

Рус. УДК631.431.1

Методические принципы определения плотности сложения черноземных почв
Морозов Игорь Вадимович, Варельджан Диана Эдуардовна, Боровикова Яна Валерьевна, Колесникова Надежда Андреевна

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия; migovad@sfedu.ru

Аннотация:

Плотность почвы – фундаментальная физическая величина, широко используемая в почвоведении для оценки соотношения между твердой, жидкой и газообразной фазами почвы, расчета общей и дифференциальной пористости, запасов вещества, оценки степени сложения и других почвенно-экологических, агрофизических характеристик.

Целью исследования является разработка методических принципов определения плотности сложения черноземных почв.

Особенность чернозема обыкновенного карбонатного изменять объем при изменении влажности явилась решающей при выборе объекта исследования. Для определения плотности почвы использовали буровой и расчетный методы.

Проведенные исследования показали, что динамика влажности почвы является причиной объемных изменений в почве, что и фиксируется нами в виде таких параметров, как объемная усадка и объем набухания. При этом объемные изменения неизбежно должны находить отражение и в изменении величин плотности почвы. Именно с явлениями набухания и усадки связана динамика плотности сложения почвы. При этом, результат определения плотности сложения почвы будет зависеть от исходного состояния почвы: ее влажности и, соответственно, занимаемого объема. Одна и та же почва, может иметь различную величину плотности – 1,2 г/см³ и 1,8 г/см³ соответственно. Данные значения соответствуют двум возможным предельным состояниям почвы как физического тела с изменяющимся объемом. Мы считаем, что имеющиеся методы требуют концептуального решения – при расчете плотности сложения предлагается учитывать динамику объема почвы, определяя, тем самым, интервал «плотность на пределе усадки – плотность на пределе набухания».

Ключевые слова: плотность почвы, усадка, набухание, пластичность.

Eng. Methodical principles for determining the bulk density of chernozem
Morozov Igor V., Vareldzhan Diana E., Borovikova Yana V., Kolesnikova Nadezhda A.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia; migovad@sfedu.ru

Abstract:

Bulk density of soils is a fundamental physical value, which is used in soil science to assess the relationship between solid, liquid and gaseous phases of the soil, to

calculation of the total and differential porosity, stocks of substance, estimation of the degree of addition, and other agrophysical characteristic.

The purpose of the research is designing of methodical principles for determining of the bulk density of chernozem. The feature of ordinary calcareous chernozem is the change in volume when moisture is varied, it was decisive when research object was choosing. Drilling and calculation methods were used to determine the soil density. Studies have shown that the dynamics of soil moisture is the reason of bulky changes in the soil, which is fixed by us in the form of parameters such as volume compaction and swelling volume. Also volume changes inevitably must be reflected in the change of the parameters of soil density. The dynamics of the bulk density when the soil moisture change is due to the phenomena of swelling and compaction exactly. At that the result of determination of soil bulk density will depend on the initial condition of soil: its moisture and, the occupied volume accordingly. The same soil can have different bulk density values - 1.2 g / cm³ and 1.8 g / cm³, respectively. These values correspond to two possible limiting status of soil as a physical body with a variable volume. We think that the available methods require a conceptual solution; when calculating the bulk density, it is proposed to take into account the dynamics of the volume of the soil, determining the interval «compaction limit of bulk density - swelling limit of bulk density».

Keywords: soil bulk density, compaction, swelling, plasticity.

Введение

Одним из основных показателей физического состояния почвы является ее плотность сложения, которая под действием различных факторов очень динамична, изменяется во времени и в пространстве. Плотность почвы обуславливает многие почвенные процессы (водный, воздушный, тепловой и др.), а также напрямую влияет на рост и развитие растений [23].

Данные по плотности почвенных слоев и горизонтов обязательно сопровождают полную характеристику почвенного профиля. Без знания этой величины невозможны никакие расчеты, никакая количественная оценка почв. Например, расчет общей пористости, запаса питательных веществ, воды, гумуса, нормы полива, массы слоя почвы [11]. Величина плотности почвы в естественном состоянии используется для расчета объема земляных работ, расчета энергетических затрат при обработке почвы [3].

Существует много методов определения плотности сложения почв. Однако при изучении черноземов, обладающих заметной набухаемостью при увлажнении и усадкой при высыхании, зависимость плотности от постоянно меняющейся естественной влажности столь велика, что возникают сомнения в целесообразности изучения данного показателя в разовых полевых определениях при соответствующей зафиксированной влажности почвы [15].

Целью данного исследования является разработать методические принципы определения плотности сложения черноземов.

Объект и методы исследования

Объектом исследования является чернозем обыкновенный карбонатный среднесплодный тяжелосуглинистый иловато-пылеватый на желто-бурых лессовидных тяжелых суглинках (на примере Ботанического сада ЮФУ, г. Ростов-на-Дону). Чернозем обыкновенный карбонатный характеризуется существенным изменением объема при увлажнении, проявляя способность к набуханию и усадке. Данная особенность почвы явилась решающим фактором при выборе объекта исследования, так как изменение объема вносит существенные коррективы в результаты определения плотности сложения почвы и подходы к интерпретации полученных данных [16].

