

- Kashin V.K., Ivanov G.M. Tsink v pochvakh Zabaykal'ya [Zinc in soils of the Transbaikal Region] // *Pochvovedeniye*, 1999, no. 3, pp. 318–325.
- Kuznetsov V.V., Dmitriyeva G.A. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology]: Uchebn. izd. 2-ye, pererab. i dop. Moscow: Vyssh. Shk., 2006, 742 p.
- Alloway B. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Second edition, published by IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France, 2008, 155 p.
- Angelova V.R., Akova V.I., Artinova N.S., Ivanov K.I. The effect of organic a mendments on soil chemical characteristics // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2013, vol. 19, no. 5, pp. 958–971.
- Arunachalam P., Kannan P., Prabukumar G., Govindaraj M. Zinc deficiency in Indian soils with special focus to enrich zinc in peanut // *African Journal of Agricultural Research*, 2013, vol. 8 (50), pp. 6681–6688.
- Barman H., Das S.K., Roy A. Zinc in Soil Environment for Plant Health and Management Strategy // *Universal Journal of Agricultural Research*, 2018, vol. 6 (5), pp. 149–154.
- Hafeez B., Khanif Y.M., Saleem M. Role of Zinc in Plant Nutrition – A Review // *American Journal of Experimental Agriculture*, 2013, vol. 3 (2), pp. 374–391.
- Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th edition. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2010, 548 p.
- Kumar V., Kumar A., Singh S.K., Tripathi S.K., Kumar D., Singh R., Dwivedi S. Zinc Deficiency and Its Effect on the Brain: An Update // *International Journal of Molecular Genetics and Gene Therapy*, 2016, vol. 1.1, pp. 1–7.
- Prasad A.S. Zinc in humans: health disorders and therapeutic effect // *Микроэлементы в медицине*, 2014, no. 15 (1), pp. 3–12.
- Sadeghzadeh B. A review of zinc nutrition and plant breeding // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2013, vol. 13(4), pp. 905–927.
- Soil Fertility Handbook / Munroe J., Brown Ch., Kessel Ch., Verhallen A., Lauzon J., O'Halloran I., Bruulsema T., Cowan D. Publication 611, 3rd edition. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (OMAFRA), 2018, 256 p.
- Soil Fertility and Fertilizer Management Strategy for Myanmar. International fertilizer development center, USA, 2018, 79 p.

УДК 631.51.001

DOI:10.25695/AGRPH.2021.02.03

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ СЛОЖЕНИЯ ПОЧВЫ В ЛЮБОЙ ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ

А. А. Конищев, И. И. Гарифуллин

*Ивановский НИИСХ – филиал Верхневолжского ФАНЦ
153506, Ивановская обл., Ивановский р-н, с. Богородское, ул. Центральная, 2
E-mail aleksei.konishev2010@yandex.ru*

Поступила в редакцию 15 февраля 2021 г., принята к печати 24 мая 2021 г.

Используемые в России и странах бывшего СССР значения «оптимальной плотности» почвы определены для плотности, усредненной по всей глубине пахотного слоя на момент готовности почвы к посеву. Принятые при их определении допущения и ограничения к настоящему времени превратились в сдерживающий фактор на пути усовершенствования технологий обработки почвы, в частности при переходе к минимизированным обработкам. Предложена методика расчета величины «оптимальной плотности» для любой интересующей исследователя фазы развития растения, а также любого по глубине залегания слоя и способа обработки. Методика предусматривает следующий порядок действий: получение экспериментальных данных о зависимости урожайности исследуемой культуры от плотности в интересующем слое почвы в изучаемую фазу развития; аппроксимация полученных данных полиномом второй степени; исследование полученной функции на экстремум. Точка максимума функции будет являться искомой величиной. Проверка полученных данных осуществляется при помощи методов математической статистики. Предлагаемая методика апробирована на посевах яровых зерновых, что позволило установить, что с математической точки зрения урожайность достоверно зависит от плотности почвы в слое, расположенном глубже уровня размещения семян при посеве, в период вегетации растений «кущение – выход в трубку». Методика позволяет установить величину плотности, обеспечивающую максимальную урожайность возделываемой культуры в условиях агротехнических опытов. Полученные результаты могут использоваться для разработки новых технологий или объективной оценки влияния плотности сложения почвы на урожайность возделываемых культур при применении известных технологий.

