

СПОСОБ УСТРАНЕНИЯ ОШИБОК РАСЧЕТА ЗАПАСОВ ВЕЩЕСТВА В ПОЧВЕ

Болдырева В.Э., Варельджан Д.Э., Колесникова Н.А., Безуглова О.С., Морозов И.В.

Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрены методические принципы определения и интерпретации результатов расчета запасов вещества в почве. Предложен способ устранения ошибок при расчете запасов вещества в почве, а именно введены поправки на динамику плотности сложения и мощности исследуемого почвенного слоя.

Ключевые слова. Плотность почвы, набухающие почвы, усадка, набухание.

METHOD OF ELIMINATING ERRORS IN CALCULATING THE SUBSTANCES SUPPLY IN THE SOIL

Boldyreva V.E., Vareldzhan D.E., Kolesnikova N.A., Bezuglova O.S., Morozov I.V.

Academy of Biology and Biotechnology D.I. Ivanovsky, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. The article discusses the methodological principles for determining and interpreting the results of calculating the reserves of a substance in the soil. A method for eliminating errors in calculating the substances supply in the soil is proposed, namely, amendments are introduced to the dynamics of the density of addition and thickness of the studied soil layer.

Key words. Soil density, swelling soil, shrinkage, swelling.

В почвоведении изучение и определение запасов вещества является необходимой и одной из важнейших задач, поскольку позволяет характеризовать агрофизические свойства почвы, особенности накопления и расхода химических элементов и влаги, планировать будущее использование почв и земельных участков. Кроме того, данный параметр применяется в Почвенно-географической базе данных Российской Федерации (ПГБД РФ) для решения вопросов оценки, мониторинга и управления земельными ресурсами страны, включая их защиту и охрану.

Для расчета запасов вещества в почве (воды, гумуса, макро- и микроэлементов) принято использовать формулу с тремя множителями: содержание того или иного определяемого компонента, мощность слоя почвы, для которого рассчитывается запас, а также плотность сложения расчетного почвенного слоя. Мы привыкли полагать, что первый показатель определяется аналитически, второй – всегда неизменен и определяется задачами исследования (расчет производят на ту или иную мощность слоя почвы: 20 см, 50 см или 1 м), а третий принимается как наиболее типичное значение, характерное для исследуемой почвы, которое можно получить из справочной литературы, либо установить лабораторно-аналитическим путем.

В данной работе мы не рассматриваем особенности определения концентрации вещества (первый из расчетных показателей), поскольку это задача методологически и методически решается аналитической химией. Основное внимание будет обращено на два параметра – мощность расчетного слоя и плотность слоя, характеризующих почву как физическое тело.

Следует отметить, что оба рассматриваемых параметра связаны между собой через объем почвы: плотность – это масса тела в единице его объема, а мощность расчетного слоя – это ни что иное, как высота этого самого тела (объем расчетного слоя определяется как произведение площади на мощность слоя, т.е. высоту). Таким образом, в случае объемных изменений в расчетном слое почвы при набухании/усадке вследствие увеличения/уменьшения его влажности, изменяться будет не только плотность сложения, но и мощность расчетного слоя [5].

При более детальном рассмотрении мощности расчетного слоя как характеристики физического состояния почвы становится очевидным, что данный параметр не является величиной постоянной и зависит от двух групп факторов:

- внешних условий окружающей среды, которые приводят к изменению влажности слоя почвы;
- внутренних свойств почвы, ее состава и свойств, влияющих на процессы набухания–усадки, (например, минералогический состав, содержание гумуса и его качественное состояние, емкость катионного обмена и состав поглощенных катионов, наличие и концентрация легкорастворимых солей и др.).

Наиболее ярко зависимость между мощностью и плотностью при объемных изменениях проявляется при механическом воздействии на почву в результате, например, вспашки (рыхления) и прикатывания (уплотнения). Очевидно, что вспашка приводит не только к уменьшению плотности сложения (рыхление), но и сопровождается увеличением мощности обрабатываемого слоя. Обратный процесс уменьшения мощности обрабатываемого слоя наблюдается при уплотнении. Аналогичные изменения происходят и в случае набухания/усадки за счет объемных изменений при увеличении/уменьшении влажности почвы.