Для достижения поставленной цели мы провели анализ научной, учебной, научно-методической и учебно-методической литературы. Провели сравнительный анализ понятийно-терминологического аппарата и методов, в том числе и стандартных, на основе логико-терминологического анализа, разработанного и предложенного И. В. Морозовым [17]. Анализ предполагает выделение предмета исследования путем пошагового сопоставления системы «термин → научное определение (дефиниция) → метод → результат → классификация».

По определению, плотность сложения ρ_b – это масса сухой почвы ненарушенного сложения в единице ее объема, т.е. со всеми свойственными естественной почве пустотами или, другими словами, это масса единицы объема почвы в ее естественном, ненарушенном состоянии [6].

В данном определении специально уточняется, что объектом является сухое тело («масса сухой почвы»). Значит формально, согласно физическим представлениям о понятии «плотность тела», под плотностью почвы следует понимать отношение массы сухой почвы (ненарушенного сложения) к объему сухой почвы (ненарушенного сложения). Но фактически при использовании бурового метода (или метода режущих колец), основанного на определении объема почвы ненарушенного сложения по внутреннему объему бура [23], данный показатель определяется как отношение массы сухого тела (ненарушенного сложения) к объему влажного тела.

Именно такое представление о плотности почвы и является источником ошибок и противоречий, которые в настоящее время не нашли решения в почвоведении и физике почв, в частности. Например, к таким ошибкам относится утверждение о том, что плотность почвы зависит от ее влажности [18]. Проблема в том, что экспериментально действительно обнаруживается такая зависимость, что связано с объемными изменениями, причиной которых и является увеличение и уменьшение влажности почвы.

Для решения проблемы изучения плотности почв, подверженных объемным изменениям, мы исходили из того, что изменение влажности почвы сопровождается изменением ее объема, а, следовательно, при определении

плотности буровым методом, в режущее кольцо в зависимости от величины естественной влажности попадает разное количество почвы. При этом особенность метода заключается в том, что в зависимости от влажности почвы (то есть объемных изменений) режущим кольцом будет отбираться разная масса почвы (с учетом пересчета на сухую навеску) при неизменном объеме данного кольца.

Таким образом, чем выше влажность исследуемой почвы, то есть выше ее набухаемость, тем меньшее количество сухой почвы отсекается режущим кольцом, следовательно, тем меньшее значение мы получаем при расчете плотности. Это обстоятельство и приводит к последующим ошибкам в определении запаса вещества, запаса влаги, расчете общей и дифференциальной пористости, неверной оценке агрофизического состояния и др. Следовательно, можно сделать вывод, что ошибки заключаются в выборе способа определения плотности почвы и неверной интерпретации полученных результатов.

Исходя из таких представлений, мы предлагаем ввести следующие понятия:

- «приведенная плотность почвы» – отношение массы сухой почвы ненарушенного сложения к объему почвы при влажности предельного набухания;
- «плотность почвы на пределе усадки» – отношение массы сухой почвы ненарушенного сложения к объему почвы при влажности на пределе усадки.

Предел усадки почвы характеризует такое ее состояние сложения, после достижения, которого с дальнейшим уменьшением влажности, объем почвы перестает уменьшаться и образец переходит из полутвердой в твердую консистенцию. Предел усадки может характеризоваться не только влажностью, при которой он наступает, но и значениями, характеризующими линейные и/или объемные изменения [16].

Предлагаемые нами категории плотности почвы будут определяться преимущественно внутренними свойствами самой почвы.

Для подтверждения предлагаемых положений, в лабораторных условиях нами определены следующие показатели:

- плотность чернозема обыкновенного карбонатного Ботанического сада ЮФУ с учетом динамики данного параметра в горизонтах A_p , $A_{p/пах}$ и B_1 (глубина 0–65 см);
- плотность горизонта $A_{p/пах}$ чернозема обыкновенного карбонатного Ботанического сада ЮФУ в 3-х кратной аналитической повторности;
- полевая влажность исследуемой почвы с учетом динамики данного параметра по профилю;
- объемная усадка почвы в горизонтах A_p , $A_{p/пах}$ и B_1 (глубина 0–60 см).
- данные показатели были использованы для расчета приведенной плотности почвы (т.е. плотности почвы на пределе набухания) и плотности почвы на пределе усадки.

Верхний и нижний пределы пластичности определяли по ГОСТ 5180-84 [7], а усадку путем геометрических измерений почвенных блоков с использованием штангенциркуля.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты (табл. 1) показали, что исследуемая почва в ненарушенном сложении характеризуется как уплотненная с постепенным увеличением данного параметра вниз по профилю. Так, в горизонте $A_{п}$ плотность составила $1,25 \text{ г/см}^3$, в горизонте $A_{п/пах}$ – $1,36 \text{ г/см}^3$ и в горизонте B_1 – $1,38 \text{ г/см}^3$.

