

ВЛИЯНИЕ ПРОБОПОДГОТОВКИ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ**ХАРАКТЕРИСТИК ПОЧВ**

Е. А. Дунаева, Н. Г. Бойко, А. М. Джапарова, С. В. Подвалова, Я. А. Филина

*Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма,**Киевская ул., 150, г. Симферополь, 295043, Россия,**E-mail: dunaeva_e@niishk.site**Поступила в редакцию 05.08.2024, принято в печать 13.09.2024*

Существует достаточное количество прямых и косвенных методов определения основных почвенно-гидрофизических констант, применение которых зависит как от типа исследуемых почв и их гранулометрического состава, так и технического оснащения лаборатории и квалифицированных специалистов, в связи с чем в последние годы приобретают популярность косвенные методы определения кривых водоудерживающей способности почвы. Одним из важных факторов, которые оказывают влияние на достоверность получаемых параметров, является пробоподготовка образцов. Однако, как в научной литературе, так и в ГОСТ данному вопросу уделяется недостаточное внимание. В связи с этим нами была сформулирована цель работы – изучить влияние способов измельчения почвы на точность определения влажности устойчивого завядания (ВЗ). В работе использованы три варианта измельчения почвы: вручную, пестиком с резиновым наконечником и в мельнице грунтовой. Для определения ВЗ были использованы метод равновесного центрифугирования и метод вегетационных миниатюр. Установлено, что результаты, полученные этими двумя методами, имеют тесную связь для слоёв 0–20 см и 20–40 см агрочернозёма сегрегационного маломощного тяжелосуглинистого на лессовидных суглинках. Установлено, что наиболее приемлемым вариантом измельчения проб почвы для метода равновесного центрифугирования является измельчение пестиком с резиновым наконечником, тогда как для метода вегетационных миниатюр – измельчение вручную.

Ключевые слова: влажность устойчивого завядания, гранулометрический состав, методы равновесного центрифугирования и вегетационных миниатюр, методы измельчения образцов почвы.

THE EFFECT OF SAMPLE PREPARATION ON THE DETERMINATION OF THE WATER-PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOILS

Ye. A. Dunaieva, N. G. Boiko, A. M. Dzharparova, S. V. Podovalova, Ya. A. Filina

*Research Institute of Agriculture of Crimea, Kievskaya str., 150, Simferopol, 295043, Russia**dunaeva_e@niishk.site*

The study of water-retention properties of soil is relevant for understanding the formation of productive moisture reserves in crop yields forecasting and carrying out land reclamation. There are a sufficient number of direct and indirect methods for determining the main soil hydrophysical constants. The use of them depends on soil types and their texture, technical and human resources. Indirect methods of soil water retention curves measurement became popular in recent years. One of the important factors that affect the reliability of the obtained parameters is soil sample preparation. However, both in the scientific literature and in GOSTs this issue is not given enough attention. In this regard the goal of the study was to evaluate the effect of soil grinding methods on the accuracy of determining the wilting point moisture (WP) content. In the work, three options for soil sample grinding were used: manually, with a pestle with rubber tip and with a soil mill. To determine the WP moisture content the equilibrium centrifugation method and the method of vegetation miniatures were used. It was found that the results obtained by the two methods were closely related for the soil layers of 0–20 cm and 20–40 cm of Haplic Chernozem. It was found that the most acceptable option of soil sample preparation for the equilibrium centrifugation method was soil sample grinding with the pestle with a rubber tip, whereas grinding by hand was the most suitable for the method of vegetation miniatures.

Keywords: wilting point moisture, soil texture, equilibrium centrifugation method, vegetation miniatures method, soil sample grinding.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение водного режима почв началось одновременно с возникновением почвоведения как отдельной научной дисциплины. Многие ученые-почвоведы и гидрологи посвятили свои работы данной теме В. В. Докучаев, А. А. Измайльский, К. К. Гедройц, Г. Н. Высоцкий, С. И. Долгов, Н. А. Гусев, А. А. Роде, А. Д. Воронин,

Н. А. Качинский, И. И. Судницын, Х. Пенман, И. Я. Половицкий, M. Th. van Genuchten, Е. В. Шеин, Е. А. Дмитриев, А. С. Salvestro, Н. Б. Хитров, Y. Mualem, А. В. Смагин, В. В. Терлеев. Они пришли к выводу, что водный режим почв и влагообеспеченность растений неразрывно связаны между собой (Муромцев, 2011).

Водообеспеченность растений определяется водными свойствами почв, а также количеством поступающей воды, способностью фильтровать, удерживать, впитывать и сохранять воду, отдавать ее по мере потребления растениями. Вода в почве выполняет терморегулирующую функцию, так как с ней связаны физико-механические свойства – липкость, агрегатность, спелость почвы, твердость, крошение (Вадюнина, Корчагина, 1986).

При одинаковых климатических условиях и содержании влаги в почвах ее доступность растениям может быть различной, что определяется гранулометрическим составом почв, содержанием органического вещества, пористостью и др. Создание благоприятного водного режима в почве является важным условием для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур в условиях современного интенсивного земледелия (Роде, 1965).