Ключевые слова: плотность почвы, влажность почвы, глубина залегания слоя, период вегетации, урожайность яровой пшеницы.

METHOD FOR CALCULATING OPTIMAL SOIL DENSITY VALUE IN ANY PERIOD OF VEGETATION

A. A. Konishchev, I. I. Garifullin

*Ivanovo Research Institute of Agriculture – branch of the Verkhnevolzhskiy Federal Agricultural Research Center, 2, Tsentralnaya St., Bogorodskoye village, Ivanovskiy district, Ivanovo region, 153506
E-mail aleksei.konishchev2010@yandex.ru*

The values of the soil «optimal density», used in Russia and the countries of the former USSR, are determined for the density averaged over the entire depth of the arable layer at the moment when the soil is ready for sowing. The assumptions and limitations adopted in their definition have now turned into a limiting factor on the way to improve soil cultivation technologies, in particular, in the transition to minimum tillage. The paper proposes a method for calculating the value of «optimal density» for any plant development phase of interest, as well as for any depth of the soil layer and treatment. The method requires the following procedure: obtaining experimental data on the relationship between the studied crop yield and the bulk density in the soil layer of interest in the studied phase of development; approximation of the obtained data by a polynomial of the second degree; study of the obtained function for an extremum. The highest point of the function will be the desired value. The obtained data are checked using the methods of mathematical statistics. The proposed method was tested on spring grain crops, and it was established that from a mathematical point of view, the yield significantly depended on the soil bulk density in the layer located deeper than the placement of seeds, at the «tillering – booting» phase of plant development. The method allows to set the density value that ensures the maximum yield of the cultivated crop in the conditions of experiments. The obtained results can be used to develop new technologies or to assess the impact of the soil bulk density on the crop yields when using certain technologies.

Keywords: soil density, soil moisture, depth of the soil layer, growing season, yield of spring wheat.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при разработке технологий обработки почвы для характеристики состояния пахотного слоя используется величина «плотность сложения почвы». При этом оценка строится на сравнении величины «оптимальной плотности» с актуальной плотностью, то есть проводится по схеме «соответствует – не соответствует». К другим выводам общепринятая схема использования величины «оптимальной плотности» не позволяет прийти.

Важным моментом для практического использования является методика определения величины «оптимальной плотности» сложения почвы. Публикации, в которых описывается данная методика, систематизировал В. А. Русанов (1998). Он установил, что все исследователи для определения величины «оптимальной плотности» использовали метод сосудов (конкретных или формируемых в полевых условиях – «сосуды без дна»). В обоих случаях в сосуды с известным объемом закладывалась почва определенной массы (с целью определения конкретной начальной плотности почвы) и высевалась изучаемая культура. Развитие культуры происходило в условиях искусственного или естественного увлажнения. То есть во всех исследованиях изначально (до момента начала развития растений) имелся набор сосудов с искусственно сформированным объемом и заданной величиной плотности почвы, а в конце опытов — с известной величиной урожайности по сосудам. Плотность, обеспечившая максимальную урожайность, признавалась оптимальной.

При этом важно отметить, что сами исследователи, определявшие исходную величину оптимальной плотности сложения почвы (Ревут и др., 1962, 1971; Ильин, 1969), констатировали, что полученные ими величины являются оптимальными только для определенного периода времени (перед посевом культуры), поскольку в процессе вегетации

плотность почвы значительно изменяется. Более поздние исследования величины плотности сложения почвы, проведенные В. В. Медведевым (1990), подтвердили, что величина «оптимальной плотности» является «остро динамичной величиной», зависящей в том числе от периода вегетации и режима увлажнения.

Кроме того, величина «оптимальной плотности» определяется для всей толщины (глубины) пахотного слоя, в то время как в реальности плотность почвы существенно различается по слоям (Перфильев, Вьюшина, 2016; Волтерс и др., 2018 и т. д.). Практически при определении величины плотности почвы часто встречается ситуация, когда верхний слой почвы (0–10 см) имеет плотность ниже оптимальной, а нижние слои (10–20, 20–30 см) – больше оптимальной. Однако поскольку величина «оптимальной плотности» определена и во всех учебниках и справочниках представлена для усредненного слоя, то современные исследователи также усредняют величину плотности по всей толщине пахотного слоя. В результате такого усреднения получаемая величина плотности сложения почвы существенно отличается от реальной.