Таблица 1 – Физические свойства чернозема обыкновенного карбонатного (Ботсад ЮФУ, объем цилиндра – 238 см^3)

Горизонт и глубина отбора образцов, см		Влажность почвы, %	Плотность сухой почвы*, г/см^3	Объемная усадка, %	Плотность почвенного блока, г/см^3	Дифференциальная пористость, %		
						Общая	Внутриблочная	Трещиноватость
$A_{п}$	0–10	16,5	1,25	29,0	1,76	51,0	30,9	20,1
$A_{п/пах}$	10–45	14,1	1,36	11,1	1,53	47,1	40,4	6,7
B_1	45–60	17,5	1,38	7,4	1,49	46,1	42,0	4,1

*Примечание: плотность почвы определена по стандартной методике (буровым методом), принятой в почвоведении.

Данные закономерности не противоречат литературным данным и являются характерными для черноземов обыкновенных карбонатных при соответствующей полевой влажности [1, 5, 9, 13, 20, 21, 24].

Кроме того, нами определена объемная усадка почвенных образцов ненарушенного сложения, величина которой изменяется в интервале от 29,0 % в горизонте $A_{п}$ до 7,4 % в горизонте B_1 . Данная величина использована для расчета плотности сухого почвенного блока ненарушенного сложения, образующегося в результате усадки. Плотность блока составила $1,76 \text{ г/см}^3$, $1,53 \text{ г/см}^3$ и $1,49 \text{ г/см}^3$ в горизонте $A_{п}$, $A_{п/пах}$ и B_1 соответственно.

Полученные результаты плотности почвы и почвенного блока позволяют рассчитать дифференциальную пористость исследуемых образцов, подразделив общую пористость на внутриблочные полости и трещины (трещиноватость). Так, в горизонте $A_{п}$ общая пористость составила 51 %, в том числе на долю

внутриблочной пористости приходится 30,9 % от объема всей почвы, а на объем трещин – 20,1 %. Следует отметить, что в почвоведении отсутствует методика определения объема почвы, приходящегося на трещины [4, 9, 14, 22]. Данный показатель определен нами впервые.

Проведенные исследования показали, что на результаты плотности и связанные с данным параметром показатели большое влияние оказывают условия проведения эксперимента. Нами установлено, что при использовании цилиндров (буриков) с большим объемом и в условиях пониженной влажности почвы (при влажности черноземов обыкновенных карбонатных меньше 21 – 25 %) не исключается деформация почвенного образца, что приводит к существенным искажениям результатов исследований.

Для уточнения исследуемого параметра нами определена величина плотности сложения горизонте A_n в 3-х кратной аналитической повторяемости с учетом различной влажности почвенных микромонолитов. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Плотность сложения горизонта A_n чернозема обыкновенного карбонатного

Горизонт и глубина отбора образцов, см	Влажность почвы, %	Плотность сухой почвы, г/см ³	Объемная усадка, %	Плотность почвенного блока, г/см ³	Дифференциальная пористость после усадки, %		
					общая	внутриблочная	трещиноватость
Дата отбора микромонолитов 2.07.2014 г.							
Повторность 1	16,5	1,25	5,1	1,32	51,0	48,3	2,6
Повторность 2			4,8	1,31	51,4	48,9	2,4
Повторность 3			4,5	1,31	51,2	48,9	2,3
Дата отбора микромонолитов 16.07.2014 г.							
Повторность 1	22,8	1,25	9,6	1,38	51,0	45,8	5,2
Повторность 2			9,5	1,38	51,4	46,2	5,1
Повторность 3			9,0	1,37	51,2	46,3	4,8

Результаты показали, что на величину объемной усадки и, соответственно, плотность почвенного микромонолита (блока), внутриблочную пористость и трещиноватость, рассчитываемые после полного испарения влаги (усадки образца), большое влияние оказывает начальная полевая влажность почвенного образца, то есть влажность почвы на момент проведения эксперимента. Таким образом, подтверждается тезис о том, что величина плотности сложения «зависит» от полевой влажности почвы. Однако мы уже подчеркивали ошибочность такого утверждения.

Для разработки принципов исследования плотности сложения почв, в первую очередь, нами были определены показатели влажности, соответствующие двум

крайним параметрам объемных изменений – при максимальном набухании (на пределе набухания) и максимальной усадке (на пределе усадки).

Для решения этой задачи был определен верхний предел пластичности, так как он соответствует влажности почвы при максимальном объемном набухании, и нижний предел пластичности, соответствующий влажности при максимальной усадке. Анализы проводили в 4-х-кратной аналитической повторности. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Пределы пластичности чернозема обыкновенного карбонатного

Горизонт	Влажность на нижнем пределе пластичности, (W_p)	Влажность на верхнем пределе пластичности, (W_L)	Число пластичности, (I_{cp})
A _п	25,6	45,2	19,6
A _{п/пах}	22,7	40,8	18,1
B ₁	21,1	39,9	18,8
B ₂	21,1	42,3	21,2
C	21,4	42,1	20,7

Полученные результаты показали, что исследуемая почва характеризуется как тяжелосуглинистая, так как I_{cp} изменяется в интервале от 10 до 20 [2], высокопластичная – $I_{cp} > 17$ по всему профилю [10, 12, 20].