В засушливых регионах, таких как Республика Крым, регулирование водного режима почв направленно на накопление влаги и рациональное использование её при выращивании сельскохозяйственных культур. Введение чистых паров имеет большое значение в улучшении водного режима почв. Также накоплению и сохранению влаги в почве способствуют агротехнические мероприятия, такие как прикатывание почвы после посева, вспашки и культивации, благодаря чему изменяется плотность верхнего слоя пахотного горизонта (Шейн, 2009) за счет изменения структуры почвы, разрушения крупных комков и выравнивания поля.

При выращивании растения могут использовать только доступную им влагу, которая является продуктивной, так как она используется для формирования урожая. При потере листьями тургора происходят первые признаки завядания растения, при устойчивом завядании – тургор не восстанавливается, происходят необратимые изменения в клетках растений и его гибели. Продуктивная влага находится в интервале от влажности завядания до наименьшей влагоемкости, а наиболее высокопродуктивная влага находится в диапазоне между влажностью разрыва капиллярных связей и наименьшей влагоемкостью. Таким образом, определение водно-физических свойств почвы, имеют большое значение как для понимания процессов, протекающих в почве, так и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур (Вадюнина, Корчагина, 1986).

В литературе описано достаточно много методов для определения водно-физических свойств почвы (Шейн, Карпачевский, 2007):

1. Прямые методы: к ним относятся методы измерения водно-физических свойств почв непосредственно в полевых условиях, такие как метод залива площадок (наименьшая влагоемкость), метод тензиометров (влажность разрыва капиллярных связей), метод трубок (коэффициент впитывания) и другие. К прямым лабораторным методам также относится метод определения влажности устойчивого завядания (ВЗ).

2. Косвенные методы (лабораторные): метод мембранных прессов, капилляриметрический метод, метод центрифугирования и др.

Следует отметить, что детальные почвенные обследования в Крыму приходится на период строительства Северо-Крымского канала в середине 60–70-х годов XX века, а впоследствии проводились только локальные почвенные экспедиции (Филина и др., 2022). Высокая трудоемкость и затратность полевых методов исследования почвенных свойств обуславливают использование справочных данных, либо применения косвенных методов (Bui, Mogi, 2021). Изучением водно-физических свойств почв в Республике Крым занимались И. Я. Половицкий, И. И. Судницын, Н. Б. Хитров, А. П. Тищенко, Е. М. Гусев, А. Н. Бабичев и др.

Из наименее трудозатратных методов определения водно-физических свойств почв, применяемых во всем мире, являются лабораторные методы, например, метод равновесного центрифугирования, при котором наиболее часто используется центрифуга барабанного типа, реже консольного типа (Lozano et al, 2020). Достаточно много публикаций посвящены изучению влияния времени центрифугирования, углу наклона пробирок на получаемые почвенно-гидрофизические константы (Smagin, 2012; Панина, 2015; Fraters et al, 2017), сравнению метода центрифугирования с другими лабораторными методами (Lozano et al, 2020; Терлеев и др., 2021).

Влажность устойчивого завядания является одной из почвенно-гидрологических констант, которая в аридных условиях имеет важное значение при использовании в моделях прогноза урожайности. В качестве культуры-индикатора наиболее часто применяют подсолнечник (Taylor, 1972; Kirkham, 2014). Однако, в зависимости от климатических условий могут применяться и иные культуры, такие как ячмень в РФ (ГОСТ 28268–89) физалис (de Freitas et al, 2023) и другие.

Влияние пробоподготовки почвенных образцов на водно-физические свойства и интерпретацию получаемых результатов описаны в работах А. А. Валеевой, А. Б. Умаровой, А. В. Юдиной, К. В. Шкуропадской, Д. И. Потапова и др.

Следует отметить, что недостаточно внимания в исследованиях уделено вопросам пробоподготовки, а именно, каким образом проводится измельчение образцов. Подготовка образцов почвы оказывает влияние на конечный результат как при использовании физических методов диспергации (Юдина и др., 2018), так и химических (Валеева, Копосов, 2013). На итоговые данные существенное влияние оказывает гранулометрический состав почвы и методы его определения (Шкуропадская и др., 2019), в связи с чем рекомендуются использовать способы пробоподготовки и анализа, которые дают минимальную погрешность для решения задач конкретного исследования.

Исследования показали, что гранулометрический состав изучаемых почв оказывает существенное влияние на получаемые результаты центрифугирования, и важным фактором является подготовка проб почвы и способ её измельчения. Наличие электрических приборов для измельчения проб, которые ускоряют проведение пробоподготовки

и уменьшают затраты ручного труда, и в связи с тем, что ГОСТ 12536–2014 допускает растирать образцы грунта в растирочной машине, не вызывающей дробления частиц, а ГОСТ Р ИСО 11464–2011 не содержит детальных указаний по настройке оборудования, показало актуальность исследования воздействия различных способов измельчения образцов почвы на результаты анализа водно-физические свойства почвы.

