

УДК 631.439-631.445.41

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПОЧВЫ В ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ

Моисеева Т.С., Безуглова О.С., Морозов И.В.

ФГАУ ВПО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: tatakoshka@gmail.com

Рассматриваются особенности пикнометрического метода определения плотности твердой фазы почв. Установлено, что величина плотности твердой фазы зависит не только от минералогического и химического состава твердой фазы, но, в немалой степени, от способа подготовки образцов к анализу, а также природы жидкости, используемой в пикнометрическом методе. Кроме того, на конечный результат влияет микро-структура почвенного образца, поскольку при добавлении жидкости происходит сначала заполнение имеющихся микрополостей, а затем уже ее вытеснение. В итоге, чем выше внутриагрегатная и межагрегатная микропористость образца, помещенного в пикнометр, и чем больше его смачиваемость, тем выше будут конечные величины плотности твердой фазы.

**Ключевые слова:** плотность твердой фазы, чернозем, полярные и неполярные жидкости

## DETERMINATION OF SOIL PARTICLE DENSITY OF ORDINARY CHERNOZEM

Moiseeva T.S., Bezuglova O.S, Morozov I.V.

Southern federal university, Rostov-on-Don, e-mail: tatakoshka@gmail.com

Features of pycnometer method for determination of soil particle density are considered. It is established, that the soil particle density depends on not only mineralogical and chemical contents, but a procedure of samples' preparation for the analysis, and the nature of the liquid used in pycnometer method also. Besides, the data of pycnometer method is depend on microstructure of the soil sample due to filling of available microcavities by liquid (especially in case of water) and after that because of the subsequent displacement of this liquid. It is shown, than the higher microporosity of soil sample placed in pycnometer and the more its wettability, than higher will be the results of particles density.

**Keywords:** particle density, chernozem, polar and unpolar liquids

Плотность твердой фазы, согласно существующим в почвоведении представлениям, является одной из фундаментальных характеристик почвы, отражающей ее минералогический и химический составы. Точное определение данного параметра необходимо не только для достоверной оценки состава почвы, но и для расчета таких величин, как скорость падения элементарных почвенных частиц в жидкостях (например, при выполнении гранулометрического анализа методом пипетки) и пористость почвы. Методы изучения плотности твердой фазы основаны на определении объема, занимаемого твердой фазой, соответствующего объему вытесняемой жидкости. В качестве таковой используют полярные (дистиллированную воду, спирт) и неполярные жидкости с низким поверхностным натяжением (керосин, бензин, толуол и др.).

Выделяют две группы методов:

- Метод определения плотности твердой фазы незасоленных почв (с использованием полярных жидкостей).
- Метод определения плотности твердой фазы засоленных почв (с использованием неполярных жидкостей).

**Цель нашей работы** – изучение влияния различных способов подготовки образцов к пикнометрическому анализу в полярных и неполярных жидкостях на изменение плотности твердой фазы почв.

**Объектом исследования** был выбран чернозем обыкновенный (карбонатный) – один из зональных подтипов черноземов, доминирующий в почвенном покрове юга России. Чернозем обыкновенный карбонатный характеризуется существенным изменением объема при увлажнении, проявляя способность к набуханию и усадке. Эта его особенность явилась решающей при выборе объекта исследования, так как изменение объема вносит существенные коррективы в результаты определения плотности твердой фазы почвы. Почвенные разрезы закладывали на территории Ботанического сада Южного федерального университета.

### Материалы и методы исследования

Определение плотности твердой фазы проводили с использованием дистиллированной воды (без  $\text{CO}_2$ ) и керосина пикнометрическим методом в десятикратной аналитической повторности. Подготавливали почву к анализу растиранием образцов резиновым и агатовым пестиками с последующим просеиванием через сита 1 и 0,25 мм соответственно. Выбор пестиков определяется различной твердостью материалов, из которых они выполнены и, соответственно, получаемого при истирании почвы размера зерен.

Проведена математическая обработка полученных результатов; в данной работе приводятся следующие показатели:  $M$  – средняя арифметическая величина,  $n$  – число наблюдений (определений),  $t_d$  – критерий Стьюдента (критерий оценки достоверности разницы),  $t_{st}$  – стандартное (критическое) значение критерия Стьюдента для данной выборки, которая определяется удвоением  $n$ , т.к. сравниваются два ряда наблюдений [2].

