

## Равновесная плотность почвы: анализ дефиниций и методология

*Ф.Г. Бакиров, д.с.-х.н., Ю.М. Нестеренко, д.г.н., Д.Г. Поляков, к.б.н., А.В. Халин, к.с.-х.н., ФГБУН Оренбургский НЦ УрО РАН*

Плотность — одно из основных, фундаментальных свойств почвы, является интегральным показателем её состояния, плодородия [1]. При возделывании в пашне значение плотности почвы меняется, в том числе вследствие трансформации естественных факторов [2]. В результате плотность почвы может как увеличиваться, так и снижаться.

Плотность почвы, обеспечивающая наибольшую урожайность, называется оптимальной. При её антропогенном изменении со временем показатель стремится к характерной до воздействия величине, называемой равновесной плотностью. Она может отличаться от оптимальной для сельскохозяйственных культур. При превышении её значений оптимальных величин возникает необходимость проведения обработки почвы. При их совпадении представляется возможным отказаться от обработки почвы и перейти на технологию No-till.

В связи с этим равновесная плотность — важнейший критерий оценки физического состояния почвы, позволяющей выработать оптимальную систему её обработки в севообороте.

**Цель настоящего исследования** — анализ дефиниций, методологий определения равновесной плотности и их реализация на примере чернозёма южного.

**Материал и методы исследования.** Исследование проведено на землях учебно-опытного поля Оренбургского ГАУ. Объектом исследования послужил чернозём южный малогумусный маломощный тяжелосуглинистый, со следующими агрохимическими характеристиками: содержание гумуса (по Тюрину) — 4,4%; рН — 7,8; N-NO<sub>3</sub> — 10,2 мг/100 г; N-NH<sub>4</sub> — 4,5 мг/100 г; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O (по Мачигину) — 4,5 и 35 мг/100 г соответственно.

Определение плотности почвы производили буровым методом по Н.А. Качинскому [3], с предварительным увлажнением исследуемого слоя почвы до НВ.

**Результаты исследования.** Показатель равновесной плотности почвы очень важен в земледелии в связи с выбором способов основной обработки почвы. Между тем в литературе существует множество её дефиниций, вызывающих трудности в понимании и применении данного термина.

По А.Н. Каштанову [4], равновесная плотность образуется под влиянием гравитационной силы, увлажнения, высыхания, замерзания и оттаивания и других природных воздействий до постоянной величины, характерной для определённой почвы. Это наиболее полное определение, дающее понятие о равновесной плотности и раскрывающее факторы установления равновесной плотности, однако в нём отсутствует информация о времени, необходимом для установления равновесия системы.

Равновесная плотность пахотного горизонта — это установившаяся плотность почвы, не обработанной в течение 1–2 лет, определяемая при наименьшей влагоёмкости [5]. Предлагается также использовать плотность почвы в конце вегетации озимых зерновых культур [6]. Применение данных способов регламентируется официальными документами для определения равновесной плотности при выявлении деградированных земель [7].

Существует мнение, что для установления равновесной плотности почвы после её обработки недостаточно одного года и тем более вегетационного периода [8]. Об этом же свидетельствуют наши данные, которые показывают, что при отвальной вспашке и плоскорезной обработке плотность почвы осенью будет отличаться [9].

Ряд учёных предлагают принимать за равновесную плотность сложения величину объёмной

массы длительно необрабатываемой почвы или же под многолетними травами в конце их вегетации [5, 10, 11]. Е.А. Дмитриев и И.Б. Макаров считают, что для обрабатываемых почв одного года и тем более только вегетационного периода в большинстве случаев недостаточно для приобретения равновесной плотности [8]. В связи с этим они предлагают выделять условно устойчивую равновесную плотность (УУРП), определяемую составом и свойствами самой почвы и условиями, в которых почва находится, в том числе способом обработки почвы. С учётом этого для вспаханной или обработанной плоскорезом почвы будет своя, характерная для сформировавшихся условий УУРП, которая, впрочем, будет меняться с изменением влажности, при внесении удобрений и т.д. Следовательно, для одной и той же почвы будет характерно бесконечное множество УУРП, и поэтому она не может служить критерием оценки характеристики почвы.

Единая методика определения равновесной плотности – важнейший фактор получения достоверного результата, обеспечивающего его сравнимость и воспроизводимость.

В литературе предлагается множество методологий определения равновесной плотности, что создаёт трудности в её выборе и сопоставлении. Расхождения начинаются уже в сроках определения. Предлагается устанавливать равновесную плотность весной перед посевом, в середине вегетационного периода или перед уборкой. Большую трудность в оценке значений равновесной плотности создаёт зависимость плотности почвы от влажности, с изменением которой плотность может меняться более чем в два раза [8, 12, 13]. В опытах Н.К. Шикеры [14] повышению влажности чернозёма типичного малогумусного легкосуглинистого на 1% соответствовало снижение плотности на 0,01 г/см<sup>3</sup>. При этом коэффициент корреляции достигал значения 0,81.