Для уточнения разрабатываемых принципов изучения плотности почвы нами проведены лабораторные исследования для изучения зависимости между плотностью, динамикой влажности и усадкой почвенных образцов. В условиях лабораторного эксперимента фиксировали следующие параметры:

- начальное состояние образца: влажность пасты, соответствующая верхнему пределу пластичности;
- объем пасты, соответствующий объему формы;
- динамику влажности в интервале от верхнего предела пластичности до воздушно-сухого состояния образца (по убыли массы);
- динамику объема и плотности сложения.

Кроме того, для вычисления плотности сложения мы определили два новых показателя: «плотность сухой почвы» и «плотность влажной почвы».

Плотностью сухой почвы (т.е. на пределе усадке) является отношение массы абсолютно сухой почвы ненарушенного сложения к объему абсолютно сухой почвы ненарушенного сложения при максимальной объемной усадке (на пределе усадки). Для количественного определения данного показателя возможно использование фиксажного метода.

Плотностью влажной почвы (на пределе набухания) является отношение массы влажной почвы ненарушенного сложения к объему влажной почвы ненарушенного сложения при максимальном объемном набухании (на пределе набухания). Для количественного определения данного показателя возможно использование метода режущих колец.

Результаты лабораторного эксперимента, представленные в таблице 4, показали, что плотность сложения почвы зависит от объемных изменений, которые, в свою очередь, вызваны динамикой влажности. При испарении влаги происходит уменьшение объема почвенного образца (то есть усадка), что приводит к изменению его линейных размеров и, как следствие, изменению плотности сложения.

Таблица 4 – Результаты лабораторного эксперимента по изучению зависимости между плотностью почвы, объемной усадкой и динамикой влажности: плотность сложения влажной почвы, в г/см³ плотность сложения воздушно-сухой почвы, в г/см³

Горизонт	Верхний предел пластичности, %	Начальная влажность, %		Плотность влажной почвы, г/см ³	Динамика плотности почвенного образца, г/см ³					
		на в/с навеску	на а/с навеску		14.03.2016	15.03.2016	16.03.2016	17.03.2016	18.03.2016	21.03.2016
А _п	44,7	31,8	35,8	1,6	1,6	1,4	1,3	1,2	1,2	1,22
					1,2	1,5	1,8	1,8	1,8	1,77
А _{п/пах}	40,8	28,6	32,7	1,7	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,31
					1,3	1,6	1,9	1,9	1,9	1,91
В ₁	40,0	30,3	34,2	1,7	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,30
					1,3	1,5	1,9	1,9	1,9	1,88
В ₂	42,3	32,7	36,4	1,7	1,7	1,5	1,3	1,3	1,3	1,29
					1,3	1,6	1,9	1,9	1,9	1,86
С	42,1	34,3	37,8	1,8	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,31
					1,3	1,6	1,9	1,9	1,9	1,86

Примечание: в числителе – динамика плотности сложения влажных образцов (приведена к единице объема формы) при изменении его влажности; в знаменателе – динамика плотности сложения воздушно-сухих образцов (приведена к единице объема монолита) с учетом динамики его объемной усадки.

Почвенные образцы, перетертые пестиком с резиновым наконечником и просеянные через сито 1 мм, доводили до состояния пасты с влажностью, соответствующей верхнему пределу пластичности, что соответствует влажности

почвы на пределе набухания. В таблице 4 данный показатель обозначен как «начальная влажность», то есть, приведена влажность почвенной пасты на момент начала эксперимента.

На основании полученных экспериментальных данных нами рассчитаны следующие параметры:

- «плотность сложения влажной почвы», выраженная как отношение массы влажной почвы на объем формы;
- «плотность сложения воздушно-сухой почвы» (почвенного блока) с учетом уменьшения его объема в результате усадки, выраженная как отношение массы воздушно-сухого почвенного блока на его объем.

Рассчитанные параметры, выраженные и тем и другим способом, позволили нам установить причины и закономерности динамики плотности сложения при изменении влажности почвы

Согласно результатам, представленным в таблице 4, «плотность сложения влажной почвы» в горизонте $A_{\text{п}}$ изменяется в интервале от $1,6 \text{ г/см}^3$ (влажность образца – 35,8 %) до $1,2 \text{ г/см}^3$ (влажность образца – 4,2 %). При таком способе выражения плотности учитывается только динамика массы почвы в результате испарения влаги без учета объемных изменений. В каждой из шести контрольных точек (даты измерений) объем почвенного образца принимается за величину постоянную, то есть изменяется только масса образца, которая определяется уменьшением влаги в диапазоне влажности от верхнего предела пластичности до воздушно-сухого состояния почвы.

