

УДК 631.431.1:631.431.6

К вопросу об определении плотности сложения для оценки агрофизического состояния набухающих почв и грунтов

Морозов Игорь Вадимович, Болдырева Вероника Эдуардовна,
Варельджан Диана Эдуардовна, Колесникова Надежда Андреевна

ФГАУ ВПО «Южный федеральный университет»

DOI: 10.18522/2308-9709-2020-32-7

Аннотация:

В статье рассмотрены методические принципы определения и интерпретации результатов изучения плотности почв и грунтов. Обосновывается необходимость введения в почвоведение терминов для характеристики плотности сложения почвы «плотность почвы на пределе усадки» и «плотность почвы на пределе набухания». Предложены поправки к методу расчета запаса вещества в почве.

Ключевые слова: плотность почвы, набухающие почвы, усадка, набухание, «плотность почвы на пределе усадки», «плотность почвы на пределе набухания».

Eng. To a question about the determination of bulk density for the estimation of agrophysical state of swelling soils

Morozov Igor V., Boldyreva Veronika E., Varel'dzhan Diana E., Kolesnikova Nadezhda A.,

Southern Federal University

DOI: 10.18522/2308-9709-2020-32-7

Abstract: Methodical principles for determination and data interpretation of the investigation of soil bulk density have considered at the article. Necessity of introduction for soil science two terms for the characteristic of bulk density such as «bulk density at maximum shrinkage of soil» and «bulk density at the maximum swelling of soil» has proved. In addition, amendments for the calculation method for the soil substances stock have offered.

Key words: bulk density, swelling soils, shrinkage, swelling, bulk density at maximum shrinkage of soil, bulk density at the maximum swelling of soil.

Введение

В почвоведении под плотностью почвы принято понимать массу почвы, отнесенную к ее объему естественного сложения. В многочисленных определениях, представленных в научной, учебной и научно-методической литературе, имеются некоторые различия в точности формулировок, но математическое вычисление данного показателя у всех авторов сводится к единой формуле:

$$p_b = m_s/v, \quad (1)$$

где m_s – масса сухой почвы ненарушенного сложения, в г;

v – объем цилиндра (для бурового метода) или объем образца почвы нарушенного сложения, взятого для анализа (фиксажный метод), в $см^3$.

Однако такой подход к определению плотности почвы не раскрывает истинный смысл получаемых в результате исследований данных и зачастую приводит к ошибочным выводам.

Например, в научной и учебной литературе приводится утверждение о том, плотность почвы зависит от влажности [2, 4]. Это подтверждается экспериментальными данными, особенно при использовании бурового метода. Поскольку данный показатель коррелирует с динамикой влажности почвы, ряд исследователей предлагает определять плотность при некоторых константных значениях влажности. Так, И.С. Панин [7] предлагал определять плотность сложения при значениях влажности, соответствующих наименьшей влагоемкости почвы.

Другой пример: согласно ГОСТ 5180-2015 [3], для определения плотности предлагается использовать буровой или фиксажный методы в зависимости от степени нарушенности и твердости исследуемых образцов почв и грунтов. Поскольку оба метода рассматриваются как равноценные, исследователь вправе выбирать ту или иную схему анализа. При этом результаты, получаемые при исследовании плотности набухающих почв (особенно пахотных горизонтов), будут существенно различаться.

Аналогичная ситуация складывается и при использовании таких методов, как «песчаный», «вазелиновый», «водный» и др. В методических руководствах не рассматриваются причины различий между результатами, получаемыми разными методами. Хотя и в этом случае причина таких различий связана, главным образом, с динамикой влажности исследуемых почв и грунтов [1, 5, 6].

Таким образом, действительно *на определение* плотности сложения оказывает влияние влажность почв и грунтов. Мы особо подчеркиваем, что влажность влияет не на плотность, а на результат определения. Это «влияние» связано с тем, что каждый раз для анализа исследователь отбирает почвенные образцы, различающиеся не только по содержанию влаги, но и различные по объему, а, соответственно, и плотности. Следовательно, при работе с набухающими почвами и грунтами эти изменения обязательно необходимо учитывать, внося корректировки в

методики определения плотности.

Очевидным является тот факт, что результаты определения плотности, полученные при использовании бурового и фиксажного методов, будут существенно различаться. Поскольку, как правило, фиксажный метод применяется в тех случаях, когда почва содержит незначительное количество воды и соответственно минимальный объем (за счет усадки), значения плотности в этом случае будет выше.