Цель работы – изучить влияние способов измельчения почвы на точность определения водно-физических свойств почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В данной работе рассмотрен сравнительный анализ данных, полученных при определении влажности завядания растений двумя методами: методом влажности устойчивого завядания и методом равновесного центрифугирования (модификация А. В. Смагина) для черноземов южных с использованием различных вариантов измельчения проб почвы.

Закладка опытов по определению влажности устойчивого завядания растений проводилась на образцах почв, отобранных в Клепининском сельском поселении Красногвардейского района Республики Крым. По классификации почв России (2004 г.) исследуемые почвы относятся – агрочернозём сегрегационный маломощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках, по WRB-2014 почвы *Na₁lc Chernozem*, а по справочным данным, представленным в книге Половицким – чернозем южный мицелярно-карбонатный (Половицкий, Гусев, 1987). Пробы отбирались из почвенного разреза глубиной 1 м, описание почв данного участка представлено в работе (Хитров и др., 2016), отбор проб проводился через каждые 20 см, масса полного образца почвы составила 1,5 кг (в 2023 г. на участке выращивались озимые зерновые культуры). Пробы почвы помещались в герметичные полиэтиленовые пакеты и нумеровались с указанием горизонта отбора.

Измельчение проб почвы проводилось тремя способами: на мельнице грунтовой МГ-1Ф в течение 45 сек; в ступке фарфоровой № 6 на 180 мм – пестиком с резиновым наконечником 17 см, просеивание с использованием сита с перфорированными отверстиями 3 мм ($d=200$ мм) в течение 1 мин; ручное измельчение в течение 3 мин, просеивание с использованием сита с перфорированными отверстиями 5 мм ($d=200$ мм).

Измельчение почвенных проб вручную или в фарфоровой ступке пестиком до небольших комков, диаметром не более 1,5 см, проводилось для получения однородного образца. Средняя проба, полученную методом квартования, измельчалась в фарфоровой ступке, по возможности раздавливая. Перемное просеивание и измельчение проводились до тех пор, пока вся почва не пройдет через сито (ГОСТ Р ИСО 11464–2011). Время измельчения было выбрано исходя из принципа достижения количественных показателей исследуемого образца.

Количественными показателями просеянных образцов почвы, свидетельствующими об успешном

завершении измельчения почвы тремя методами для проведения центрифугирования и метода вегетационных миниатюр, является то, что массы измельченных и просеянных воздушно-сухих образцов почвы через сита с диаметром отверстий <0,25 мм, 0,25–1 мм и 1–3 мм или 5 мм не отличаются друг от друга в каждом методе измельчения.

Метод определения влажности устойчивого завядания. Опыты проводились по ГОСТ 28268–89, для закладки опыта выращивался озимый ячмень сорта «Гордей», который возделывается на территории Республики Крым, с всхожестью семян 98%. Выращивание растений выполнялось с использованием метода вегетационных миниатюр в условиях, близких к оптимальным, измерение параметров среды осуществлялось непрерывно с использованием Elitech RC-4HC и люксметром RGK-LM-20. Подсветка растений осуществлялась 16 час сут.⁻¹ светодиодными лампами с освещённостью площадки 5000 Лк ± 500 Лк (светодиодные лампы красного (660 нм), синего (460 нм) и белого (холодный) цветов в количестве 24 шт., 9 шт. и 39 шт., соответственно). Использовались стеклянные стаканы объёмом 250 см³ (Н-1-250 ТС с делением и носиком). Закладка опыта выполнялась в четырехкратной повторности для каждого слоя почвы: 0–20 см, 20–40 см и 40–60 см. В почву высаживались предварительно пророщенные семена ячменя из расчета 5 шт. на 1 стакан. После высадки проросших растений в стаканы, полив проводился для обеспечения нормального развития растений до появления третьего листа питательной смесью 3 раза следующими объемами 30, 10 и 10 мл. Состав питательной смеси в расчете на объем 5 л дистиллированной воды был следующим: 2,03 г аммония фосфорнокислого однозамещенного, 3,88 г аммония азотнокислого и 2,68 г калия азотнокислого. Ежедневно проводились контрольные взвешивания стаканов для определения динамики влагозапасов. После появления первого листа на растениях два наименее развитых растения из пяти удалялись. Как только влагозапасы в почве снижались до нижнего предела оптимального увлажнения (соответствующего 75 % НВ), проводился полив с контрольным взвешиванием до оптимальной влажности (НВ) по формуле (1).

Масса дистиллированной воды для полива рассчитывается по формуле:

$$m_{чв} = m_{в} - 50, \quad (1)$$

где $m_{чв}$ – масса чистой воды, $m_{в}$ – масса воды необходимая для достижения НВ.

При развитии у растений третьего листа до уровня второго, полив прекращался (рис. 1). Для минимизирования эвапотранспирации на поверхность почвы укладывалась калька, на которую засыпался слой песка 2 см. После полива при снижении тургора растения помещались в эксикатор на ночь в соответствии с ГОСТ 28268–89, при восстановлении 1-го листа опыт продолжался, а при полном завядании растений опыт прекращался. Далее влажность почвы в образцах определялась термостатно-весовым методом после предварительного удаления растений.

