сложения, корневая система, озимая рожь, яровая пшеница, яровой ячмень, яровой овес

## FEATURES OF FORMATION OF ROOT SYSTEM OF GRAIN CROPS IN AGROECOSYSTEMS OF THE GREY FOREST SOIL

<sup>1</sup>Zinchenko S.I., <sup>2</sup>Ryabov D.A.

<sup>1</sup>Vladimir Agricultural Research Institute, Suzdal, e-mail: zinchenkosergei@mail.ru;

<sup>2</sup>D.K. BelyaevaIvanovskaya State Agricultural Academy, Ivanovo

Researches on the gray forest soil of the Opolny zone showed that in agroecosystems roots of a winter rye, a spring-sown field, barley and oats get into arable and subarable layers of the gray forest soil on depth not less than 150 cm. The mass of root system depends on density of addition of the main processing of the soil formed by receptions in an arable layer during the period after crops of cultures. The bulk of root system of a winter rye is in a layer of 0–50 cm – 73,0 – 78,0%. In a layer of 0–100 cm – 91,0–94,5%, 100–150 cm – 4,0–8,0%. At a spring-sown field in the top half-meter layer 58,0–69,0% of mass of roots are located. In a layer of 0–100 cm – 88,0–90,01%, 100–150 cm – 10,0–11,0%. The arrangement of roots of barley and oats in a layer of 0–50 cm was at the level of 51,7–77,4%. In a layer of 0–100 cm their contents was up to standard – 70,0–90,7%, and in a layer of 100–150 cm – 10,8–19,7% of their general weight. The high mass of roots at a winter rye, summer barley and oats is formed in agroecosystems with annual dump plowing on depth of 20–22 cm, and at a spring-sown field – with annual dump plowing and ploskorezny processing on 20–22 cm. The smallest mass of root system of crops in a studied profile is noted on options with processing on 6–8 cm isn't dependent on depth of previous main processing. It is caused by higher density of addition on this option in an arable layer (0–20 cm) unlike other options during the period after crops of cultures.

**Keywords:** agroecosystem, gray forest soil, methods of the main processing, addition density, root system, winter рожь, spring-sown field, summer barley, summer oats

Корень и корневые системы относятся к основным вегетативным органам растений. Они отличаются довольно сложным строением и как часть целостной системы растительного организма находятся в тесной взаимосвязи с наземными органами растений [8]. Корневая система не только снабжает растение водой и питательными веществами, но в корнях происходят процессы образования сложных органических веществ из минеральных составляющих (N, P, K) и ряд других биохимических превращений [5, 8]. В связи с этим корневая система является одним из индикаторов на различные по интенсивности и продолжительности антропогенные нагрузки в агроэкосистеме. Для предотвращения воз-

можности необратимых изменений важно предвидеть результат этих воздействий, основываясь на реакции развития корневой системы растений.

Чтобы оценить эффективность применяемых технологий при возделывании зерновых культур – озимой ржи, яровой пшеницы, ярового ячменя и овса, необходимо учитывать реакцию корневой системы на антропогенное воздействие, в частности на применяемые приёмы основной обработки серой лесной почвы под эти культуры. Одним из факторов ответной реакции на агрогенное воздействие является формирование массы корневой системы сельскохозяйственных растений и проникновение её вглубь пахотных и подпахотных горизонтов почвы.

Это особенно актуально для Опольной зоны, так как в отдельные годы абиотические условия в первой половине лета обуславливают пересыхание верхних слоёв почвы, а во вторую – их увлажнение [6]. Поэтому только интенсивность роста и беспрепятственное проникновение корневой системы в глубь подпахотных слоёв может надёжно гарантировать растениям снабжение их водой и питательными веществами в неблагоприятные погодные периоды.

**Целью** наших исследований стала необходимость изучить влияние приёмов основной обработки на формирование массы и распространение корневой системы озимой ржи, яровой пшеницы, ярового ячменя и овса в пахотном и подпахотных горизонтах серой лесной почвы.

#### Материалы и методы исследования

На серой лесной среднесуглинистой почве во Владимирском НИИСХ (г. Суздаль) в 1986 году был заложен полевой многолетний опыт по изучению приёмов основной обработки в зерноотрадном севообороте (овес + мн. травы (клевер + тимофеевка) – мн. травы 1 г. пользования – мн. травы 2 г. пользования – озимая рожь – яровая пшеница – ячмень). С 2009 по 2012 гг. исследования проводили на следующих вариантах: 1 – ежегодная отвальная вспашка на глубину 20–22 см; 2 – ежегодная плоскорезная обработка на глубину 6–8 см; 3 – ежегодная плоскорезная обработка на глубину 20–22 см; 4 – ярусная вспашка на глубину 28–30 см под озимую рожь, под остальные культуры в севообороте – плоскорезная обработка на глубину 6–8 см.