Таким образом, главным фактором, влияющим на величину плотности, является не вода, а способность почвы к объемным изменениям под воздействием воды. Следовательно, при определении плотности почвы эту динамику объема необходимо обязательно учитывать.

Кроме того, с физической точки зрения явно недостаточно использовать только одно значение какого-либо параметра для характеристики почвы как динамичной, открытой системы, постоянно изменяющейся под воздействием внешних факторов (например, влаги). Если мы говорим о плотности, то таких параметров должно быть не менее двух, которые и будут характеризовать состояние системы в крайних позициях. В рассматриваемом нами случае предлагается различать плотность почвы на пределе усадки (т.е. сухой почвы) и плотность почвы на пределе набухания (т.е. влажной). В результате, мы получаем систему параметров (интервал), позволяющую наиболее полно и объективно оценить почву как физическое тело [1, 5, 6].

Целью данной работы является анализ и разработка методических принципов определения плотности набухающих почв и интерпретации результатов исследования.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования были выбраны набухающие почвы и грунты Ростовской области, представленные в коллекции Почвенного музея им. С.А. Захарова кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета.

В качестве метода исследования использован разработанный автором подход для определения объемных изменений почв и грунтов, представленных в виде монолитов. В основе этого подхода лежит определение первоначального объема монолитов при естественной влажности (на момент их отбора), а затем фактического объема, достигаемого в результате испарения влаги при длительном хранении. Получаемая разница объемов позволяет рассчитать объемную усадку.

Кроме того, нами были определены следующие показатели: максимальная гигроскопическая влажность ($W_{\text{МГВ}}$) – 9.9 % методом А.В. Николаева; наименьшая влагоемкость $W_{\text{НВ}}$ – 35 % [2] и содержание гумуса – 4.5 % методом И.В. Тюрина.

Результаты и обсуждение

Для доказательства обоснованности введения новых параметров нами проведены исследования, результаты которых представлены в таблицах 1–4 и на рисунке 1.

При определении объемной усадки мы исходили из того, что почвенные монолиты отбирали при естественной влажности, находящейся в интервале от 20 до 25 % (т.е. при влажности, соответствующей «физической спелости почвы»). Нами также было принято условие, что исходный объем влажных монолитов соответствовал объему деревянного каркаса, с помощью которого они были отобраны. При хранении монолиты были доведены до воздушно-сухого состояния. По мере потери влаги происходило уменьшение их объема по сравнению с первоначальным за счет процесса усадки (табл. 1). Например, монолит № 5 «Чернозем обыкновенный карбонатный, Учхоз “Донское” (пашня)» уменьшился в объеме на 12 %, а «Чернозем обыкновенный слитой осолоделый (Октябрьский район Ростовкой области)» – на 0,6 %. Следовательно, объем воздушно-сухих монолитов стал меньше за счет, прежде всего, испарения влаги, которое сопровождается объемной усадкой. Линейной усадкой в данном случае мы пренебрегаем, поскольку ее величину учесть не представляется возможным.

Таблица 1 – Определение объемной усадки почвы на почвенных монолитах (Почвенный музей имени С.А. Захарова кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ЮФУ)

Монолит, №	Почва	Объем влажного монолита*, см ³	Объем сухого монолита после усадки, см ³	Разница в объеме, см ³	Изменение объема, %
1	Чернозем долинный, Ростовская область (РО)	4975,0	4631,0	344,0	7,0
2	Чернозем остаточно-луговой, Азовский район РО	5000,0	4607,5	392,5	7,8
3	Чернозем остаточно-луговой осолоделый, Азовский район РО	5000,0	4702,5	297,5	5,9
4	Чернозем обыкновенный слитый осолоделый, Октябрьский район РО	4975,0	4945,0	30,0	0,6
5	Чернозем обыкновенный, Учхоз «Донское », заповедник	4750,0	4370,0	380,0	8,0
6	Чернозем обыкновенный мощный, Азовский район	5000,0	4925,0	75,0	1,5