Однако испарение влаги сопровождается усадкой почвы, следствием чего является образование почвенного блока, у которого изменяется не только масса, но и объем. Изменение объема, при неизменной массе сухой почвы, может быть выражено в показателе «плотность сухой почвы».

Почвенные образцы, перетертые пестиком с резиновым наконечником и просеянные через сито 1 мм, доводили до состояния пасты с влажностью, соответствующей верхнему пределу пластичности, что соответствует влажности почвы на пределе набухания. В таблице 4 данный показатель обозначен как «начальная влажность», то есть, приведена влажность почвенной пасты на момент начала эксперимента. Так, в горизонте $A_{\text{п}}$ эта величина составила 44,7 %, в горизонте С – 42,1 %. На основании полученных экспериментальных данных были установлены причины и закономерности динамики плотности сложения при изменении влажности почвы.

Так, на момент начала эксперимента плотность сложения сухой почвы в горизонте $A_{\text{п}}$ составляет $1,2 \text{ г/см}^3$. Данная величина определяется следующими условиями: масса «сухой» (без учета гигроскопической влаги) почвы (блока) постоянна и составляет 122 г, объем почвы (блока) – 100 см^3 (на момент начала эксперимента) при постепенном уменьшении в результате испарения влаги. Исходя из данных условий, $\rho_{\text{б}} = 122 \text{ г} : 100 \text{ см}^3 \Rightarrow 1,22 \text{ г/см}^3$. Далее, по мере испарения влаги объем почвенного блока уменьшается, достигая через двое суток

постоянного объема. Дальнейшее уменьшение содержания влаги не приводит к объемным изменениям (то есть образец почвы достиг предела усадки), в связи с чем, далее плотность блока не меняется и составляет $1,76 \text{ г/см}^3$ (рис. 1).



Рис. 1 – Внешний вид почвенного блока после испарения влаги

Изучая динамику «плотности сложения сухой почвы» (на примере, воздушно-сухих образцов) важно иметь в виду, что масса сухой почвы всегда остается величиной постоянной, поскольку по условиям эксперимента почвенную пасту доводили до влажности, соответствующей максимальному набуханию, а затем помещали в форму с фиксированным объемом. При таких условиях эксперимента масса влажных образцов меняется только за счет испарения влаги при неизменной массе сухого вещества.

Согласно общепринятым правилам (ГОСТ 5180-84), определяют величину плотности сложения следующим образом:

$$\rho_b = 122 \text{ г} : 100 \text{ см}^3 \Rightarrow 1,22 \text{ г/см}^3$$

Однако данное условие не выполняется, поскольку такое состояние почвы возможно только в момент достижения почвой максимального объема за счет набухания, что впрочем, и не предусматривается методиками определения плотности сложения.

Таким образом, результат определения плотности сложения почвы будет зависеть от исходного состояния почвы: ее влажности и занимаемого объема. Возможно два состояния почвы в зависимости от ее объема: максимально возможный объем при максимальном набухании (состояние соответствует наименьшей влагоемкости) и минимально возможный объем при максимальной усадке (состояние соответствует максимальной молекулярной влагоемкости). И в том и в другом случае объем почвы принимается за отправную точку (то есть за 100 %), от которой и ведутся последующие расчеты.

Как показали наши примеры расчетов, ни в одном из методов определения плотности сложения почвы не учитывается фактор объемных изменений. В результате одна и та же почва, согласно рассмотренным примерам, может иметь различную величину плотности – $1,22 \text{ г/см}^3$ и $1,76 \text{ г/см}^3$ соответственно. Данные значения показывают два возможных предельных состояния почвы как 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/>

физического тела с изменяющимся объемом. Часто на практике исследователь фиксирует какое-либо промежуточное состояние.

Ситуация осложняется тем, что при использовании цилиндра с фиксированным объемом каждый раз в зависимости от степени увлажнения почвы, а соответственно и разной степени ее объемных изменений (набухания – усадки), вырезается разная масса влажной почвы.

Таким образом, в зависимости от количества влаги, каждый раз в цилиндр с фиксированным объемом попадает разная масса сухого вещества, и, как следствие, величина плотности из-за этого постоянно меняется. Исходя из вышесказанного, можно прийти к выводу, что именно использование фиксированного объема в расчете плотности сложения является причиной неверной интерпретации результатов определения величины плотности сложения. Именно с описанными выше процессами связано утверждение о том, что плотность сложения почвы зависит от влажности.

Выход из создавшейся ситуации мы видим в следующем:

1. В форму с фиксированным объемом (например, бур) помещаем почвенный образец с влажностью на пределе набухания для того, чтобы зафиксировать максимальное количество сухого вещества, которое может поместиться в данную форму.

2. Таким образом, устанавливается отправная точка, которая позволяет описать состояние почвы на пределе набухания. Далее можно исследовать изменение состояния почвы (влажности и объемных изменений) до точки, соответствующей состоянию на пределе усадки, то есть до достижения почвой влажности, соответствующей максимальной молекулярной влагоемкости.