Изучение распространения корневой системы озимой ржи (Память Кондратенко), яровой пшеницы (МиС), ярового ячменя (Зазерский 85) и овса (Астор) проводили с использованием метода «бура» на глу-

бину до 150 см [5]. Для характеристики динамики плотности почвы в слое 0–20 см использовали метод цилиндров по С.И. Долгову [1].

#### Результаты исследований и их обсуждение

Запасы продуктивной влаги на всех изучаемых вариантах в пахотном слое (0–20 см) в период посева озимой ржи отмечались в пределах от 20,3 до 24,2 мм, яровой пшеницы – 37,0–41,2 мм, ярового ячменя – 33,6–37,7 мм и овса – 38,6–42,7 мм, что обеспечивало дружные всходы изучаемых культур. Приёмы основной обработки и их системы при высоком увлажнении посевного слоя почвы оказали одинаковое влияние на густоту всходов зерновых культур.

Плотность сложения является одним из важных показателей физического состояния пахотного слоя, регулируемых обработкой почвы. Обработывая почву, мы стремимся за счёт её рыхления сформировать оптимальные показатели сложения для произрастания культурных растений, что в свою очередь оказывает влияние не только на водный, воздушный, тепловой режимы, биологическую активность но и в конечном итоге на развитие и проникновение корневой системы в пахотные и под пахотные слои почвы [2, 3].

В начальный период развития озимой ржи низкие показатели плотности сложения формируются в агроэкосистемах с гомогенным (отвальная вспашка на 20–22 см) и гетерогенным (ярусная вспашка на 28–30 см) строением пахотного слоя – 1,24 и 1,25 г/см<sup>3</sup> (табл. 1).

**Таблица 1**

Влияние приёмов основной обработки в зерноотрадном севообороте на плотность сложения почвы в слое 0–20 см, г/см<sup>3</sup>

Вариант	Культура севооборота							
	озимая рожь		яровая пшеница		ячмень		овёс	
	после посева	колошение	после посева	колошение	после посева	колошение	после посева	колошение
1	1,24	1,32	1,30	1,39	1,25	1,35	1,21	1,35
2	1,34	1,30	1,35	1,37	1,37	1,40	1,28	1,48
3	1,32	1,32	1,33	1,39	1,29	1,30	1,18	1,33
4	1,25	1,24	1,35	1,37	1,31	1,51	1,21	1,37

На вариантах с безотвальной обработкой она была значительно выше – 1,32–1,34 г/см<sup>3</sup>. В этот период плотность сложения почвы под посевами озимой ржи зависела от приёма основной обработки и увеличивалась на вариантах в следующем порядке 1 → 4 → 3 → 2. Наиболее высокие её по-

казатели отмечались на варианте с ежегодной безотвальной обработкой на 6–8 см – 1,34 г/см<sup>3</sup>. К колошению культуры пахотный слой активно уплотняется на ежегодной отвальной вспашке на 20–22 см и достигает в этот период уровня плотности сложения на вариантах с безотвальной обработкой.

После посева яровой пшеницы плотность сложения почвы на вариантах опыта увеличивалась в следующем порядке – 1 → 3 → 4 → 2. Максимальная плотность, как и на озимой ржи, закономерно формировалась на вариантах с безотвальной обработкой на 6–8 см, независимо от глубины предшествующей обработки. Более низкие показатели плотности отмечаются на варианте с гомогенным строением пахотного слоя (ежегодная отвальная вспашка на 20–22 см) – 1,30 г/см<sup>3</sup>. К колошению культуры плотность на вариантах опыта увеличивается и достигает одного уровня независимо от приёма и глубины основной обработки.