	РО (0-100)				
7	Чернозем обыкновенный мощный, Азовский район РО (100-200)	4950,0	4631,2	318,8	6,4
8	Чернозем обыкновенный карбонатный, Аксайский район РО (0-100)	4775,0	4465,0	310,0	6,5
9	Чернозем обыкновенный карбонатный, Аксайский район РО (100-200)	5000,0	4520,0	480,0	9,6
10	Чернозем мощный, Миллеровский район РО	5000,0	4925,0	75,0	1,5
11	Чернозем обыкновенный карбонатный супесчаный, Веселовский район РО	4950,0	4900,0	50,0	1,0
12	Чернозем обыкновенный карбонатный, Аксайский район РО	4950,0	4655,0	295,0	5,6
13	Чернозем обыкновенный карбонатный Учхоз «Донское», пашня	4775,0	4207,5	567,5	12,0
14	Чернозем обыкновенный карбонатный, РО	4800,0	4441,2	385,8	8,0

* при естественной влажности во время отбора монолита

На основании полученных данных нами предложен принцип построения зависимости плотности почвы от циклов «набухание — усадка», а также сделаны поправки к базовым расчетам определения запаса вещества в почве. Для построения данной модели использовали монолит № 5 «Чернозем обыкновенный карбонатный, Учхоз Донского аграрного университета «Донское» (п. Персиановский, Ростовская область), заповедный участок степи (объемная усадка – 8 %).

I. Алгоритм построения «зависимости» влажности и плотности исследуемой почвы.

Шаг 1. Определить влажность почвы в момент отбора монолита: Дано: Почва – образец № 5 «Чернозем обыкновенный, Учхоз «Донское», заповедник»; плотность почвы – (ρ_b) – 1,2 г/см³ (наиболее типичное значение для черноземов обыкновенных карбонатных Нижнего Дона); максимальная гигроскопическая влажность ($W_{мгс}$) – 9,9 % (величина получена экспериментально); наименьшая влагоемкость $W_{нв}$ – 35 %; объемная усадка V_y – 8 %; содержание гумуса – 4,5 %.

Шаг 2. Определяем влажность, соответствующую максимальной молекулярной влагоемкости:

$W_{ммв} = 1,5 \times W_{мгс} = 1,5 \times 9,9 = 14,85$ % (влажность выражена в абсолютных (массовых) процентах).

Шаг 3. Выражаем данную величину в объемных процентах согласно формуле:

$$W_v = W \times \rho_b, \quad (2)$$

где W_v – влажность в процентах от объема почвы; W – влажность в процентах от массы почвы; ρ_b – плотность почвы в г/см³.

$$W_v = 14,85 \times 1,2 = 17,82 \%$$

Полученное значение характеризует влажность, соответствующую максимальной молекулярной влагоемкости, выраженную в объемных процентах.

Шаг 4. Определяем влажность почвы в момент отбора монолита:

1. Исходим из того, что процесс «набухание-усадка», а, следовательно, и изменение объема почвы происходит только за счет поступления-расхода влаги, сначала рассчитываем величину влажности на момент отбора монолита, выраженную в объемных процентах. Причем приращение объема почвы происходит при достижении почвой влажности, превышающей $W_{ммв}$. Следовательно, величина V_y будет соответствовать объему воды, которую почва поглощает сверх $W_{ммв}$:

$$W_v = 17,82 \% + 8 \% = 25,82 \% \text{ (объемные проценты)}$$

Таким образом, влажность почвы в момент отбора монолита составляла 25,82 % (объемные проценты).

2. Выражаем данную влажность в абсолютных процентах:

$$W_0 = 25,82 \div 1,2 = 21,52 \%$$

Следовательно, на момент взятия монолита почвы влажность почвы составляла 21,52 %, а плотность почвы при данной влажности – 1,2 г/см³.

Шаг 5. Определяем плотность почвы при изменении влажности почвы на 1 %. Дальнейшие расчеты проводятся до величин влажности, лежащих в интервале от максимальной молекулярной влагоемкости ($W_{ммв}$) до наименьшей влагоемкости ($W_{нв}$). Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Плотность чернозема обыкновенного карбонатного в зависимости от динамики влажности

W, %	ρ_b г/см ³	W, %	ρ_b г/см ³	W, %	ρ_b г/см ³	W, %	ρ_b г/см ³
14,85*	1,30	20,00	1,22	25,00	1,16	31,00	1,09
15,00	1,29	21,00	1,21	26,00	1,14	32,00	1,07
16,00	1,28	21,52	1,20*	27,00	1,13	33,00	1,06
17,00	1,26	22,00	1,18	28,00	1,12	34,00	1,05
18,00	1,25	23,00	1,17	29,00	1,11	35,00*	1,04
19,00	1,23	24,00	1,17	30,00	1,10		

Примечание: * выделены значения, полученные экспериментально.