При разработке минимизированных технологий подготовки почвы к посеву (особенно при использовании прямого посева) возникла необходимость оценки плотности сложения почвы в период вегетации. Однако поскольку величина, с которой можно было бы сравнить актуальную плотность, не определялась, то по негласному соглашению в научных кругах величина оптимальной плотности на момент готовности почвы к посеву стала распространяться на всю вегетацию в целом, на несколько лет и даже на плотность почвы в севообороте.

В итоге сложилась ситуация, когда технически определить величину плотности сложения почвы в любом слое и в любой период вегетации при помощи методики, первоначально предложенной

Н. А. Качинским (1965) и впоследствии многократно растиражированной региональными вузами (Тириелец, Слюсарев, 2010; Корчагин и др., 2011 и т. д.), не представляет затруднений. Однако квалифицировать результаты проведенных измерений по влиянию на продуктивность растений не представляется возможным, так как величина оптимальной плотности для различных слоев почвы и периодов вегетации не определена.

Попытка связать величину плотности сложения почвы перед посевом культуры с величиной полученной урожайности приводит к отрицательному результату. Например, в табл. 1 представлены результаты определения плотности сложения почвы перед посевом за два года. Средняя плотность сложения почвы составила 1,248 и 1,250 г см⁻³, то есть начальная плотность почвы на обоих участках была практически одинаковой, а урожайность достоверно различалась на 14,8%.

Таблица 1. Величина урожайности яровой пшеницы на легкосуглинистой дерново-подзолистой почве при различном увлажнении в вегетационный период в зависимости от плотности сложения почвы перед посевом

ГТК = 2,65		ГТК = 2,05	
плотность в слое, см	урожайность, т га ⁻¹	плотность в слое, см	урожайность, т га ⁻¹
0–20 см – 1,248 г см ⁻³	3,243	0–20 см – 1,250 г см ⁻³	2,762

Именно отсутствие реального критерия оценки величины плотности сложения почвы в период вегетации вынуждает исследователей прибегать к искусственному (и не вполне достоверному) способу компенсации.

В итоге зависимость урожайности от плотности сложения почвы превращается в чисто формальный показатель, не позволяющий осуществлять дальнейшее усовершенствование технологий обработки, в то время как обработка почвы может оказывать непосредственное влияние на урожайность возделываемой культуры путем обеспечения оптимальной плотности почвы (Конищев, 2020).

Целью данного исследования является разработка методики расчета величины плотности сложения почвы, обеспечивающей максимальную урожайность возделываемой культуры (на примере яровой пшеницы). Предложенная методика фактически предназначена не для определения величины плотности почвы, а представляет собой способ трактовки результатов определения влияния плотности на продуктивность культуры, то есть позволяет установить величину плотности, при которой в данных конкретных условиях будет возможным получение максимальной урожайности.

Методика исходит из того, что при описании зависимости величины урожайности возделываемой культуры от плотности почвы большинство исследователей приходят к зависимости, описываемой квадратичной функцией, имеющей четко выраженный максимум. Для определения величины «оптимальной плотности» сложения почвы в любом слое в любой период вегетации и ее влияния на получаемую урожайность возделываемой культуры предложено использовать правила математики.

Последовательность действий следующая:

1. определяется квадратичная функция, описывающая зависимость урожайности от плотности почвы в исследуемом слое в изучаемую фазу развития растений;

2. находится первая производная данной функции;

3. путем приравнивания зависимости первой производной к нулю (по правилам исследования функции на экстремум) определяется величина плотности почвы, обеспечивающая максимальный урожай в конкретных условиях, то есть «оптимальная величина» плотности для конкретных условий;

4. достоверность полученных данных проверяется при помощи статистических методов.

Практически работа проводится на опытном полигоне, на котором перед посевом при помощи обработки формируются участки с различной плотностью почвы (также это могут быть участки с естественной неоднородностью плотности почвы).

В данной работе изучалась естественная неоднородность сложения почвы, которая определялась на участках площадью 25 м² (5×5 м). Пример подобного полигона представлен на рис. с указанием плотности почвы в слое 10–20 см. Каждое из приведенных значений является усредненной величиной по результатам четырех замеров. Аналогичные замеры проводились для слоя 0–10 см.