Появление всходов и развитие растений ячменя и овса в начальный период происходило в условиях, когда уровень плотности сложения пахотного слоя находился в пределах 1,18–1,37 г/см<sup>3</sup>. Низкие показатели, как и под предыдущими культурами, отмечены на варианте с гомогенным строением пахотного слоя – ежегодной отвальной вспашке на 20–22 см – 1,21–1,25 г/см<sup>3</sup>. Высокие показатели плотности в этот пе-

риод за счёт минимального воздействия на почву формировались на варианте с ежегодной обработкой на глубину 6–8 см. Под ячменём плотность сложения пахотного слоя по вариантам увеличивалась в следующем порядке 1 → 3 → 4 → 2, под овсом – 3 → 1 → 4 → 2. К колошению культур плотность сложения на всех вариантах закономерно увеличивалась. Максимальное уплотнение почвы – 1,37–1,51 г/см<sup>3</sup> – отмечалось на вариантах с безотвальной обработкой на 6–8 см независимо от глубины предшествующей обработки.

Изучение развития корневой системы зерновых культур в сложившихся условиях проводили в периоды, когда прекращался её прирост или он был ничтожен. Так, прирост корневой системы озимой ржи прекращается или становится незначительным в период цветения-созревания культуры [7]. Проведённые исследования показали, что корневая система озимой ржи во всех агроэкосистемах проникла на глубину отбора почвенных образцов до 150 см (рис. 1).

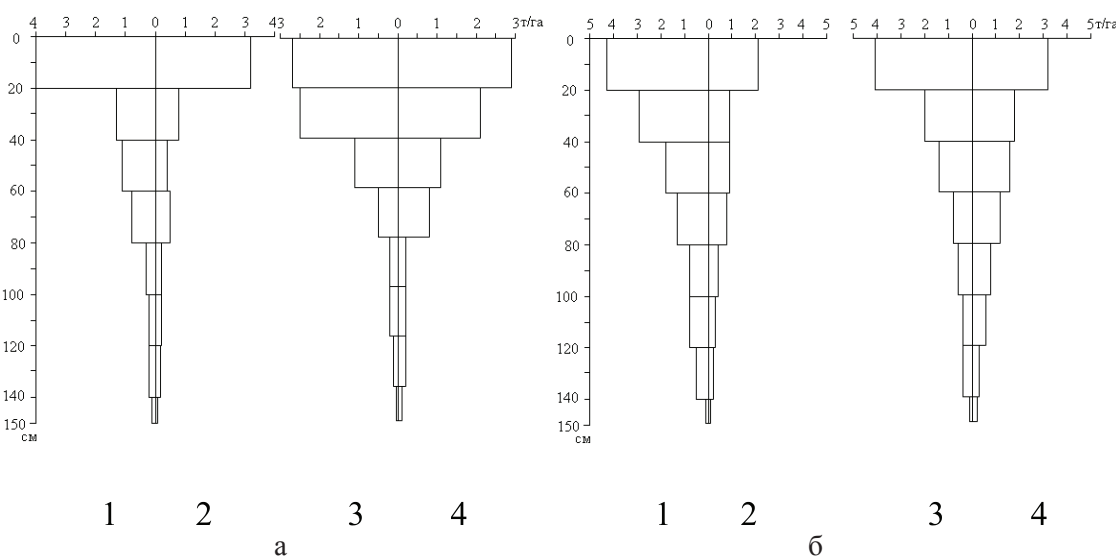


Рис. 1. Распределение корневой системы в профиле серой лесной почвы:  
а – озимая рожь; б – яровая пшеница, г/м<sup>2</sup>:

1 – ежегодная отвальная вспашка на 20–22 см (контроль); 2 – ежегодная плоскорезная обработка на 6–8 см; 3 – ежегодная плоскорезная обработка на 20–22 см; 4 – ярусная вспашка под озимую рожь на 28–30 см, под остальные культуры плоскорезная обработка на 6–8 см

Выявлено, что распределение корней по слоям и их масса зависели от плотности сложения пахотного слоя, формируемой приёмами основной обработки почвы в период после посева. Это подтверждается коэффициентом корреляции между плотностью сложения в слое 0–20 см в этот период и массой корней озимой ржи в изучаемом профиле, который составил  $r = -0,91$ . На варианте с рыхлением

на 6–8 см из-за высокой плотности сложения пахотного слоя основная масса корней – 3,2 т/га или 57,0% от общей её массы была сосредоточена в слое 0–20 см (табл. 1). При безотвальной обработке и отвальной вспашке на глубину 20–22 см эти показатели составили – 2,7 и 4,0 т/га, а по отношению к общей массе корней их в этом слое было меньше – 36,0 и 50,0% соответственно.