В своих рассуждениях мы исходили из того, что изменение влажности почвы сопровождается и изменением ее объема, а, следовательно, и

плотности сложения. На основании полученных результатов нами построен график «зависимости» между влажностью и плотностью почвы (рис. 1).

Следует отметить, что данный график отражает взаимосвязь между влажностью и плотностью только для исследованного нами монолита. Подобные графики необходимо строить для каждой конкретной почвы. При этом будет изменяться интервалы влажности и плотности, а также угол наклона прямой.

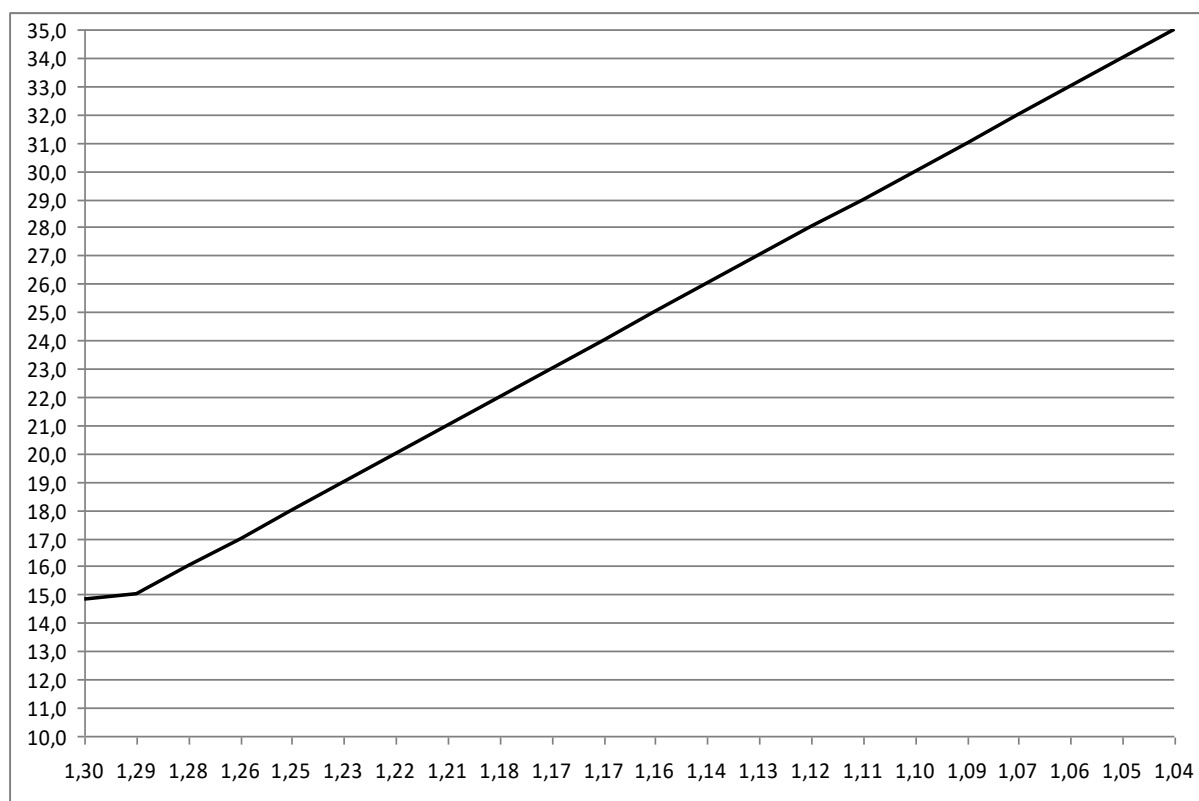


Рисунок 1 - «Зависимость» между влажностью и плотностью чернозема обыкновенного карбонатного (образец № 5)

Данный график позволяет определять плотность почвы чернозема обыкновенного карбонатного (монолит № 5, Учхоз «Донское», заповедник) по результатам полевой влажности W_0 и наоборот.

Однако обращаем внимание, что слово «зависимость» взято нами в кавычки. Выше нами отмечалось, что в физическом смысле плотность – величина, не связанная с влажностью, поскольку характеризует только единицу массы тела (почвы) в единице его объема. «Зависимость» же между плотностью и влажностью почвы является отражением «ошибок» аналитического определения плотности набухающих почв.