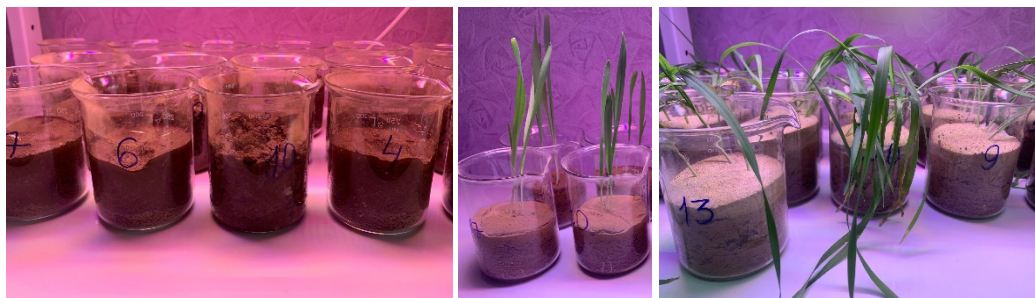


Рис. 1. Метод определения влажности устойчивого завядания

Определение почвенно-гидрофизических констант методом равновесного центрифугирования, детально описано (Садовникова, Смагин, 2011), а также представлено в статье (Филина и др., 2022), проводилось с использованием центрифуги Дастан ОПН-12, пластиковых центрифужных пробирок 10 мл с круглым дном (5 отверстий диаметром 3 мм на дне пробирки), рисунок 2. Время центрифугирования составляло 60 мин, шаг центрифугирования составлял – от 100 об. мин⁻¹ до 1000 об. мин⁻¹ – 100, с 1000 об. мин⁻¹ до 5000 об. мин⁻¹ – 500, от

5000 об. мин⁻¹ до 8000 об. мин⁻¹ – шаг 1000, при этом на оборотах центрифуги 7000 об. мин⁻¹ достигалось давление почвенной влаги равное 1913,86 кПа или 18,88 атм. Влажность устойчивого завядания при центрифугировании достигается при 15 атм., что соответствует интервалу 1530–1550 кПа при оборотах центрифуги от 6200 до 6600 об. мин⁻¹. Аппроксимация экспериментальных данных в данной работе проводилась с использованием функции ван Генухтена (программа RETC).

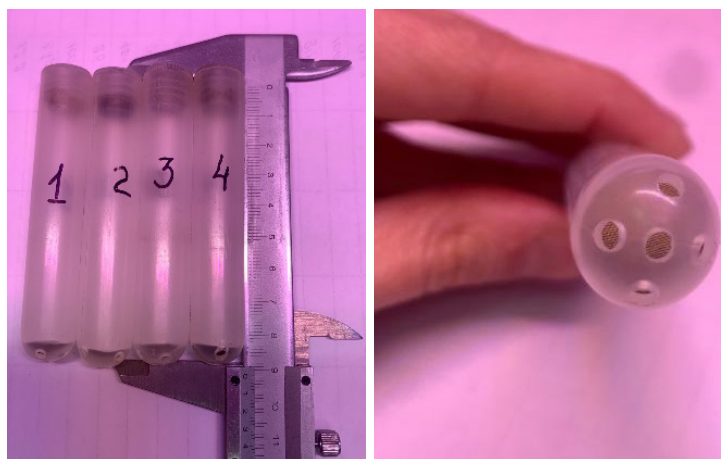


Рис. 2. Центрифужные пластиковые пробирки с просверленными отверстиями

На результаты исследований может оказать влияние как масса исследуемого образца, объем пробы, так и размер отверстий в пробирке (Vui, Mori, 2021). Также существенное влияние может оказать период времени от даты отбора до анализа образца (Keller, 1995). При исследовании водно-физических свойств почвы методом вегетационных миниатюр масса почвы в одном стакане составляла 180–200 г, методом равновесного центрифугирования – масса почвы в одной пробирке – 4–7 г.

Определение гранулометрического состава почвы проводилось в лабораторных условиях в

соответствии с ГОСТ 12536–2014 пипеточным методом (пипетка Федулова-Качинского) с использованием 4-% или 6,7-% пиррофосфорнокислого натрия по ГОСТ 342, который наиболее точно позволяет идентифицировать гранулометрический состав почвы (табл. 1). На основе полученных результатов установили текстуру почвы согласно РД 52.33.219–2002 по разработанной Качинским Н. А. классификации грунтов по двухчленной гранулометрии (соотношении содержания физической глины к физическому песку).

Таблица 1. Характеристики исследуемой почвы

Глубина отбора образца почвы, м	Плотность твердой фазы, г см ⁻³	Текстура почвы	Физический песок – физическая глина, %
0–0,20	2,72	Глина легкая	36–63
0,20–0,40	2,71	Глина легкая	39–61
0,40–0,60	2,73	Суглинок тяжёлый	43–57

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований представлены в таблицах 2–4.