Таким образом, мощность расчетного слоя должна определяться с учетом двух возможных состояний: 1) объема на пределе усадки и 2) объема на пределе набухания. Например, в случае, если мы примем за точку отсчета мощность слоя почвы (0–20 см) при влажности на пределе набухания ($W_n = 35\%$), величина плотности сложения составит $1,0\text{--}1,1\text{ г/см}^3$. При уменьшении влажности почвы до значений влажности на пределе усадки ($W_y = 17\% \text{--} 18\%$), плотность сложения составит $1,3\text{ г/см}^3$ при величине объемной усадки около 15% . За счет усадки почвы произойдет, соответственно, уменьшение мощности расчетного слоя и составит 17 см , а не 20 см как это принято в анализируемых формулах расчета.

В случае, если за точку отсчета мы принимаем мощность слоя почвы (0–20 см) при влажности на пределе усадки ($W_y = 17\%$), величина плотности сложения составит $1,3\text{ г/см}^3$. При увеличении влажности почвы до значений влажности на пределе набухания ($W_n = 35\%$), плотность сложения составит $1,0\text{--}1,1\text{ г/см}^3$ при величине набухания около 15% . За счет набухания почвы произойдет, соответственно, увеличение мощности расчетного слоя и составит 23 см , а не 20 см как это было при влажности на пределе усадки.

С объемными изменениями связано и наличие систематических ошибок в методах определения плотности сложения почвы. Например, в научной и учебной литературе приводится утверждение о том, что плотность сложения почвы зависит от влажности [1, 3]. Поскольку данный показатель коррелирует с динамикой влажности почвы, ряд исследователей предлагает определять плотность при некоторых константных значениях влажности. Так, И.С. Панин [6] предлагал определять плотность сложения при значениях влажности, соответствующих наименьшей влагоемкости почвы. Однако, имеющиеся в научной и методической литературе подходы не дают исчерпывающий ответ на вопрос о том, каким образом устраняются имеющиеся противоречия и ошибки.

Ранее нами был проведен анализ методов определения плотности сложения почв и грунтов, в том числе с указанием способов устранения описываемых систематических ошибок [4, 5], особенно при использовании бурового метода [2].

Рассмотрим на примере расчета запасов гумуса, поскольку задача увеличения его запасов в почве является наиболее актуальной в земледелии страны и мира. Для этого нами предложен метод по расчету запаса вещества в почве с использованием поправки на динамику плотности сложения и мощности.

Расчет запасов гумуса.

Рассчитываем запас гумуса в т/га по формуле [1]:

$$ЗВ = C \% \times h \times \rho_b, \quad (1)$$

где C – содержание гумуса, выраженное в %; h – мощность слоя (см); ρ_b – плотность почвы, в г/см^3 . 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 $W_1 = 15\%$, $W_2 = 22\%$, $W_3 = 35\%$:

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

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

$$ЗВ_3 = 4,5\% \times 20\text{ см} \times 1,0\text{ г/см}^3 = 90\text{ т/га};$$

Полученные данные свидетельствуют о том, что запас гумуса будет зависеть от плотности почвы, которая, в свою очередь, «зависит» от влажности (табл. 1). 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 3 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 1 – Запас гумуса в черноземе обыкновенном карбонатном с учетом поправки на динамику мощности почвы

$W_0, \%$	$\rho_b, \text{ г/см}^3$	$h, \text{ см}$	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 исследования, включая определение плотности сложения, в довольно узком диапазоне влажности почвы, когда почва находится в состоянии «физической спелости», т.е. не налипает к металлическим поверхностям (лопата, режущие кольца или буры). В таком случае влажность почвы лежит в интервале от 20 % до 25 % (данные для чернозема обыкновенного карбонатного).

Согласно таблице 1, 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, т.е. как разница между 117 т/га и 108 т/га.

Таким образом, 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 г/см³ до 1,04 г/см³.

Для корректного расчета запаса вещества следует учитывать все 3 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 ($W_{\text{мв}}$ 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 $h = 20$ см);

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

Список использованных источников

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. – М.: Высшая школа, 1986. – 416 с.
2. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
3. Качинский Н.А. Физика почв. Ч. I. – М.: Высшая школа, 1965. – 322 с.
4. 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>.
5. 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>.
6. Панин И.С. К вопросу о влиянии влажности на величину объемного веса почвы// Почвоведение. – 1960. – № 9. – С.108– 110.