II. Расчет общей пористости (P_0).

Полученные нами данные представлены в таблице 3. Результаты

расчета общей пористости (P_o) указывают на ошибочность представлений о «зависимости» плотности и влажности почвы (табл. 2), поскольку не пористость зависит от влажности, а наоборот влажность (точнее запас влаги в почве) определяется объемом пустот. Следовательно, величина общей пористости не должна изменяться при динамике влажности.

Таблица 3 - Плотность чернозема обыкновенного карбонатного в зависимости от динамики влажности

W, %	ρ_b г/см ³	ρ_s г/см ³	P_o , %	W, %	ρ_b г/см ³	ρ_s г/см ³	P_o , %
14,85*	1,30	2,48	47,6	25,00	1,16	2,48	53,4
15,00	1,29	2,48	47,8	26,00	1,14	2,48	53,9
16,00	1,28	2,48	48,5	27,00	1,13	2,48	54,4
17,00	1,26	2,48	49,1	28,00	1,12	2,48	54,8
18,00	1,25	2,48	49,6	29,00	1,11	2,48	55,3
19,00	1,23	2,48	50,2	30,00	1,10	2,48	55,8
20,00	1,22	2,48	50,8	31,00	1,09	2,48	56,2
21,00	1,21	2,48	51,3	32,00	1,07	2,48	56,7
21,52	1,20*	2,48	51,6	33,00	1,06	2,48	57,1
22,00	1,18	2,48	52,3	34,00	1,05	2,48	57,5
23,00	1,17	2,48	52,8	35,00*	1,04	2,48	57,9
24,00	1,17	2,48	52,9				

Полученные «зависимости» между пористостью и влажностью почвы указывают на методические ошибки при определении плотности как одного из параметров, который используется при расчете пористости.

III. Расчет запасов гумуса

Рассчитываем запас гумуса в т/га по формуле [3]:

$$ЗВ = C \% \times h \times \rho_b, \quad (3)$$

где C – содержание гумуса, выраженное в %; h – мощность слоя (см); ρ_b – плотность почвы, в г/см³. При этом для расчета используем значения плотности почвы с поправкой на её влажность в момент отбора, используя значения плотности сложения, полученные экспериментально.

1. Рассчитываем запас гумуса в т/га для значений плотности, полученные при влажности почвы $W_1 = 15 \%$, $W_2 = 22 \%$, $W_3 = 35 \%$:

$$ЗВ_1 = 4,5 \% \times 20 \text{ см} \times 1,3 \text{ г/см}^3 = 117 \text{ т/га};$$

$$ЗВ_2 = 4,5 \% \times 20 \text{ см} \times 1,2 \text{ г/см}^3 = 108 \text{ т/га};$$

$$ЗВ_4 = 4,5 \% \times 20 \text{ см} \times 1,0 \text{ г/см}^3 = 90 \text{ т/га};$$

Полученные данные свидетельствуют о том, что запас гумуса будет зависеть от плотности почвы, которая, в свою очередь, «зависит» от влажности (табл. 4). Соответственно, выводы о положительном или отрицательном балансе гумуса также будут, в конечном итоге, «зависеть»

от полевой влажности почвы, при которой отбирали образцы для определения плотности почвы буровым методом. Так, максимальная погрешность определения запаса гумуса для исследуемой почвы может достигать 27 т/га.

Во избежание ошибки в расчетах следует учесть, что при различной влажности почвы мощность слоя также меняется, поскольку в формуле содержится три переменных. Так как динамика влажности почвы сопровождается увеличением/уменьшением объема почвы (вследствие набухания/усадки), которое происходит не только за счет изменения плотности, но и за счет динамики мощности расчетного слоя. При этом масса почвенного материала остается неизменным. Это необходимо учитывать в расчетах.