3. С другой стороны, отправной точкой может послужить образец с влажностью на пределе усадки, и тогда от нее можно двигаться в обратную сторону, учитывая величину объемного набухания при увеличении влажности почвы.

4. Использование и первого, и второго вариантов предполагает необходимость фиксации объемных изменений в задаваемом интервале влажности и соответствующих каждому состоянию значений плотности сложения. При прочих равных условиях оба варианта дают практически сопоставимые результаты.

Проведенные нами исследования показали, что полученные стандартными методами величины плотности сложения почв, подверженных объемным изменениям, в подавляющем большинстве случаев являются промежуточными значениями. Мы считаем, что имеющиеся методы требуют существенной корректировки – при расчете плотности сложения предлагается учитывать динамику объема почвы, определяя, тем самым, интервал «плотность на пределе усадки – плотность на пределе набухания». Например, для горизонта $A_{п}$ чернозема обыкновенного карбонатного (Ботанический сад ЮФУ, г. Ростов-на-Дону) этот интервал в случае ненарушенного сложения составит – $1,38 \text{ г/см}^3$ – $1,10 \text{ г/см}^3$.

В таблице 5 представлены различные категории плотности сложения чернозема обыкновенного карбонатного (образцы нарушенного сложения), в том числе при влажности на пределе усадки и при влажности на пределе набухания.

Таблица 5 – Категории плотности сложения чернозема обыкновенного карбонатного

Горизонт	Плотность на пределе усадки, г/см ³	Плотность на пределе набухания, г/см ³	Плотность влажной почвы, г/см ³
A _п	1,76	1,22	1,61
A _{п/пах}	1,91	1,31	1,69
B ₁	1,88	1,30	1,70
B ₂	1,86	1,29	1,71
C	1,86	1,31	1,76

Из результатов таблицы 5 видно, что для горизонта A_п плотность при влажности на пределе набухания составляет 1,22 г/см³, а при влажности на пределе усадки – 1,76 г/см³. Оба эти значения верны, но используются для разных целей. Так, показатель «плотность на пределе набухания» необходимо использовать при расчете общей пористости, а показатель «плотность на пределе усадки» – при расчете запаса вещества в почве. Данные показатели плотности нельзя сводить к одному, выбрав среднее, так как можно не досчитаться, в одном случае, объема пор, а в другом, запаса вещества. Аналогичные диапазоны плотности наблюдаются и в других горизонтах.

Эксперименты с образцами в условиях лабораторного эксперимента позволили обнаружить методическую проблему – практически все почвенные блоки, полученные в результате усадки, имели те или иные деформации, которые затрудняли проведение геометрических измерений.

На момент измерения объема, почвенные блоки имели деформации, преимущественно в виде прогибов, которые связаны с краевыми эффектами налипания. Деформации, каверны и другие дефекты почвенного образца дают погрешность в определении плотности сложения из-за трудности в определении точного объема блока. Для устранения эффектов неравномерной усадки мы отшлифовали почвенные образцы. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты плотности сложения образцов с дефектами и без дефектов (отшлифованных)

Почвенный образец	Объемная усадка, %	Плотность таблетки на объем формы, г/см ³	Плотность блока, г/см ³
A _п (таблетка с дефектами),	31,92	1,19	1,74
A _п (шлифованная таблетка)	36,12	1,14	1,78
A _{п/пах} (таблетка с дефектами)	31,96	1,30	1,91
A _{п/пах} (шлифованная таблетка)	33,39	1,28	1,92
B ₁ (таблетка с дефектами)	32,04	1,29	1,90
B ₁ (шлифованная таблетка)	36,33	1,23	1,93
B ₂ (таблетка с дефектами)	31,52	1,29	1,88
B ₂ (шлифованная таблетка)	35,2	1,25	1,95
C (таблетка с дефектами)	31,34	1,28	1,86
C (шлифованная таблетка)	33,98	1,27	1,92

Результаты исследования показали, что плотность образцов почвенного блока без дефектов (шлифованные), как и следовало ожидать, больше плотности образцов почвенных блоков с дефектами в среднем на 0,04. Чем больше дефектов в образце, тем больше различия между определениями до и после шлифовки. Определение плотности сложения в шлифованных образцах отражает более точные результаты, так как в них погрешность в измерении объема сводится к минимуму.

Выводы

1. Результаты изучения плотности сложения чернозема обыкновенного карбонатного Ботанического сада ЮФУ показали, что горизонт A_п исследуемой почвы характеризуется следующими показателями: при полевой влажности (на момент исследования) 16,5 %, плотность сложения составила 1,25 г/см³, усадка объемная – 4,8 %. При полевой влажности 22,8 %, плотность сложения составила 1,25 г/см³, усадка объемная – 9,4 %. Полученные результаты характерны для данных почв и не противоречат литературным данным.