Наиболее простое решение видится в стандартизации увлажнения на уровне наименьшей влагоёмкости (НВ), обеспечивающей сравнимость получаемых результатов. Влажность, соответствующая НВ, является максимальной, которая бывает сколько-нибудь продолжительное время в почвах непромывного типа водного режима. Величина её в объёмных единицах равна суммарной агрегатной пористости. Вода при этой влажности заполняет все агрегатные поры, частицы почвы полностью обводнены, а почвенные коллоиды находятся в максимально набухом состоянии. Поэтому достоверные показатели равновесной плотности можно получить только ранней весной, когда влажность почвы соответствует НВ. При влажности почвы, равной НВ, рекомендуют определять равновесную плотность Е.А. Дмитриев [8], Г.И. Казаков [10].

В то же время, если исходить из того, что под равновесной плотностью подразумевается максимально возможное уплотнение длительно не-

обрабатываемой почвы, то её следует определять осенью при естественном увлажнении, которое в зоне чернозёмов на этот момент близко к влажности устойчивого завядания (ВУЗ). Искусственное же доведение влажности почвы до уровня НВ (исходя из методики определения равновесной плотности), несомненно, изменит плотность почвы в меньшую сторону, и она будет, вероятно, близка к её весенним значениям.

Определение равновесной плотности при естественном увлажнении затрудняет стандартизацию, делая невозможным сравнение результатов, получаемых в разных по уровню увлажнения условиях, поскольку имеют место значительные колебания содержания остаточной влаги в почве по годам и по зонам. Это является важным аргументом в пользу определения равновесной плотности при НВ.

На наш взгляд, равновесную плотность следует определять весной, сразу после посева ранних яровых культур, по нескольким причинам.

1. Влажность пахотного слоя к моменту посева яровых ранних культур каждый год, за редким исключением, одинакова (константа) и максимально приближена к НВ, независимо от запасов влаги в метровом слое почвы.

2. Дрейф плотности почвы в интервале влажности от НВ до 80% НВ пренебрежимо мал и находится в пределах ошибки при определении существующими методами. Это исключает необходимость искусственного доведения влажности почвы до НВ.

3. Поскольку плотность почвы рассматривается с позиций оптимального порового пространства, а начало вегетации – важный период в развитии растений, величина объёмной массы в этот момент приобретает наибольшее значение. Это тот период, когда мы можем корректировать плотность сложения в нужном направлении.

Поскольку определение равновесной плотности в полевых условиях существующими методами связано с рядом трудностей, В.К. Козин предложил расчётный метод [15]. Для этого были использованы данные гранулометрического состава, содержания гумуса (по Тюрину). Зависимость изучаемых признаков В.К. Козин выразил в виде уравнения регрессии:

$$Y_{\text{зс}} = 1,202 + 0,003x + 0,009z - 0,171nc,$$

где  $Y$  – равновесная плотность почвы, г/см<sup>3</sup>;

$x$  – содержание фракции крупной пыли (0,05–0,01 мм), %;

$z$  – содержание фракции средней пыли (0,01–0,005 мм), %;

$c$  – содержание гумуса, %.

Данные расчётов и контрольных экспериментальных определений равновесной плотности показали хорошую сходимость результатов для бурой лесной почвы.

Проведённый нами расчёт равновесной плотности с использованием уравнения, предложенного В.К. Козиным, показал, что у чернозёма южного с содержанием фракции крупной пыли

1. Характер разуплотнения слоя почвы 20–30 см в цикле весна – осень при минимальных и нулевых обработках

после посева	Плотность почвы, г/см <sup>3</sup>			Разуплотнение, г/см <sup>3</sup>	Частота встречаемости, %
	перед уборкой				
	минимум	максимум	средняя		
1,31	1,29	1,30	1,29	0,02	6,1
1,30	1,25	1,28	1,25	0,04	22,0
1,28	1,23	1,27	1,24	0,04	28,2
1,26	1,23	1,25	1,24	0,02	27,3
1,24	1,21	1,22	1,22	0,02	11,3
1,22	1,21	1,21	1,21	0,01	2,0

2. Динамика плотности почвы под многолетними травами, г/см<sup>3</sup> (по А.В. Кислову и А.П. Долматову; Учхоз, 2003)

Глубина слоя, см	Ячмень с подсевом многолетних трав	Год жизни многолетних трав				
		2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
0–10	1,15	1,20	1,19	1,24	1,23	1,22
10–20	1,18	1,19	1,20	1,23	1,24	1,23
20–30	1,19	1,22	1,21	1,24	1,25	1,24
0–30	1,17	1,18	1,20	1,24	1,24	1,23

37,7%, средней пыли 8,3% и гумуса 4,1% она равна 1,28 г/см<sup>3</sup>, т.е. на 0,04 г/см<sup>3</sup> превышает значение, установленное нами эмпирическим путём – 1,24 г/см<sup>3</sup>. Такое заключение было сделано на основании того, что это значение наиболее часто встречается на протяжении всех лет исследования (12 лет) на вариантах с мелким рыхлением и при отсутствии основной обработки почвы (нулевая), проводимых в течение одного-трёх лет подряд (табл. 1).