Метод равновесного центрифугирования. Как следует из табл. 3, все методы измельчения почвы дают близкие значения. Для верхнего слоя 0–20 см образцы почвы, измельченные вручную и мельницей, показали близкие значения НВ (34,78% и 34,54% от массы почвы) и ВЗ (24,00% и 23,44%). Расхождения возникли в случае измельчения почвы пестиком с резиновым наконечником: значения НВ – 31,04%, ВЗ – 20,88%. Для нижних горизонтов (20–40 см и 40–60 см) различия в оценке НВ составили 4,18–12,97%, что соответствует 1,37–3,92% влажности, и 1,09–3,18%, что соответствует 3,50–10,59% влажности. Для ВЗ различия составили 0,77–3,25% и 0,22–2,19%, что соответствует 3,11–14,58% и 0,92–9,97% влажности. ВРК (влажность разрыва капилляров) первых двух горизонтов почвы (0–20 см и

20–40 см), измельченной вручную и пестиком, практически совпадают и составляют: 30,02% и 30,04% (слой 0–20 см), 26,45% и 26,43% (слой 20–40 см), соответственно. Несмотря на то, что все методы измельчения почвы дали близкие значения содержания влаги, они отличаются от значений в справочнике (Половицкий, Гусев, 1987). Так для чернозёмов южных мицелярно-карбонатных (массовое содержание влаги в почве по ГОСТ 28268–89) ВЗ составляет 12,52%, НВ – 28,83%. Таким образом, почвенно-гидрологические константы, полученные методом равновесного центрифугирования, выше справочных значений. Однако существует связь между значениями ВЗ, определёнными с помощью метода равновесного центрифугирования и вегетационных миниатюр для слоёв: 0–20 см ($r^2=0,66$) и 20–40 см ($r^2=0,95$) и 40–60 см ($r^2=0,66$), что позволяет использовать данный метод для определения основной гидрофизической характеристики (ОГХ).

Таблица 2. Почвенно-гидрологические константы, полученные методом равновесного центрифугирования почвы, % от массы почвы

Слой, см	Измельчение вручную				Измельчение пестиком				Измельчение мельницей			
	НВ	ВРК	ВЗ	W	НВ	ВРК	ВЗ	W	НВ	ВРК	ВЗ	W
с. Клепинино Красногвардейского района												
0–20	34,78	30,02	24,00	22,98	31,04	26,25	20,88	19,39	34,54	29,35	23,44	21,95
20–40	34,11	30,04	25,56	24,22	30,20	26,43	22,31	20,88	32,75	28,82	24,79	23,32
40–60	33,18	28,69	24,11	22,81	30,00	26,11	21,92	20,52	31,09	27,62	23,89	22,13

Примечание: НВ – наименьшая влагоемкость; ВРК – влажность разрыва капиллярных связей; ВЗ – влажность устойчивого завядания; W – остаточная влажность в конце центрифугирования

Таблица 3. Значения величины давления (потенциала) почвенной влаги в кПа от скорости вращения центрифуги при влажности устойчивого завядания

Слой, см	Измельчение вручную				Измельчение пестиком				Измельчение мельницей			
	pF	кПа	об. мин ⁻¹ .	W, %	pF	кПа	об. мин ⁻¹	W, %	pF	кПа	об. мин ⁻¹	W, %
с. Клепинино Красногвардейского района												
0–20	4,198	1550,3	6300	24,03	4,192	1530,3	6300	20,65	4,191	1527,9	6400	23,38
20–40	4,192	1532,0	6200	25,56	4,195	1540,4	6300	22,19	4,192	1530,3	6300	24,79
40–60	4,194	1537,9	6200	24,11	4,193	1533,7	6300	21,79	4,190	1523,5	6300	23,92

Таблица 4. Средние значения влажности устойчивого завядания (ВЗ) растений, полученное методом центрифугирования, методом вегетационных миниатюр и их справочные значения

Слой почвы	ВЗ, % от массы почвы		
	метод центрифугирования	метод определения влажности устойчивого завядания	справочные значения (Половицкий, Гусев, 1987)
Измельчение мельницей			
0–20	23,40	12,77	12,52
20–40	24,80	13,70	13,88
40–60	23,90	12,62	13,78
Измельчение пестиком			
0–20	20,90	12,02	12,52
20–40	22,30	12,92	13,88
40–60	21,90	13,35	13,78
Измельчение вручную			
0–20	24,00	11,85	12,52
20–40	25,60	12,82	13,88
40–60	24,10	13,02	13,78

Аппроксимация выявила хорошее соответствие реальных данных ОГХ модели ван Генухтена. Для всех исследуемых образцов были достигнуты максимально возможные оценки величин достоверности аппроксимации $R^2=0,99$. Экспериментальные данные, аппроксимированные по функции ван Генухтена, достоверны (уровень значимости – 0,05). Для агрочернозёма сегрегационного маломощного тяжелосуглинистого на лессовидных суглинках величина α , которая отвечает за крутизну ОГХ в области, близкой к насыщению, получилась нетипично большой, что может быть связано с использованием образца нарушенного сложения с образованием в процессе центрифугирования уплотнения почвы

На взгляд авторов, причины почти двукратных различий во влажности устойчивого завядания после применения метода центрифугирования можно объяснить частичным разрушением микроагрегатов почвы и уплотнением образцов почвы, характерным для суглинистых почв.