Таблица 2

Распределение корневой системы зерновых культур в зависимости от приёма основной обработки

Вариант	Слой, см	Озимая рожь		Яровая пшеница		Ячмень		Овёс	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%
1	0–20	4,0	50,0	4,3	34,0	4,2	32,8	2,3	26,9
	0–50	5,9	73,0	8,1	65,0	7,7	60,2	4,6	53,9
	0–100	7,4	92,0	11,2	89,4	11,2	87,5	7,0	82,0
	100–150	0,6	7,0	1,3	10,6	1,6	12,5	1,6	18,7
2	0–20	3,2	57,0	2,1	36,0	3,0	36,9	2,6	32,0
	0–50	4,1	73,0	3,4	58,0	5,0	61,5	4,2	51,7
	0–100	5,1	91,0	5,2	89,0	7,3	89,8	6,5	80,0
	100–150	0,4	8,0	0,6	10,0	0,9	10,8	1,6	19,7
3	0–20	2,7	36,0	4,1	41,0	4,2	39,2	2,3	21,3
	0–50	5,7	78,0	6,9	69,0	6,4	59,8	6,3	58,3
	0–100	6,9	94,5	8,9	90,0	9,2	86,0	8,8	81,5
	100–150	0,3	4,0	1,0	10,0	1,5	14,0	2,0	18,5
4	0–20	2,9	38,0	3,2	32,0	3,1	34,4	1,5	33,2
	0–50	5,7	75,0	5,9	60,0	5,6	62,2	3,5	77,4
	0–100	7,1	93,0	8,6	88,0	7,9	87,8	4,1	90,7
	100–150	0,5	6,0	1,1	11,0	1,1	12,2	0,5	11,1

Исследования показали, что основная масса корней озимой ржи на изучаемых вариантах сосредоточена в слое 0–50 см – 73,0–78,0%. В слое 0–100 см её количество составляет – 5,1–7,4 т/га (91,0–94,5%). До глубины 100–150 см проникает только 4,0–8,0%. В слое 140–150 см корневые остатки составляют – 0,03–0,13 т/га (0,4–1,6%). При ярусной обработке на 28–30 см за счёт гетерогенного расположения слоёв почвы корневая система озимой ржи в слое 0–80 см располагается более равномерно в отличие от других вариантов. Масса корней озимой ржи в изучаемом полутораметровом слое по вариантам опыта возрастает в порядке снижения плотности сложения в пахотном слое в период посева в следующем порядке вариантов – 2 → 3 → 4 → 1.

Корневая система яровой пшеницы, как и у озимой ржи, представлена зародышевыми и узловыми корнями [4]. Размещение корневой системы по горизонтам, как отмечает ряд исследователей, зависит от типа почвы. На подзолистых почвах Дальнего Востока в слое 0–10 см сосредотачивается до 85% веса всех корней. На чернозёмных почвах более увлажнённых районов до 20–40% корней размещается в пахотном слое [4]. На южных карбонатных чернозёмах глубина проникновения зародышевых корней зависела не от приёма и глубины основной обработки, а от глубины промачивания почвенного профиля перед посевом яровой пшеницы [2].

Изучение корневой системы яровой пшеницы в условиях Ополья показало, что

её развитие имеет свои особенности в отличие от озимой ржи (рис. 1, в). В верхнем 0–20 см слое объём корней составляет 2,1–4,1 т/га или 36,0% – 41,0% от общей массы корневой системы. В слое 0–50 см их масса находится на уровне 3,4–8,1 т/га и, в отличие от озимой ржи, содержание её составило 58,0–69,0%. Наиболее высокая масса корней в этом слое отмечается на вариантах с ежегодной плоскорезной и отвальной обработкой на 20–22 см – 6,9–8,1 т/га·г/см<sup>2</sup>. В слое 0–100 см эта величина по вариантам опыта составляет – 5,2–11,2 т/га, а в процентном отношении от 88,0 до 90,0% от общей массы корней.

Масса корневой системы яровой пшеницы на вариантах опыта, как и озимой ржи, обратно пропорциональна плотности сложения пахотного слоя в период после посева: 2 → 4 → 3 → 1. Эту зависимость подтверждает коэффициент корреляции между массой корней в слое 0–150 см и плотностью сложения в слое 0–20 см после посева  $r = -0,87$ . Наиболее высокая масса корневой системы отмечается на вариантах с ежегодной плоскорезной обработкой и отвальной вспашкой на глубину 20–22 см (9,9–12,4 т/га).