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

Проведенные нами исследования показали, что величина плотности твердой фазы одного и того же почвенного образца зависит, с одной стороны, от способа его подготовки, а с другой стороны, от способа количественного учета, т.е. от свойств вытесняемой жидкости.

При этом следует обратить внимание, что в условиях Нижнего Дона определение плотности твердой фазы черноземных почв, а также грунтов в практике инженерно-геологических изысканий, проводят с использованием дегазированной дистиллированной воды. Подготовка образцов к анализу, как правило, проводится растиранием почвы или грунта резиновым пестиком с последующим просеиванием через сито 1 мм.

Этап подготовки образцов к анализу является не менее значимым по сравнению с количественным учетом, поскольку именно он определяет размер и форму зерен, их строение и особенности, например, наличие вновь образовавшихся сколов, степень микроагрегированности и др. Это, в свою очередь, в значительной степени формирует микросложение насыпного слоя почвенного порошка в пикнометре и может стать причиной искажения результатов анализа.

Исследованиями И.В. Морозова и И.Ю. Морозовой [6] установлено, что в настоящий момент в почвоведении нет единой точки зрения относительно способов подготовки почвы к анализу плотности твердой фазы. А соответственно, по мнению авторов, трудно ожидать получения сопоставимых результатов, поскольку на точность анализа и объективность получаемой информации будут влиять следующие факторы:

1. Наличие-отсутствие новообразований и включений.

2. Степень дисперсности анализируемого материала, в том числе соотношение ЭПЧ и микроагрегатов, которое во многом определяется способом растирания образцов и диаметром сита.

Проведенные нами исследования показали, что для образцов с размером зерна < 1 мм (подготовка с резиновым пестиком) плотность твердой фазы чернозема обыкновенного карбонатного варьируется в довольно узком интервале величин от 2,58 г/см<sup>3</sup> в гор.  $A_d$  до 2,69 г/см<sup>3</sup> в гор.  $C$  и от 2,62 г/см<sup>3</sup> в гор.  $A_d$  до 2,68 г/см<sup>3</sup> в гор.  $C$  в разрезах 1 и 2 соответственно (таблица). Полученные результаты являются характерными для черноземов обыкновенных карбонатных Нижнего Дона и не противоречат литературным данным [7].

Плотность твердой фазы чернозема обыкновенного карбонатного Ботанического сада (при  $n = 20$ ,  $p = 0,95$ ,  $t_{st} = 2,09$ )

Горизонт	Полярная жидкость (вода)			Неполярная жидкость (керосин)			Сравнение данных, полученных с применением разных жидкостей, $t_d$	
	< 1 мм	< 0,25 мм	$t_d$	< 1 мм	< 0,25 мм	$t_d$		
	$M$ , г/см <sup>3</sup>			$M$ , г/см <sup>3</sup>			< 1 мм	< 0,25 мм
<i>Разрез 1. Чернозем обыкновенный карбонатный среднесиловый тяжелосуглинистый на желто-буром лессовидном суглинке</i>								
$A_d$	2,58	2,62	4,06	2,47	2,43	2,24	6,33	12,33
$A_1$	2,59	2,61	3,46	2,44	2,40	1,11	6,49	28,15
$B$	2,65	2,68	3,44	2,55	2,51	3,02	6,32	9,27
$BC$	2,66	2,62	3,07	2,59	2,59	0,00	3,46	3,77
$C$	2,69	2,68	1,08	2,58	2,62	4,89	10,50	4,43
<i>Разрез 2. Чернозем обыкновенный карбонатный среднесиловый тяжелосуглинистый на желто-буром лессовидном суглинке</i>								
$A_d$	2,62	2,67	4,49	2,49	2,42	5,42	9,29	20,00
$A_1$	2,57	2,63	3,55	2,41	2,44	1,89	9,03	10,81
$B_1$	2,61	2,69	4,77	2,48	2,42	1,73	6,18	6,31
$B_2$	2,61	2,70	6,11	2,54	2,54	0,33	3,47	17,52
$BC$	2,64	2,71	4,80	2,60	2,47	2,91	3,18	5,40
$C$	2,68	2,79	15,05	2,56	2,51	3,48	9,13	28,50

Полученные данные показали, что повышение степени дисперсности почвы (диаметр частиц < 0,25 мм) приводит к увеличению результатов анализа по сравнению

с исходными образцами. Причем эти изменения достоверны с уровнем доверительной вероятности  $p = 0,95$ . Разница между двумя вариантами определения составила

от 0,3–0,4 г/см<sup>3</sup>, например, в гор.  $A_1$  и  $A_d$  (разрез 1) до 0,11 г/см<sup>3</sup> в гор.  $C$  (разрез 2).