После проведения метода центрифугирования потенциал почвенной влаги соответствует влажности устойчивого завядания при 15 атм., что достигается на различных оборотах центрифуги (табл. 3).

Метод определения влажности устойчивого завядания.

ВЗ в гумусированной части профиля агрочернозёма сегрегационного маломощного тяжелосуглинистого на лессовидных суглинках в гумусовом горизонте сильно варьирует в зависимости от варианта измельчения (табл. 4). При этом существует тесная корреляционная связь между данными после измельчения вручную и пестиком с резиновым наконечником ($r^2=0,83$) и отсутствует в других вариантах измельчения. Значения ВЗ, полученные при измельчении пестиком с резиновым наконечником и вручную, имеют сильную и среднюю корреляционную связь со справочными аналогичными данными ($r^2=0,92$ и $r^2=0,64$, соответственно).

Для слоя 20–40 см наблюдается слабая связь между данными, полученными при измельчении

мельницей и вручную, и отрицательная сильная связь между данными при измельчении на мельнице и пестиком с резиновым наконечником ($r^2=0,98$), при этом все данные сильно отличаются от справочных данных и наиболее сильное отклонение наблюдается при измельчении образцов почвы вручную.

Для горизонта 40–60 см наблюдается сильная связь между данными, полученными при измельчении мельницей и вручную ($r^2=0,77$), однако, тесная связь со справочными данными наблюдается только при измельчении вручную ($r^2=0,88$).

Коэффициент детерминации между данными ВЗ, полученными двумя методами и при различных вариантах измельчения, составляет для слоёв: 0–20 см – 0,78; 20–40 см – 0,68; 40–60 см – 0,17.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее приемлемым методом подготовки проб почвы для исследований с помощью равновесного центрифугирования является измельчение пестиком с резиновым наконечником, тогда как для метода вегетационных миниатюр – измельчение вручную.

Различия в величинах почвенно-гидрологических констант НВ и ВРК при измельчении образцов почвы тремя исследованными методами не были обнаружены. Для определения ВЗ рекомендуется использовать метод вегетационных миниатюр, а не метод центрифугирования, так как последний не дает представления о плёночной влаге при влажности устойчивого завядания растений, что также получило подтверждение в полученных результатах.

При пробоподготовке образцов почвы нарушенного сложения следует использовать рекомендации ГОСТ Р ИСО 11464–2011, а именно растереть в ступке пестом с резиновым наконечником почвенные агрегаты и педы, но не растирать микроагрегаты, для этого выполнить просеивание растертой пестиком почвы через сито 1 мм.

В современных условиях использование новых приборов, существенно ускоряющих процесс

проведения анализов, использование разных методов пробоподготовки при определении водно-физических свойств почв может приводить к существенным различиям в получаемых результатах, в связи с отсутствием в ГОСТ детальной информации о времени дробления образца, производительности приборов, типов ротора и др. Авторами рекомендуется дополнить

существующие нормативные документы соответствующей информацией для унификации проведения пробоподготовки.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках Госзадания № 122101300031–4.