2. Поправка в расчетах запаса гумуса при динамике плотности почвы:

А. Вычисляем, во сколько раз изменилась плотность при динамике влажности в интервале от $W_1 = 14,85\%$ до $W_2 = 21,52\%$:

$$\rho_{b1} 1,30 \div \rho_{b2} 1,20 = 1,083 \text{ раз.}$$

Вычисляем мощность слоя почвы с поправкой на влажность при $W_2 = 21,52\%$:

$$h_2 = 1,083 \times 20 = 21,67 \text{ см} \Rightarrow$$

$$ЗВ_2 = 4,5 \times 21,67 \times 1,20 = 117 \text{ т/га}$$

Таблица 4 – Запас гумуса в черноземе обыкновенном карбонатном с учетом поправки на динамику мощности почвы

W_0 , %	ρ_b , г/см ³	h, см	Содержание гумуса, %	Запас гумуса, т/га (без поправки)	Поправка на мощность, см	Запас гумуса в т/га (с поправкой)
1	2	3	4	5	6	7
14,85*	1,30	20,0	4,5	117,0	20,0	117,0
15,00	1,29	20,0	4,5	116,4	20,1	117,0
16,00	1,28	20,0	4,5	115,1	20,3	117,0
17,00	1,26	20,0	4,5	113,7	20,6	117,0
18,00	1,25	20,0	4,5	112,4	20,8	117,0
19,00	1,23	20,0	4,5	111,1	21,1	117,0
20,00	1,22	20,0	4,5	109,9	21,3	117,0
21,00	1,21	20,0	4,5	108,6	21,5	117,0
21,52	1,20*	20,0	4,5	108,0	21,7	117,0
22,00	1,18	20,0	4,5	106,4	22,0	117,0
23,00	1,17	20,0	4,5	105,3	22,2	117,0
24,00	1,17	20,0	4,5	105,1	22,3	117,0
25,00	1,16	20,0	4,5	104,0	22,5	117,0
26,00	1,14	20,0	4,5	102,9	22,7	117,0
27,00	1,13	20,0	4,5	101,9	23,0	117,0
28,00	1,12	20,0	4,5	100,8	23,2	117,0
29,00	1,11	20,0	4,5	99,7	23,5	117,0
30,00	1,10	20,0	4,5	98,7	23,7	117,0
31,00	1,09	20,0	4,5	97,7	23,9	117,0

32,00	1,07	20,0	4,5	96,7	24,2	117,0
33,00	1,06	20,0	4,5	95,8	24,4	117,0
34,00	1,05	20,0	4,5	94,8	24,7	117,0
35,00**	1,04	20,0	4,5	93,9	25,0	117,0

Примечание: экспериментально установленные значения влажности почвы на пределе усадки (*) и на пределе набухания (**).

Б. Вычисляем, во сколько раз изменилась плотность при динамике влажности в интервале от $W_1 = 14,85\%$ до $W_3 = 35,00\%$:

$$\rho_{b1} 1,30 \div \rho_{b3} 1,00 = 1,30 \text{ раз;}$$

Вычисляем поправку на мощность слоя почвы при влажности $W_3 = 35\%$:

$$h_3 = 1,30 \times 20,0 = 25,0 \text{ см} \Rightarrow$$

$$ЗВ_3 = 4,5 \times 25,0 \times 1,04 = 117 \text{ т/га}$$

Выполненные нами корректировочные расчеты с учетом плотности (столбец 2) и приращения мощности слоя почвы (столбец 6) в зависимости от влажности (столбец 1), дают нам одинаковые величины, характеризующие запас гумуса — 117 т/га (столбец 7). При этом, без учета поправки на мощность расчетного слоя (столбец 5) динамика запасов гумуса при одном и том же его содержании (столбец 4) лежит в интервале от 117 т/га при плотности сложения $\rho_{b1} 1,30 \text{ г/см}^3$ (влажность почвы $W_0 = 14,85\%$) до 93,9 т/га при плотности сложения $\rho_b 1,04 \text{ г/см}^3$ (влажность почвы $W_0 = 35,00\%$).

Однако в практике исследований агрофизических свойств почвы исследователь проводит полевые работы, включая определение плотности сложения, в довольно узком диапазоне влажности почвы, когда почва находится в состоянии «физической спелости», т.е. не налипает на металлические поверхности (лопата, режущие кольца или буры). В таком случае влажность почвы лежит в интервале от 20 % до 25 % (данные для чернозема обыкновенного карбонатного).

Согласно таблице 4, плотность сложения в указанном интервале влажности почвы составит $1,22 \text{ г/см}^3 - 1,16 \text{ г/см}^3$ или с учетом точности измерений $1,2 \text{ г/см}^3$. Тогда запас гумуса в слое 0–20 см при его содержании 4,5 % составит 108 т/га. При этом ошибка в определении запасов гумуса составит 9 т/га (разница между 117 т/га и 108 т/га).