Далее из совокупности исследуемых участков выделяются участки с максимальной и минимальной величиной плотности почвы, а также участки, по возможности равномерно расположенные внутри выявленного диапазона. Всего должно быть не менее шести таких участков. Если планируется использовать минеральные удобрения, то число площадок увеличивается кратно количеству доз применяемых удобрений. При необходимости результаты обследования могут быть использованы для характеристики однородности сложения почвы на экспериментальном полигоне. Однако основной целью данной части работы в контексте решаемой задачи является выявление участков с различной плотностью почвы.

Агрофизическая и агрохимическая характеристики почвы полигона представлены в ранее опубликованной работе (Перфильев, 2017).

1,37	1,25	1,26	1,14	1,14	1,16
1,22	1,35	1,27	1,35	1,18	1,14
1,38	1,19	1,25	1,17	1,31	1,21
1,22	1,13	1,19	1,31	1,25	1,20
1,25	1,18	1,21	1,09	1,18	1,10
1,27	1,15	1,13	1,30	1,13	0,93
1,26	1,17	1,22	1,24	1,26	0,94
1,30	1,13	1,27	1,23	1,26	1,23
1,19	1,24	1,20	1,23	1,16	1,17
1,35	1,25	1,19	1,20	1,17	1,01
1,27	1,27	1,21	1,27	1,17	0,93
1,06	1,17	1,23	1,21	1,16	0,98
1,24	1,22	1,24	1,28	1,23	1,06
1,17	1,31	1,17	1,33	1,24	1,38
1,39	1,07	1,15	1,30	1,15	1,34

экспериментальная обработка
традиционная обработка

Рис. Пример распределения плотности почвы перед началом работ в слое ниже уровня заделки семян

Далее на полигоне проводятся плановые обработки почвы и посев изучаемой культуры. В процессе вегетации определение плотности сложения почвы проводится только на выделенных участках в изучаемых слоях в исследуемые фазы развития культуры.

После созревания вблизи точек измерения плотности почвы определяется биологическая урожайность изучаемой культуры. В итоге будет получен набор пар «плотность почвы-урожайность». Для установления достоверных значений количество таких пар должно быть не менее шести. Количество учетных площадок (повторений) можно увеличить, однако при этом следует учитывать, что с увеличением количества площадок возрастает объем трудозатрат на их «обслуживание» и одновременно уменьшается табличный коэффициент Стьюдента, то есть снижается «чувствительность» модели. Поэтому увеличение количества площадок не всегда приводит к повышению точности опыта. Полученные зависимости аппроксимируются полиномом второй степени. Далее производятся технические действия, последовательность которых представлена выше.

При аппроксимации возможны три варианта ответа.

Ответ № 1. Полученная зависимость соответствует исходной задаче, и коэффициенты уравнения являются статистически достоверными. Данный результат может использоваться для расчета величины оптимальной плотности по предлагаемой методике.

Ответ № 2. Полученная зависимость соответствует исходной задаче, но параметры зависимости из-за большого разброса исходных данных, характеризуются величиной

корреляционного индекса и коэффициентом детерминации, оказываются недостоверными по критерию Стьюдента. Такие зависимости должны признаваться недостоверными и выбраковываться (из-за низкой точности модели).

Ответ № 3. Так как компьютерной программе, производящей аппроксимацию, задается условие построения зависимости обязательно квадратичного вида, то фиксируются случаи, когда ветви параболы оказываются повернутыми вверх, то есть результат противоречит закладываемому в задачу смыслу. Программа «выбирает» из заданных дискретных точек те, которые можно использовать для построения заданной зависимости, а «выпадающие» значения «идут в фонд», что снижает достоверность полученных данных. В любом случае подобные результаты подлежат выбраковке.

Если проводить измерения плотности на одних и тех же площадках в различные периоды вегетации, а затем на тех же площадках определять урожайность возделываемой культуры, то можно установить период вегетации, в который плотность сложения почвы оказывает достоверное влияние на получаемую урожайность, и вычислить величину оптимальной плотности для рассматриваемых условий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Применение предлагаемой методики представлено на примере обработки результатов исследования влияния плотности почвы на урожайность яровой пшеницы, выращиваемой с использованием классической технологии обработки на базе вспашки. Почва полигона — дерново-подзолистая легкосуглинистая. Рассматриваемый год характеризовался недостатком осадков, гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова

равнялся 0,73. Посев производился без удобрений. Усредненные результаты определений плотности почвы и урожайности яровой пшеницы приведены в табл. 2, результаты аппроксимации экспериментальных данных — в табл. 3.