Список литературы

- Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. С. 166–168.
- Валеева А. А., Копосов Г. В. Влияние подготовки почв на интерпретацию данных гранулометрического состава почв // Ученые записки Казанского университета. 2013. Т. 155, С. 172–181.
- Муромцев Н. А. Оценка влагообеспеченности растений // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2011. Вып. 67. С. 20–31.
- Панина С. С. Экспериментальное изучение и моделирование передвижения влаги в почве при малонапорной и безнапорной инфильтрации. Дисс. канд. биол. наук. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва. 2015. 138 с.
- Половицкий И. Я., Гусев П. Г. Почвы Крыма и повышение их плодородия: Справочное изд. Симферополь: Таврия, 1987. 152 с.
- Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. Ленинград: Гидрометеиздат, 1965. Т. 2. 286 с.
- Садовникова Н. Б., Смагин А. В. Инструментальный колоночно-центрифужный метод оценки водоудерживающей способности почв и грунтов // Экологический вестник Северного Кавказа. 2011. Т. 7. № 2. С. 15–22.
- Терлеев В. В., Гиневский Р. С., Лазарев В. А., Топаж А. Г., Дунаева Е. А. Функциональное представление водоудерживающей способности и относительной гидравлической проводимости почвы с учетом гистерезиса // Почвоведение. 2021. №6. С. 715–724. DOI: 10.31857/S0032180X21060149
- Филина Я. А., Дунаева Е. А., Рассказова А. С., Смагин А. В., Джапарова А. М. Определение водоудерживающей способности чернозёмов южных и агрочернозёмов сегрегационных Крыма методом равновесного центрифугирования // Таврический вестник аграрной науки. 2022. №1(29). С. 166–180.
- Хитров Н. Б., Роговнева Л. В., Дунаева Е. А., Попович В. Ф., Паштецкий В. С., Клименко О. Е. Постирригационное состояние пахотных почв степного Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 1(5). С. 91–110.
- Шейн Е. В. Гранулометрический состав почв: проблемы методов исследования, интерпретация результатов и классификаций // Почвоведение. 2009. №3. С. 309–317.
- Шейн Е. В., Карпачевский Б. А. Теории и методы физики почв. Тула: Гриф и К, 2007. 616 с.
- Шкуропадская К. В., Пшеничная А. А., Болдырева В. Э., Морозов И. В. Сравнительный анализ методов определения гранулометрического состава почв // Живые и биокосные системы. 2019. №30. DOI: 10.18522/2308-9709-2019-30-6
- Юдина А. В., Фомин Д. С., Котельникова А. Д., Милановский Е. Ю. От понятия элементарной почвенной частицы к гранулометрическому и микроагрегатному анализам (обзор) // Почвоведение. 2018. №11. С. 1340–1362. DOI: 10.1134/S0032180X18110096
- Bui L. T., Mori Y. Pinhole Multistep Centrifuge Outflow Method for Estimating Unsaturated Hydraulic Properties with Small Volume Soil Samples // Water. 2021. № 13. Article number 1169. DOI:10.3390/w13091169.
- de Freitas E. M., Vital T. N. B., Guimarães G. F. C., da Silveira F. A., Gomes C. N., da Cunha F.F. Determination of the Permanent Wilting Point of *Physalis peruviana* L. // Horticulturae. 2023. Article number 873. DOI: 10.3390/horticulturae9080873.
- Fraters D., Boom G. J., Boumans L. J., de Weerd H, Wolters M. Extraction of soil solution by drainage centrifugation-effects of centrifugal force and time of centrifugation on soil moisture recovery and solute concentration in soil moisture of loess subsoils // Environmental Monitoring and Assessment. 2017. 189(2): 83. pp. 82–100. DOI: 10.1007/s10661-017-5788-7.
- Keller C. Application of centrifuging to heavy metal studies in soil solutions // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1995. 26 (9–10). pp. 1621–1636. DOI: 10.1080/00103629509369395
- Kirkham M. B. Chapter 10 – Field Capacity, Wilting Point, Available Water, and the Non limiting Water Range, Editor: M.B. Kirkham, Principles of Soil and Plant Water Relations (Second Edition). Academic Press. 2014. pp. 153–170. DOI: 10.1016/B978-0-12-420022-7.00010-0
- Lozano J. C., Blanco Rodríguez P., Vera Tomé F., Maldonado R., Medeiros A. S., Prieto C. A System for obtaining soil solution extracts and soil water retention curves using a bench centrifuge with fixed angle rotors // Geoderma. 2020. Vol. 361. pp. 118–130. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.114063
- Smagin A. V. Column-centrifugation method for determining water retention curves of soils and disperse sediments // Eurasian Soil Sc. 2012. Vol. 45. pp. 416–422. DOI: 10.1134/S1064229312040126
- Taylor S. A. Physical edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils. San Francisco: W. H. Freeman, 1972. 533 p.