2. Динамика влажности почвы является причиной объемных изменений в почве, что и фиксируется нами в виде таких параметров, как объемная усадка и объем набухания. При этом объемные изменения неизбежно должны находить 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/>

отражение и в изменении величин плотности почвы. Именно с явлениями набухания и усадки связана динамика плотности сложения при изменении влажности почвы.

3. Результат определения плотности сложения почвы будет зависеть от исходного состояния почвы: ее влажности и занимаемого объема. Возможно два состояния почвы в зависимости от ее объема: максимально возможный объем при максимальном набухании (состояние соответствует наименьшей влагоемкости) и минимально возможный объем при максимальной усадке (состояние соответствует максимальной молекулярной влагоемкости). И в том, и в другом случае объем почвы принимается за отправную точку (то есть за 100 %), от которой и ведутся последующие расчеты.

Исследования показали, что, например, одна и та же почва, может иметь различную величину плотности – 1,2 г/см³ и 1,8 г/см³ соответственно. Данные значения соответствуют двум возможным предельным состояниям почвы как физического тела с изменяющимся объемом. Однако на практике в большинстве случаев исследователь фиксирует какое-либо промежуточное состояние.

4. Полученные нами стандартными методами величины плотности сложения почв, подверженных объемным изменениям, в подавляющем большинстве случаев являются промежуточными значениями. Мы считаем, что имеющиеся методы требуют существенной корректировки – при расчете плотности сложения предлагается учитывать динамику объема почвы, определяя, тем самым, интервал «плотность на пределе усадки – плотность на пределе набухания». Например, для горизонта А_п чернозема обыкновенного карбонатного (Ботанический сад ЮФУ, г. Ростов-на-Дону) этот интервал в случае ненарушенного сложения составит – 1,38 г/см³ – 1,10 г/см³.

Список литературы

1. Безуглова О.С., Невидомская Д.Г., Морозов И.В. Почвы территорий полигонов твердых бытовых отходов и их экология. Ростов-н/Д: Изд-во ЮФУ, 2010. – 232 с.
2. Белицина Г.Д., Васильевская В.Д., Гришина Л.А., Евдокимова Т.И. Почвоведение. Том 1. М.: Высшая школа. 1988. – С. 240-241.
3. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высшая школа, 1961. – 345 с.
4. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высшая школа, 1986. – 326 с.
5. Вальков В.Ф. Почвы и сельскохозяйственные растения. Ростов-н/Д: Изд-во Ростовского государственного университета, 1992. – 215 с.
6. Гилёв В.Ю. Физика почв: учебно-методические указания по полевой практике. Пермь. 2012. – 37 с.
7. ГОСТ 5180-8. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М: Издательство стандартов, 1985. – 25 с.

8. Грунтоведение. Под редакцией В.Т.Трофимова. 6-е изд., переработ. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.
9. Качинский Н.А. Физика почв. Часть I. М.: Высшая школа, 1965. – 322 с.
10. Козлова А.А. Лекционный курс. Часть 1. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2012. – 217 с.
11. Козлова А.А. Основы прикладного почвоведения: учебное пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2013. – С. 72-73.
12. Королев В.А. К методике определения плотности сложения почв тяжелого гранулометрического состава // Вестник ВГУ, серия: Химия. Биология. Фармация, 2007. № 1 – С. 76-79.
13. Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. М.: Агропромиздат, 1988. – 160 с.
14. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Под редакцией Е.М. Сергеева, С.Н. Максимова, Г.М. Березкиной. Т. 1. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. – 348 с.
15. Моисеева Т.С., Безуглова О.С., Морозов И.В. Определение плотности твердой фазы почвы в черноземе обыкновенном карбонатном // Фундаментальные исследования, 2011. № 11. – С. 147-177.
16. Морозов И. В. Учебно-методическое пособие к лабораторным занятиям по физике почв. Раздел «Физика жидкой части почв». Ростов-на-Дону. 2011. – С. 22-26.
17. Морозов И.В., Безуглова О.С. Классификации элементарных почвенных частиц в разных школах почвоведения // Фундаментальные исследования. 2011. № 12-2. – С. 281–285.
18. Почвоведение. Под редакцией И.С. Кауричева. М: Изд-во Агропромиздат, 1989. – С. 719.
19. Приклонский В.А. Грунтоведение. Т. 1. М: Государственное научно-техническое изд-во литературы по геологии и охране недр, 1955. – 423 с.
20. Ревут И.Б. Физика почв. Второе издание, дополненное и переработанное. Л.: Колос, 1972. – 368 с.
21. Садименко П.А., Симантовская К.И., Забегайлов А.А. Агрофизическая характеристика почв Ростовской области // Агрофизическая характеристика почв степной и сухостепной зон Европейской части СССР. М: Колос, 1977. – С. 135-153.
22. Теории и методы физики почв. Под редакцией Е.В. Шеина и Л.О. Карпачевского. М: Изд-во Гриф и К, 2007. – 616 с.
23. Федорец Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий: учебно-методическое пособие для студентов и аспирантов эколого-биологического факультета. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. – 84 с.
24. Шеин Е.В. Курс физики почв. М: Изд-во Московского университета, 2005. – 432 с.