При анализе данных табл. 3 следует обратить особое внимание на то, что влияние плотности сложения объединенного слоя (0–20 см) на урожайность яровой пшеницы оказалось недостоверным во все исследуемые периоды, что еще

раз подтверждает нецелесообразность применения общепринятой практики определения влияния плотности сложения почвы на урожайность возделываемой культуры, даже в случае ее «модернизации» путем замены величины плотности почвы перед посевом на величину актуальной плотности сложения почвы. Данное обстоятельство обусловлено преимущественным влиянием на урожайность плотности подсеменного слоя.

Таблица 2. Плотность сложения почвы в период вегетации яровой пшеницы (ГТК = 0,73) при использовании технологии на базе вспашки

Плотность почвы в слое (см) по участкам	Плотность почвы, г см ⁻¹					Урожайность, т га ⁻¹	
	время в сутках от даты посева						
	12	21	41	50	88		
1	0–10	1,053	1,062	1,029	1,217	1,049	1,833
	10–20	1,258	1,176	1,341	1,375	1,139	
2	0–10	1,067	1,006	0,969	0,996	1,101	1,658
	10–20	1,377	1,397	1,241	1,524	1,350	
3	0–10	0,987	0,999	0,956	0,980	0,975	1,471
	10–20	1,466	1,379	1,345	1,535	1,297	
4	0–10	0,882	0,913	1,082	1,017	1,068	1,652
	10–20	1,115	1,245	1,323	1,525	1,101	
5	0–10	0,968	0,978	1,043	0,998	0,957	1,231
	10–20	1,261	1,184	1,209	1,576	1,159	
6	0–10	0,911	1,070	0,985	1,033	1,116	1,631
	10–20	1,329	1,330	1,321	1,437	1,202	

Таблица 3. Результаты аппроксимации зависимости урожайности яровой пшеницы от плотности почвы по вспашке

Количество суток после посева	Слой почвы, см	Аппроксимирующая зависимость (X – плотность почвы в слое, г см ⁻³ ; Y — урожайность, ц га ⁻¹)	Индекс корреляции	Фактический критерий Стьюдента*
12	0–10	$Y = 193,132X^2 - 362,776X + 184,640$	0,173	0,351
	10–20	$Y = -4,648X^2 + 9,074X + 11,919$		
	0–20	$Y = 42,194X^2 - 93,544X + 67,297$		
21	0–10	$Y = 384,574X^2 - 752,591X + 382,654$	0,079	0,159
	10–20	$Y = -23,857X^2 + 62,462X - 24,889$		
	0–20	$Y = -760,661X^2 + 1743,63X - 981,228$		
41	0–10	$Y = -43,014X^2 + 87,398X - 28,515$	0,0353	0,071
	10–20	$Y = -701,347X^2 - 1814,128X - 1155,41$		
	0–20	$Y = 557,784X^2 - 1260,43X + 726,938$		
50	0–10	$Y = -105,827X^2 + 249,481X - 128,543$	0,698	1,948
	10–20	$Y = -173,166X^2 - 487,482X - 325,153$		
	0–20	$Y = 1281,96X^2 - 3248,57X + 20,73,30$		
88	0–10	$Y = -484,174X^2 + 1024,33X - 524,171$	0,9489	6,013
	10–20	$Y = 118,011X^2 - 291,400X + 194,677$		
	0–20	$Y = -224,872X^2 + 524,945X - 289,495$		

Примечание. *Теоретический коэффициент Стьюдента 2,78 (при 5%), 4,60 при 1 % уровне значимости.

Повторение аналогичных вычислений позволит составить таблицы с данными о влиянии плотности почвы на урожайность возделываемой культуры (в данном случае – яровой пшеницы) при различных

способах обработки почвы, гидротермических условиях и сроках вегетационного периода. Примеры группировки данных представлены в табл. 4–6.