Выводы

1. На основании проведенных исследований предлагается ввести в почвоведение следующую систему терминов для характеристики плотности сложения почвы: «плотность почвы на пределе усадки» и «плотность почвы на пределе набухания». Считаем, что характеризовать плотность сложения возможно только с учетом интервала. В нашем случае исследованная почва (чернозем обыкновенный карбонатный)

характеризуется плотностью сложения в интервале от $1,30 \text{ г/см}^3$ до $1,04 \text{ г/см}^3$.

2. Для корректного расчета запаса вещества следует учитывать все три переменные, т.е. значения, соответствующие процентному содержанию вещества (гумуса, влаги и т.д.), изменение мощности расчетного слоя и плотность сложения почвы. При этом если плотность определяется при естественной влажности, отличной от граничных значений ($W_{\text{ММВ}}$ и $W_{\text{НВ}}$), то обязательно необходимо делать поправку на мощность слоя почвы:

а) для расчета запаса вещества необходимо использовать значение плотности сложения при максимальной усадке почвы. При этом поправку на мощность не делают, поскольку ее величина является минимальной (в рассмотренном нами случае $h - 20 \text{ см}$);

б) для расчета запаса вещества возможно использовать значение плотности сложения при максимальном набухании почвы с обязательной поправкой на изменение мощности набухающего слоя.

Список литературы

1. Болдырева В.Э., Варельджан Д.Э., Колесникова Н.А., Безуглова О.С., Морозов И.В. Способ устранения ошибок расчета запасов вещества в почве // В сборнике: Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса. Юбилейный сборник научных трудов XIII международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Донского государственного технического университета (Ростовского-на-Дону института сельхозмашиностроения), в рамках XXIII Агропромышленного форума юга России и выставки «Интерагромаш». В 2-х томах, 2020. – С. 442– 445.
2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высшая школа, 1973. – 399 с.
3. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
4. Качинский Н.А. Физика почв. Ч. I. М.: Высшая школа, 1965. – 322 с.
5. Колесникова Н.А., Варельджан Д.Э., Морозов И.В. Особенности изучения физических свойств черноземов обыкновенных карбонатных Ростовской области // Живые и биокосные системы, 2019. – № 30; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-30/article-5>.
6. Морозов И.В., Варельджан Д.Э., Боровикова Я.В., Колесникова Н.А. Методические принципы определения плотности сложения черноземных почв // «Живые и биокосные системы», 2017. – № 22; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-22/article-9>.
7. Панин И. С. К вопросу о влиянии влажности на величину объемного веса почвы// Почвоведение, 1960. № 9. – С.108– 110.

Spisok literatury

1. Boldyreva V.E., Varel'dzhan D.E., Kolesnikova N.A., Bezuglova O.S., Morozov I.V. Sposob ustraneniya oshibok rascheta zapasov veshchestva v pochve // V sbornike: Sostoyanie i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa. YUbilejnyj sbornik nauchnyh trudov XIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Rostovskogo-na-Donu instituta sel'hoz mashinostroeniya), v ramkah XXIII Agropromyshlennogo foruma yuga Rossii i vystavki «Interagromash». V 2-h tomah, 2020. – S. 442– 445.
2. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskikh svojstv pochv i gruntov. M.: Vysshaya shkola, 1973. – 399 s.
3. GOST 5180-2015. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya fizicheskikh harakteristik.
4. Kachinskij N.A. Fizika pochv. CH. I. M.: Vysshaya shkola, 1965. – 322 s.
5. Kolesnikova N.A., Varel'dzhan D.E., Morozov I.V. Osobennosti izucheniya fizicheskikh svojstv chernozemov obyknovennykh karbonatnykh Rostovskoj oblasti // ZHivye i biokosnye sistemy, 2019. – № 30; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-30/article-5>.
6. Morozov I.V., Varel'dzhan D.E., Borovikova YA.V., Kolesnikova N.A. Metodicheskie principy opredeleniya plotnosti slozheniya chernozemnykh pochv // «ZHivye i biokosnye sistemy», 2017. – № 22; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-22/article-9>.
7. Panin I. S. K voprosu o vliyanii vlazhnosti na velichinu ob'em-nogo vesa pochvy// Pochvovedenie, 1960. № 9. – S.108– 110.