У ячменя, как и у других колосовых зерновых культур, корневая система мочковатая и состоит из зародышевых и стеблевых или вторичных корней. Распространение корневой системы в изучаемом слое в период колошения так же, как и у предыдущих культур, определялось плотностью сложения слоя 0–20 см в период после посева, это

подтверждает коэффициент корреляции, который составил  $r = -0,92$  (рис. 2). Масса корней ячменя также увеличивается по мере снижения плотности сложения пахотного слоя на вариантах опыта в период по-

сле посева –  $2 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 1$  (рис. 2, а). На варианте с периодической ярусной вспашкой она (9,0 т/га) была на уровне агросистемы с ежегодной плоскорезной обработкой на 6–8 см (8,1 т/га).

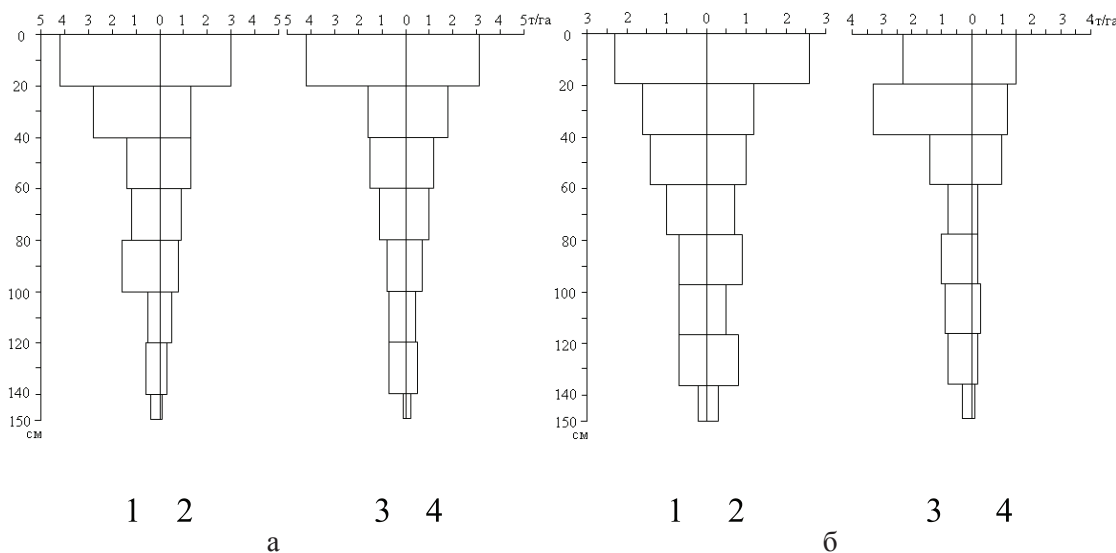


Рис. 2. Распределение корневой системы в профиле серой лесной почвы:

а – ячмень, б – овёс, г/м<sup>2</sup>:

1 – ежегодная отвальная вспашка на 20–22 см (контроль); 2 – ежегодная плоскорезная обработка на 6–8 см; 3 – ежегодная плоскорезная обработка на 20–22 см; 4 – ярусная вспашка под озимую рожь на 28–30 см, под остальные культуры плоскорезная обработка на 6–8 см

Распределение корней ярового ячменя по слоям происходило следующим образом. В слое 0–20 см она составила 3,0–4,2 т/га (32,8–39,2%). Максимальные значения её отмечались на вариантах с ежегодной отвальной и безотвальной обработкой 20–22 см соответственно, как 4,2 и 4,2 т/га г/см<sup>2</sup>. В слое 0–50 см масса корней на изучаемых вариантах составила 59,8–62,2%, а в слое 0–100 см – 7,3–11,2 т/га (86,0–89,8%). С глубиной масса корневой системы уменьшалась и в слое 100–150 см была на уровне – 0,9–1,6 т/га.

При распространении корневой системы овса сохраняются те же закономерности, что и у предшествующих культур. Особенностью развития корневой системы овса можно считать резкое снижение содержания её массы на варианте с периодической ярусной вспашкой, особенно в слоях почвы, расположенных ниже 60 см (рис. 2, б). На остальных вариантах она располагается более равномерно на глубину до 140 см. В связи с высокой плотностью сложения в пахотном слое в период посева овса на вариантах с плоскорезной обработки на 6–8 см в слое 0–20 см было сосредоточено от 1,5 до 2,6 т/га (32,0–33,2%) корней, а в слое 0–30 см около половины массы

корней растений – 40,5–46,9%. На ежегодной безотвальной обработке и отвальной вспашке на глубину 20–22 см в этих слоях соответственно сосредоточено, как 21,3 и 40,8, 21,9 и 36,9%. Основная масса корневой системы овса в изучаемом профиле расположена в слое 0–50 см – 51,7–77,4%. В слое 0–100 см её содержание составляет – 80,0–90,7%, а в слое 100–150 см – 11,1–19,7%.