Таблица 4. Влияние плотности почвы на урожайность яровой пшеницы в различные периоды вегетации при ГТК = 0,73

Обработка в слое, см		Количество суток от даты посева				
		12	21	41	50	88
Вспашка	0–10	недост.*	недост.*	недост.**	недост.**	дост.
	10–20	недост.**	недост.**	недост.**	дост.	недост.*
	0–20	недост.*	недост.**	недост.*	недост.*	недост.**
Минимальная	0–10	дост.	недост.**	дост.	недост.*	недост.**
	10–20	дост.	недост.**	недост.**	недост.*	недост.*
	0–20	недост.**	недост.*	недост.*	недост.*	недост.*

Примечание. *Данные недостоверны, так как ветви параболы направлены вверх (нет максимума). ** Данные недостоверны по критерию Стьюдента (приведенные обозначения аналогичны для табл. 4–6).

Таблица 5. Влияние плотности почвы на урожайность яровой пшеницы в различные периоды вегетации при ГТК = 2,05

Обработка в слое, см		Количество суток от даты посева				
		10	28	45	51	84
Вспашка	0–10	недост.*	недост.**	недост.**	недост.*	недост.**
	10–20	недост.*	недост.*	дост.	дост.	дост.
Эксперимент.	0–10	недост.**	недост.**	дост.	дост.	не дост.**
	10–20	недост.**	дост.	дост.	дост.	не дост.**

Таблица 6. Влияние плотности сложения почвы в слое 10–20 см на урожайность пшеницы в условиях переувлажнения

Обработка	ГТК	Влияние плотности на урожайность в фазу		
		после посева	выход в трубку	перед уборкой
Вспашка	4,00	недост.*	недост.*	недост.*
	2,43	недост.*	дост.	недост.**
	2,19	недост.*	дост.	недост.*
Экспериментальная	4,00	недост.*	дост.	недост.**
	2,43	недост.*	дост.	недост.*
	2,19	дост.	дост.	недост.**

Анализ данных, представленных в табл. 4–6, показывает, что преобладающее влияние плотности почвы на урожайность яровой пшеницы проявляется в фазу выхода в трубку (41–51-й день вегетации). При этом период максимального влияния плотности на урожайность практически незначительно зависит от гидротермических условий вегетационного периода.

Не следует считать, что исследования проводились на каком-то особенном поле или были ангажированы каким-то другим способом. Когда у авторов появилась идея определения величины оптимальной плотности почвы с помощью

применения правила исследования функции на экстремум, их собственных данных было недостаточно для полноценной оценки предлагаемой методики. Они обратились с предложением к другим институтам, на которое откликнулись Н. В. Перфильев и О. А. Вьюшина (НИИСХ Северного Зауралья, г. Тюмень), которые на тот момент (2016 г.) располагали данными, полученными за 12 лет исследований влияния плотности темно-серой лесной тяжелосуглинистой почвы на урожайность ярового ячменя. Результаты обработки предоставленных ими данных с помощью предлагаемой методики показали,

что из трех сроков определения плотности сложения почвы (после посева, в фазу кущения, перед уборкой) влияние плотности почвы на урожайность достоверно проявляется только в фазу кущения. Результаты проведенных расчетов свидетельствуют о влиянии сложения слоев почвы на урожайность и, в частности, что максимальная урожайность достигается при одинаковой пористости аэрации в подсеменных слоях почвы независимо от гидротермических условий вегетационного периода. Также установлено, что вне зависимости от того, с помощью каких конкретных орудий была сформирована та или иная плотность почвы, если плотность в фазу кущения была одинаковой, то урожайность возделываемой культуры также была одинаковой (Перфильев и др., 2017; Конищев и др., 2019).

Таким образом, представленные данные наглядно свидетельствуют о реальной зависимости урожайности яровых ячменя и пшеницы от плотности почвы.

При рассмотрении вопроса о применимости предлагаемой методики следует учитывать, что характеристика плотности сложения используется более чем в половине работ (52%), посвященных процессу воздействия на почву, то есть является одной из наиболее часто применяемых агрофизических характеристик почвы (Bünemann et al., 2018). Однако, с другой стороны, данная характеристика используется преимущественно во вспомогательных целях (для

пересчета весовых показателей в объемные) и практически не применяется в земледелии непосредственно для усовершенствования технологий обработки почвы (Медведев и др., 2004), так как по указанным выше причинам в существующем виде она не позволяет это осуществить.

Таким образом, полученные знания позволяют перевести характеристику величины плотности сложения почвы из пассивной в активно действующую агрофизическую характеристику почвы.