По мнению И.Б. Макарова, равновесная плотность устанавливается к 3–4-му году жизни многолетних трав [11]. В посевах многолетних трав УОП Оренбургского ГАУ к 4-му году жизни плотность чернозёма южного составила 1,23–1,24 г/см<sup>3</sup> (табл. 2), динамика плотности по годам показывает, что до этого времени действительно происходило постепенное уплотнение почвы.

Очевидно, что верхний слой почвы весной всегда при посеве подвергается обработке, поэтому не достигает равновесной плотности. В связи с этим значения объёмной массы слоя почвы 0–10 см не берутся во внимание при установлении равновесной плотности пахотного слоя. Тогда как на поле с многолетними травами плотность этого слоя равна равновесной и может быть использована при расчётах. Отсюда средняя равновесная плотность пахотного слоя чернозёма южного составляет 1,24 г/см.

**Выводы.** Равновесная плотность почвы – показатель её агрофизической характеристики, являющийся важным критерием оценки пригодности почвы при разработке ресурсосберегающей системы основной обработки почвы в севооборотах.

Равновесную плотность следует определять весной, сразу после посева ранних яровых культур, ввиду того что влажность пахотного слоя всегда близка к НВ, а дрейф плотности почвы в интервале влажности от НВ до 80% НВ пренебрежимо мал. В случаях, когда влажность почвы ниже НВ, для

обеспечения сравнимости результатов её необходимо довести до этого уровня. Равновесная плотность чернозёма южного малогумусного маломощного тяжелосуглинистого на полях учебно-опытного поля Оренбургского ГАУ составляет 1,24 г см<sup>3</sup>. Это значительно ниже верхнего предела оптимальной плотности для большинства культур, и поэтому возможен переход на нулевую обработку.

**Литература**

1. Шеин Е.В., Гончаров В.М. Агрофизика. Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. 397 с.
2. Кузнецова И.В. Изменения физического состояния чернозёмов типичных и выщелоченных Курской области за 40 лет // Почвоведение. 2013. № 4. С. 434–441.
3. Качинский Н.А. Физика почвы: учебник. М.: Высшая школа, 1965. 323 с.
4. Каштанов А.Н. Ускорить обновление научных основ степного земледелия // Земледелие. 1991. № 1. С. 2–5.
5. Земледелие: учебник для студентов высш. учеб. заведений / Под ред. А.П. Пупониной. М.: Колос, 2000. 552 с.
6. Шептухов В.Н. Повышение плодородия дерново-подзолистых почв и показатели структурности севооборота / В.Н. Шептухов, Л.А. Ушакова, В.Н. Егоров, М.М. Галкина // Почвоведение. 1993. № 4. С. 74–83.
7. О методических рекомендациях по выявлению деградированных и загрязнённых земель. Письмо Роскомзема от 27.03.1995 N 3-15/582; утв. Роскомземом 28.12.1994, Минсельхозпродом России 26.01.1995, Минприроды России 15.02.1995.
8. Дмитриев Е.А, Макаров И.Б. О понятии «равновесная плотность почв» // Почвоведение. 1993. № 8. С. 94–98.
9. Бакиров Ф.Г. Эффективность ресурсосберегающих систем обработки чернозёмов степной зоны Южного Урала: дисс. ... докт. с.-х. наук. Оренбург, 2008. 381 с.
10. Казаков Г.И. Обработка почвы в Среднем Поволжье. Самара: СамВен, 1997. 196 с.
11. Макаров И.Б. Задачи по разработке и внедрению ресурсосберегающей обработки почвы в зональных системах земледелия. Ресурсосберегающие системы обработки почвы: сб. науч. тр. / Под ред. акад. ВАСХНИЛ И.П. Макарова. М.: Агропромиздат, 1990. С. 3–11.
12. Орешкина Н.С. О связи между влажностью и плотностью суглинистых почв // Тез. докл. делегат. VI съезда ВОП. Тбилиси, 1981. Т. 1. С. 23.
13. Березин П.Н. Диагностика потенциальной и актуальной слитности почв по физическим критериям // Почвоведение. 1990. № 5. С. 65–75.
14. Шикун Н.К., Назаренко Г.В. Минимальная обработка чернозёмов и воспроизводство их плодородия. М.: «Агропромиздат», 1990. 320 с.
15. Козин В.К. Расчёт равновесной плотности почв // Почвоведение. 1989. № 1. С. 153–156.