Spisok literatury

1. Bezuglova O.S., Nevidomskaya D.G., Morozov I.V. Pochvy territorij poligonov tverdyx bytovyx otkodov i ix e'kologiya. – Rostov-n/D: Izd-vo YuFU, 2010. – 232 s.
2. Belicina G.D., Vasil'evskaya V.D., Grishina L.A., Evdokimova T.I. Pochvovedenie. Tom 1. - M.: Vysshaya shkola.- 1988. – S. 240-241.
3. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskix svojstv pochv i gruntov. – M: Gosudarstvennoe izd-tvo «Vysshaya shkola», 1961. – 345 s.
4. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskix svojstv pochv i gruntov. - M: Gosudarstvennoe izd-vo «Vysshaya shkola», 1986. - 326 s.
5. Val'kov V.F. Pochvy i sel'skoxozyajstvennye rasteniya. – Rostov-n/D: Izd-vo Rostovskogo gosuniversiteta, 1992. – 215 s.
6. Gilyov V.Yu. Fizika pochv: uchebno-metodicheskie ukazaniya po polevoj praktike – Perm'. – 2012. – 37 s.
7. GOST 5180-8. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya fizicheskix xarakteristik. – M: Izdatel'stvo standartov, 1985. – 25 s.4
8. Gruntovedenie. Pod redakciej V.T.Trofimova. — 6-e izd., pererabot. i dop. — M.: Izd-vo MGU, 2005. — 1024 s.
9. Kachinskij N.A. Fizika pochv. Chast' I. – M.: Vysshaya shkola, 1965. – 322 s.
10. Kozlova A.A. Lekcionnyj kurs. Chast' 1. – Irkutsk: Izd-vo Irkut. gos. un-ta, 2012. – 217 s.
11. Kozlova A.A. Osnovy prikladnogo pochvovedeniya: uchebnoe posobie – Irkutsk: Izd-vo Irkut. gos. un-ta, 2013. – S. 72-73.
12. Korolev V.A. K metodike opredeleniya plotnosti slozheniya pochv tyazhelogo granulometriceskogo sostava // Vestnik VGU, seriya: Ximiya. Biologiya. Farmaciya, 2007. – № 1 – S. 76-79.
13. Medvedev V.V. Optimizaciya agrofizicheskix svojstv chernozemov. – M.: Agropromizdat, 1988. – 160 s.
14. Metodicheskoe posobie po inzhenerno-geologicheskomu izucheniyu gornyx porod. Pod redakciej E.M. Sergeeva, S.N. Maksimova, G.M. Berezkinoj. T. 1. – M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1968. – 348 s.
15. Moiseeva T.S., Bezuglova O.S., Morozov I.V. Opredelenie plotnosti tverdoj fazy pochvy v chernozeme obyknovennom karbonatnom // Fundamental'nye issledovaniya, 2011. – № 11. – S. 147-177.
16. Morozov I. V. Uchebno-metodicheskoe posobie k laboratornym zanyatijam po Fizike pochv. Razdel Fizika zhidkoj chasti pochv. – Rostov-na-Donu. 2011. – S. 22-26.
17. Morozov I.V., Bezuglova O.S. Klassifikacii e'lementarnyx pochvennyx chastic v raznyx shkolax pochvovedeniya. – Fundamental'nye issledovaniya. – 2011. – № 12-2. – S. 281–285.
18. Pochvovedenie. Pod redakciej I.S. Kauricheva. – M: Izd-vo Agropromizdat, 1989. – S. 719.

19. Priklonskij V.A. Gruntovedenie. T. 1. – M: Gosudarstvennoe nauchno-
texnicheskoe izd-vo literatury po geologii i ohrane neдр, 1955. – 423 s.

20. Revut I.B. Fizika pochv vtoroe izdanie dopolnennoe i pererabotannoe. –
Leningrad: Izd-vo Kolos, 1972. – 368 s.

21. Sadimenko P.A., Simantovskaya K.I., Zabegajlov A.A. Agrofizicheskaya
karakteristika pochv Rostovskoj oblasti // Agrofizicheskaya karakteristika pochv
stepnoj i suxostepnoj zon Evropejskoj chasti SSSR. – M: izd-vo Kolos, 1977. – S. 135-
153.

22. Teorii i metody fiziki pochv. Pod redakciej E.V. Sheina i L.O. Karpachevskogo –
M: Izd-vo Grif i K, 2007. – 616 s.

23. Fedorec N.G., Medvedeva M.V. Metodika issledovaniya pochv
urbanizirovannyx territorij : uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov i
aspirantov e'kologo-biologicheskogo fakul'teta – Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj
centr RAN, 2009. – 84 s.

24. Shein E.V. Kurs fiziki pochv. – M: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 2005. –
432 s.