Использование предлагаемой методики в том числе открывает перспективы для создания технологий обработки почвы второго поколения (Конищев, 2020).

ВЫВОДЫ

Предложенная методика расчета величины оптимальной плотности сложения почвы в различные временные периоды вегетации яровой пшеницы позволяет объективно оценить влияние плотности почвы на урожайность.

Достоверное влияние на урожайность яровой пшеницы оказывает плотность сложения корнеобитаемого (подсеменного) слоя в фазу развития растений «выход в трубку».

Отклонение величины плотности сложения почвы от оптимальной более чем на 5% в указанный период приводит к достоверному снижению урожайности.

Список литературы

- Вольтерс И.А., Власова О.И., Трубачева Л.В., Передериева В.М., Дорожко Г.Р. Влияние традиционной технологии возделывания и прямого посева полевых культур на агрофизические факторы почвенного плодородия чернозема обыкновенного в зоне неустойчивого увлажнения // *Агрофизика*. 2018. № 4. С. 24–30. DOI: 10.25695/AGRPH.2018.04.04
- Ильин И.Р. Вегетационный метод и физика почвы // Теоретические вопросы обработки почвы, выпуск 2 (Доклады на Всесоюзном научно-техническом совещании 17–21 декабря 1968 г.). Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1969. С. 366–371.
- Качинский Н.А. Физика почвы. М.: Высшая школа, 1965. 323 с.
- Конищев А.А. Прошлое и будущее обработки почвы под зерновые культуры // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 3(194). С. 21–27. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-194-3-21-27
- Конищев А.А., Перфильев Н.В., Гарифуллин И.И. Исследование взаимосвязи «оптимальной плотности» сложения с влажностью почвы и урожайностью ячменя // *Агрофизика*. 2019. № 2. С. 25–31. DOI: 10.25695/AGRPH.2019.02.04
- Корчагин А.А., Мазиров М.А., Шушкевич Н.И. Физика почв: лабораторный практикум. Владимир: Изд-во Владимирского гос. университета, 2011. 99 с.
- Медведев В.В. Изменчивость оптимальной плотности сложения почв и ее причины // *Почвоведение*. 1990. № 5. С. 20–29.
- Медведев В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.И. Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты). Харьков: Изд. «13 типография», 2004. 244 с.
- Перфильев Н.В., Вьюшина О.А. Параметры темно-серой лесной почвы при длительном применении различных систем основной обработки // *Земледелие*. 2016. № 2. С. 23–25.
- Перфильев Н.В., Вьюшина О.А., Конищев А.А., Гарифуллин И.И. О взаимосвязи «оптимальной плотности» почвы с урожайностью зерновых культур // *Агрофизика*. 2017. № 4. С. 16–24.
- Ревут И.Б., Лебедева В.Г., Абрамов И.А. Плотность почвы и её плодородие // *Сб. трудов по агрономической физике*. Л.: АФИ, 1962. Вып. 10. С. 154–165.
- Ревут И.Б., Соколовская Н.А., Васильев А.М. Структура и плотность почвы – основные параметры, кондиционирующие почвенные условия жизни растений // *Пути регулирования почвенных условий жизни растений*. Л.: АФИ, 1971. С. 51–125.
- Русанов В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути её решения. М.: ВИМ, 1998. 368 с.

- Тириелец В.И., Слюсарев В.Н. Учебно-методическое пособие по изучению агрофизических и агрохимических методов исследования почв. Краснодар: ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ», 2010. 65 с.
- Bünemann E.K., Bongiorno G., Zhanguo B., Creamer R. Soil quality – A critical review // *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, vol. 120, pp. 105–125. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.01.030