Масса корневой системы в изучаемом профиле почвы уменьшается от пахотного слоя к слою 90–100 см до 1,3–8,9%, затем происходит дальнейшее снижение её массы и на глубине в 150 см её содержание соответствует – 1,1–3,7%. В изучаемом полутораметровом слое масса корней на изучаемых вариантах зависела от плотности сложения в пахотном слое в период после посева. Она увеличивалась по вариантам опыта по мере снижения плотности в этот период в следующем порядке –  $4 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 3$ .

### Заключение

Проведённые исследования на серых лесных почвах Опольной зоны показали, что глубина проникновения корней озимой

ржи, яровой пшеницы, ячменя и овса в пахотные и подпахотные слои серой лесной почвы составляет не менее 150 см.

Формирование массы корневой системы в пахотных и подпахотных слоях агроэкосистем зависит от плотности сложения почвы в пахотном слое в период после посева культуры.

Наиболее высокая масса корневой системы у озимой ржи, ярового ячменя и овса формируется в агроэкосистеме с ежегодной отвальной вспашкой на 20–22 см, у яровой пшеницы – на вариантах с ежегодной отвальной вспашкой и плоскорезной обработкой на 20–22 см.

#### Список литературы

1. Водюнина, А.Ф. Методы исследований физических свойств почвы / А.Ф. Водюнина, З.А. Корчагина. – М., 1986. – 416 с.
2. Зинченко С.И. Основы обработки черноземов. – М., 2006. – С. 203–219.
3. Зинченко М.К. Влияние вида угодий и приёмов основной обработки на биологическую активность серой лесной почвы / М.К. Зинченко, Л.Г. Стоянова, А.А. Безменко, И.М. Шукин // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 4. – С. 14–17.
4. Иванов П.К. Яровая пшеница. – М., 1971. – 328 с.
5. Красильников П.К. Методика полевого изучения подземных частей растений. – Л., 1983. – С. 127–132.
6. Научные основы систем земледелия Владимирской области / под общ. ред. И.В. Бирюкова, С.И. Зинченко. – Владимир, 2010. – 308 с.
7. Тиунов А.Н. Рожь / А.Н. Тиунов, К.А. Глухих, О.А. Хорькова, А.И. Шернин. – М., 1972. – 352 с.
8. Устименко А.С. Корневые системы и продуктивность сельскохозяйственных растений / А.С. Устименко,

П.В. Данильчук, А.Т. Гвоздикова; под ред. Н.Г. Горднего. – Киев, 1975. – 368 с.

#### References

1. Vodyunina A.F. Methods of researches of physical properties of soil / A.F. Vodyunina, Z.A. Korchagin. M., 1986. 416 p.
2. Zinchenko S.I. Bases of processing of chernozems / S.I. Zinchenko. M., 2006. pp. 203–219.
3. Zinchenko M.K. Influence of a type of grounds and methods of the main processing on biological activity of the gray forest soil / M.K. Zinchenko, L.G. Stoyanov, A.A. Bezmenko, I.M. Schukin // Agrarian and industrial complex Achievements of science and technology. 2013. no. 4. pp. 14–17.
4. Ivanov P.K. Yarovaya of the field / Item K. Ivanov. M., 1971. 328 p.
5. Krasilnikov P.K. Metodika of field studying of underground parts of plants. L. 1983. pp. 127–132.
6. Scientific bases of systems of agriculture of the Vladimir region / I.V. Biryukov, S. I. Zinchenko. Vladimir, 2010. 308 p.
7. Tiunov A.N. Rozh / A.N. Tiunov, K.A., O.A. Horkova, A.I. Shernin. M., 1972. 352 p.
8. Ustimenko A.S. Root systems and efficiency of agricultural plants / A.S. Ustimenko, P.V. Danilchuk, A.T. Gvozdikovskaya. Under the editorship of N.G. Gorodnego. Kiev. 1975. 368 p.

#### Рецензенты:

Мищенко Н.В., д.б.н., профессор кафедры биологии и экологии, ГОУ ВПО «Владимирский ГУ им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир;

Шеин Е.В., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой физики и мелиорации почв факультета почвоведения, МГУ им. М.В. Ломоносова Министерства образования и науки РФ, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 28.05.2014.