Следует обратить внимание на то, что при повышении степени дисперсности образца возможно не только увеличение плотности, но и уменьшение данного параметра, как например, в гор.  $BC$  разрез 1. Возможно, это обусловлено частичным растворением карбонатных новообразований при кипячении суспензии в ходе анализа. Однако, на наш взгляд, данный факт требует более тщательного последующего исследования.

Данные, полученные нами при использовании керосина, свидетельствуют об общей закономерности, проявляющейся в снижении плотности твердой фазы практически для всех исследованных образцов. Разница между определениями данного параметра с применением воды и керосина достигает 0,15–0,20 г/см<sup>3</sup>. Полученные различия существенны и статистически достоверны.

Следует обратить внимание на то, что с одной стороны, согласно ГОСТ 5180–84, расхождения между аналитическими повторностями при определении плотности частиц не должны превышать 0,02 г/см<sup>3</sup>. С другой стороны, при расчете интервалов отбора проб при определении гранулометрического состава следует учитывать изменения плотности твердой фазы почв (или плотности частиц грунта) на каждые 0,05 г/см<sup>3</sup>.

Анализ полученных результатов показывает, что для рассматриваемых нами почв сохраняется общая тенденция в увеличении плотности твердой фазы вниз по профилю, что связано, в первую очередь, с постепенным уменьшением содержания гумуса. Это не противоречит общеизвестным представлениям о закономерностях профильного изменения рассматриваемого нами параметра.

При этом нами обнаружена интересная особенность – повышение степени дисперсности почвенных образцов сопровождается уменьшением результатов анализа, в то время как при использовании воды отмечается обратная закономерность. Исключение составляют гор.  $BC$  (разрез 1) и в гор.  $B_2$  (разрез 2), где плотность твердой фазы не зависит от размера частиц. Такая закономерность связана, на наш взгляд, с тем, что крупные молекулы керосина лишь частично проникают в тонкие полости насыпного слоя почвенного порошка. Тем более, что при использовании керосина отсутствует процесс кипячения, который в случае использования воды создает условия для дополнительного смачивания и ее проникновения в микрополости почвенного порошка.

Существенные различия между двумя вариантами определения плотности твер-

дой фазы ставят перед исследователями вопрос о том, какие же значения являются более объективными и какие из них следует использовать в последующих расчетах.

Ряд исследователей считают, что данный показатель следует определять не в воде, а в неполярных жидкостях, так как с водой получают завышенные результаты вследствие сжатия системы «почва-вода». Жидкости адсорбируются гидрофильными порошками (к которым относится и почва) прямо пропорционально их диэлектрической постоянной. Вода, диэлектрическая постоянная которой равна 81, сильнее адсорбируется почвой, чем неполярные жидкости, имеющие диэлектрическую постоянную, равную 2. Адсорбируясь, вода сжимает почвенную частицу, следовательно, уплотняет ее, в результате чего уменьшается объем, занимаемый почвой.

Исследования, проведенные в лаборатории кафедры физики и мелиорации почв МГУ, по сравнению влияния различных жидкостей на величину плотности твердой фазы почвы также показали завышение результатов при применении воды. Существенные погрешности выявлены для почв тяжелого гранулометрического состава, а также обогащенных органическим веществом [1].

Подобные сведения о возможности сильного сжатия слоя воды вокруг коллоидных частиц приводятся и в различных учебных изданиях и методических руководствах по грунтоведению и инженерной геологии [3, 4, 8].

Хотелось бы подчеркнуть, что речь идет только лишь о возможности такого сжатия (контракции), а не об общем правиле. На наш взгляд, это очень важный момент, поскольку за счет контракции возможно как завышение, так и занижение результатов анализа. Определяться это будет не столько гранулометрическим, сколько минералогическим составом, а точнее способностью минералов, входящих в состав почвы, к набуханию.

Несмотря на это, некоторые авторы не рекомендуют использование неполярных жидкостей для определения плотности твердой фазы почв, т. к. это будет отступлением от естественных условий. Их применяют только для засоленных почв, чтобы избежать растворения легко растворимых солей [1].