References

- Vadiunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniia fizicheskikh svoistv pochv*. [Methods of studying the physical properties of soils]. M.: Agropromizdat, 1986. pp. 166–168.
- Valeeva A. A., Kopusov G. V. Vliianie podgotovki pochv na interpretatsiiu dannykh granulometricheskogo sostava pochv. [The influence of soil preparation on the interpretation of data on the granulometric composition of soils]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta*, 2013, Vol. 155, pp. 172–181.
- Muromtsev N. A. Otsenka vlogoobespechennosti rastenii. [Assessment of moisture availability of plants]. *Biulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*. 2011, Vol. 67, pp. 20–31.
- Panina S. S. *Eksperimental'noe izuchenie i modelirovanie peredvizheniia vlagi v pochve pri malonapornoi i beznapornoi infil'tratsii*. [Experimental study and modeling of moisture movement in soil during low-pressure and non-pressure infiltration. Dr. of the candidate. Biol. sciences.]. Diss. kand. biol. nauk. Moskovskii gosudarstvennyi universitet im. M.V. Lomonosova, M., 2015. 138 p.
- Polovitskii I. Ia., Gusev P. G. *Pochvy Kryma i povyshenie ikh plodorodiia*. [Crimean soils and increasing their fertility (Reference edition)]. *Spravochnoe izd.* Simferopol': Tavriia, 1987. 152 p.
- Rode A. A. *Osnovy ucheniia o pochvennoi vlage*. [Fundamentals of the doctrine of soil moisture]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965. 286 p.
- Sadovnikova N. B., Smagin A. V. Instrumental'nyi kolonochno-tsentrifuzhnyi metod otsenki vodouderzhivaiushchei sposobnosti pochv i gruntov. [Instrumental column-centrifugal method of estimating water-holding capacity of soil and ground]. *Ekologicheskii vestnik Severnogo Kavkaza*, 2011, no. 2, pp. 15–22.
- Terleev V. V., Ginevskii R. S., Lazarev V. A., Topazh A. G., Dunaeva E. A. Funktsional'noe predstavlenie vodouderzhivaiushchei sposobnosti i otnositel'noi gidravlicheskoj provodimosti pochvy s uchetoм gisterezisa. [Functional description of water-retention capacity and relative hydraulic conductivity of the soil taking into account hysteresis]. *Pochvovedenie*. 2021, no 6, pp. 715–724. DOI: 10.31857/S0032180X21060149.
- Filina Ia. A., Dunaeva E. A., Rasskazova A. S., Smagin A. V., Dzharparova A. M. Opredelenie vodouderzhivaiushchei sposobnosti chernozemov iuzhnykh i agrochernozemov segregatsionnykh Kryma metodom ravnovesnogo tsentrifugirovaniia. [Determination of the water retention capacity of chernozems southern and agrochernozems segregated in the Crimea by the method of equilibrium centrifugation]. *Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki*, 2022, no. 1 (29), pp. 166–180.
- Khitrov N. B., Rogovneva L. V., Dunaeva E. A., Popovich V. F., Pashtetskii V. S., Klimenko O. E. Postirrigatsionnoe sostoianie pakhotnykh pochv stepnogo Kryma. [Post-irrigated status of arable soils of steppe Crimea]. *Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki*, 2016, no. 1 (5), pp. 91–110.
- Shein E. V. Granulometricheskii sostav pochv: problemy metodov issledovaniia, interpretatsiia rezul'tatov i klassifikatsiia [Granulometric composition of soils: problems of research methods, interpretation of results and classifications]. *Pochvovedenie*, 2009, no. 3, pp. 309–317.
- Shein E. V., Korpachevskii B. A. *Teorii i metody fiziki pochv*. [Theories and methods of soil physics]. M.: Grif i K. 2007. 616 p.
- Shkuropadskaia K. V., Pshenichnaia A. A., Boldyreva V. E., Morozov I. V. Sravnitel'nyi analiz metodov opredeleniia granulometricheskogo sostava pochv. [Comparative analysis of methods for determining the granulometric composition of soils]. *Zhivye i biokosnye sistemy*, 2019, no. 30. DOI: 10.18522/2308-9709-2019-30-6.
- Yudina A. V., Fomin D. S., Kotelnikova A. D., Milanovskii E. Iu. Ot poniatii elementarnoi pochvennoi chastitsy granulometricheskomu i mikroagregatnomu analizam. [From the concept of an elementary soil particle to granulometric and microaggregate analyses] (obzor). *Pochvovedenie*, 2018, no. 11, pp. 1340–1362. DOI: 10.1134/S0032180X18110096.
- Bui L. T., Mori Y. Pinhole Multistep Centrifuge Outflow Method for Estimating Unsaturated Hydraulic Properties with Small Volume Soil Samples // *Water*. 2021. № 13. Article number 1169. DOI:10.3390/w13091169.
- de Freitas E. M., Vital T. N. B., Guimarães G. F. C., da Silveira F. A., Gomes C. N., da Cunha F.F. Determination of the Permanent Wilting Point of *Physalis peruviana* L. // *Horticulturae*. 2023. Article number 873. DOI: 10.3390/horticulturae9080873.
- Fraters D., Boom G. J., Boumans L. J., de Weerd H, Wolters M. Extraction of soil solution by drainage centrifugation-effects of centrifugal force and time of centrifugation on soil moisture recovery and solute concentration in soil moisture of loess subsoils // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017. 189(2):83. pp. 82–100. DOI: 10.1007/s10661-017-5788-7.
- Keller C. Application of centrifuging to heavy metal studies in soil solutions // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1995. 26 (9–10). pp. 1621–1636. DOI: 10.1080/00103629509369395
- Kirkham M. B. Chapter 10 – Field Capacity, Wilting Point, Available Water, and the Non limiting Water Range, Editor: M.B. Kirkham, *Principles of Soil and Plant Water Relations (Second Edition)*. Academic Press. 2014. pp. 153–170. DOI: 10.1016/B978-0-12-420022-7.00010-0
- Lozano J. C., Blanco Rodríguez P., Vera Tomé F., Maldonado R., Medeiros A. S., Prieto C. A System for obtaining soil solution extracts and soil water retention curves using a bench centrifuge with fixed angle rotors // *Geoderma*. 2020. Vol. 361. pp. 118–130. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.114063
- Smagin A. V. Column-centrifugation method for determining water retention curves of soils and disperse sediments // *Eurasian Soil Sc.* 2012. Vol. 45. pp. 416–422. DOI: 10.1134/S1064229312040126
- Taylor S. A. *Physical edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils*. San Francisco: W. H. Freeman, 1972. 533 p.