References

- Vol'ters I.A., Vlasova O.I., Trubacheva L.V., Perederiyeva V.M., Dorozhko G.R. Vliyaniye traditsionnoy tekhnologii vozdeystviya i pryamogo poseva polevykh kul'tur na agrofizicheskiye faktory pochvennogo plodorodiya chernozema obyknovennogo v zone neustoychivogo uvlazhneniya [Influence of traditional technology of cultivation and direct sowing of field crops on agrophysical factors of soil fertility of ordinary chernozem in the zone of unstable moisture] // *Agrofizika*, 2018, no. 4, pp. 24–30. DOI: 10.25695/AGRPH.2018.04.04
- Pl'in I.R. Vegetatsionnyy metod i fizika pochvy [Vegetation method and soil physics] // *Teoreticheskiye voprosy obrabotki pochvy, vypusk 2 (Doklady na Vsesoyuznom nauchno-tekhnicheskoy soveshchaniy 17–21 dekabrya 1968 g.)* [Theoretical issues of tillage, issue 2 (Reports at the All-Union scientific and technical meeting on December 17–21, 1968)]. Leningrad: Gidrometeorologicheskoye izdatel'stvo, 1969, pp. 366–371.
- Kachinskiy N.A. *Fizika pochvy* [Soil physics]. Moscow: High school, 1965, 323 p.
- Konishchev A.A. Proshloye i budushcheye obrabotki pochvy pod zernovyye kul'tury [Past and future of tillage for grain crops] // *Agrarnyy vestnik Urala*, 2020, vol. 3 (194), pp. 21–27. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-194-3-21-27
- Konishchev A.A., Perfil'yev N.V., Garifullin I.I. Issledovaniye vzaimosvyazi «optimal'noy plotnosti» slozheniya s vlazhnost'yu pochvy i urozhaynost'yu yachmenya [Relationship of «optimum bulk density» with soil moisture and barley yield] // *Agrofizika*, 2019, no. 2, pp. 25–31. DOI: 10.25695/AGRPH.2019.02.04
- Korchagin A.A., Mazirov M.A., Shushkevich N.I. *Fizika pochv: laboratornyy praktikum* [Soil Physics: Laboratory practice]. Vladimir: Publishing House of the Vladimir State University, 2011, 99 p.
- Medvedev V.V. Izmenchivost' optimal'noy plotnosti slozheniya pochv i yeye prichiny [Variability of optimal density of soil composition and its causes] // *Pochvovedeniye*, 1990, no. 5, pp. 20–29.
- Medvedev V.V., Lyndina T.E., Laktionova T.I. *Plotnost' slozheniya pochv (geneticheskyy, ekologicheskyy i agronomicheskyy aspekty)* [Soil composition density (genetic, ecological and agronomic aspects)]. Kharkiv: Publishing House 13, 2004, 244 p.
- Perfil'yev N.V., V'yushina O.A. Parametry temno-seroy lesnoy pochvy pri dlitel'nom primenenii razlichnykh sistem osnovnoy obrabotki [Parameters of dark gray forest soil in the conditions of long-term use of different systems of primary tillage] // *Zemledeliye*, 2016, pp. 23–25.
- Perfil'yev N.V., V'yushina O.A., Konishchev A.A., Garifullin I.I. O vzaimosvyazi «optimal'noy plotnosti» pochvy s urozhaynost'yu zernovykh kul'tur [On the relationship of the «optimal density» of the soil with the yield of grain crops] // *Agrofizika*, 2017, no. 4, pp. 16–24.
- Revut I.B., Lebedeva V.G., Abramov I.A. Plotnost' pochvy i yeye plodorodiye [The density of the soil and its fertility] // *Sbornik trudov po agronomicheskoy fizike*. Leningrad: Publishing House of ARI, 1962, issue 10, pp. 154–16.
- Revut I.B., Sokolovskaya N.A., Vasil'yev A.M. *Struktura i plotnost' pochvy – osnovnyye parametry, konditsioniruyushchiye pochvennyye usloviya zhizni rasteniy* [Structure and density of soil are the main parameters that condition soil conditions of plant life]. Leningrad: Gidrometizdat, 1971, pp. 51–126.
- Rusanov V.A. *Problema pereuplotneniya pochv dvizhitel'nyimi i effektivnyimi puti yeye resheniya* [The problem of soil re-compaction by movers and effective ways of its solution]. Moscow: VIM, 1998, 368 p.
- Tiriyel'ts V.I., Slyusarev V.N. *Uchebno-metodicheskoye posobiye po izucheniyu agrofizicheskikh i agrokhimicheskikh metodov issledovaniya pochv* [Teaching and methodological manual for the study of agrophysical and agrochemical methods of soil research]. Krasnodar: Publishing House of Kuban State Agrarian University, 2010, 65 p.
- Bünemann E.K., Bongiorno G., Zhanguo B., Creamer R. Soil quality – A critical review // *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, vol. 120, pp. 105–125. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.01.030