Аналогичную точку зрения высказывают С.А. Модина и С.И. Долгов [5]. Авторы считают, что с почвенной и агрономической точек зрения правильнее было бы определять плотность почвенных частиц с использованием воды. В качестве аргумента они выдвигают следующие соображения: определение всегда проводится не

ради самих величин плотности, а для последующего расчета пористости почвы, как вместимости почвенной влаги, которая при этом будет также уплотняться на поверхности почвенных частиц, как она уплотняется при определении их плотности. Поэтому для определения плотности почвенных частиц засоленных почв авторы рекомендуют использовать воду после предварительного отмывания из почвы легкорастворимых солей. Рассмотренные подходы и требования к выполнению анализа плотности твердой фазы почв аналогичны международным методам [9, 10].

На основании проведенных нами исследований мы пришли к убеждению о необходимости определения плотности твердой фазы почв как генетического параметра с использованием и полярных, и неполярных жидкостей. Оба варианта пикнометрического метода позволяют получать информацию, характеризующую особенности строения почвы с точки зрения не только ее минералогического и химического составов, но и степени ее дисперсности, микропористости, степени гидрофильности/гидрофобности и др.

### Выводы

1. Величина плотности твердой фазы, определяемой пикнометрическим методом, искажается, главным образом, расходом части жидкости (особенно в случае использования воды) на заполнение микрополостей, образующихся непосредственно в пикнометре в насыпном слое почвенного порошка. При добавлении жидкости происходит сначала заполнение имеющихся микрополостей этой жидкостью, а затем уже ее вытеснение. В итоге, чем выше внутриагрегатная и межагрегатная микропористость образца, помещенного в пикнометр, и чем больше его смачиваемость, тем выше будут конечные величины плотности твердой фазы. Соответственно для чернозема обыкновенного карбонатного, характеризующегося развитой микропористостью и высокой способностью к набуханию, более корректным следует считать пикнометрический метод определения плотности твердой фазы с применением неполярных жидкостей.

2. Результаты определения плотности твердой фазы зависят как от качества подго-

товки почвенных образцов, так и от особенностей жидкости, применяемой при использовании пикнометрического метода. Таким образом, величина плотности твердой фазы почвы определяется не только строением твердой фазы, ее минералогическим и химическим составом, но и в немалой степени способом подготовки образцов к анализу и природой жидкости, используемой в пикнометрическом методе.

### Список литературы

1. Вадонина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. – М.: Высшая школа, 1973. – 399 с.
2. Дмитриев Е.В. Математическая статистика в почвоведении. – М.: МГУ, 1972. – 264 с.
3. Ломтадзе В.Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород. – Л.: Недра, 1972. – 312 с.
4. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород / под ред. Е.М. Сергеева, С.Н. Максимова, Г.М. Березкиной. Т. 1. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. – 348 с.
5. Модина С.А., Долгов С.И. Сложение и структурное состояние почвы // Агрофизические методы исследования почв. – М.: Наука, 1966. – С. 42–71.
6. Морозов И.В., Морозова И.Ю. Сравнительный анализ способов подготовки образцов для изучения плотности твердой фазы почв // Экспериментальная информация в почвоведении: теории, методы получения и пути стандартизации: тез. Всероссийской конф. (19–23 ноября, 2005 г.). Москва, 2005. – М.: МГУ, 2005. – С. 193–194.
7. 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.
8. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. – М.: Недра, 1966. – 304 с.
9. Analytical Methods Manual. 1984. Land Resource Research Institute. B.H. Sheldrick, Editor. Canada, Agri-Food. Pp. 30/1-30/3. Available on-line: <http://sis.agr.gc.ca/cansis/publications/manuals/analytical.html>.
10. Blake G.R. in Methods of Soil Analysis, C.A. Black, ed. // American Society of Agronomy, Madison, Wisc. – 1965. Particle density. – Part I, Agronomy, № . – P. 371–373.

### Рецензенты:

Бакаева Е.Н., д.б.н., ведущий научный сотрудник Южного отдела Института водных проблем РАН Гидрохимического института, г. Ростов-на-Дону;

Вардуни Т.В., д.п.н., к.б.н., старший научный сотрудник НИИ биологии, г. Ростов-на-Дону.

Работа поступила в редакцию 19.07.2011.