

УДК 631.445.4, 631.432(470.324)

ОСНОВНАЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОСЕРЫХ ПОЧВ: ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ И МАСШТАБНОГО ФАКТОРА*

© 2014 г. А. Б. Умарова¹, Е. В. Шейн¹, Н. С. Кухарук²¹Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы²Белгородский государственный университет, 308015, Белгород, ул. Победы, 85

e-mail: a.umarova@gmail.com, evgeny.shein@gmail.com

Поступила в редакцию 05.11.2013 г.

Экспериментально изучены основные гидрофизические характеристики (ОГХ) горизонтов серой лесной среднесуглинистой почвы на образцах цилиндрической формы нарушенного и ненарушенного сложения. Высота образцов изменялась от 2 до 4 см, диаметр – от 4.5 до 10 см. Почвенные монолиты отобрали в трех направлениях: вертикально, вдоль и поперек склона внутриводосборного палеорельефа, образованного воронкообразным залеганием второго гумусового горизонта. Экспериментальные кривые ОГХ аппроксимировали с использованием уравнения ван Генухтена. Статистический анализ параметров аппроксимации ОГХ показал, что все они значимо отличаются для насыпных образцов и монолитов, ряд параметров различается для образцов с наибольшими высотой и диаметром. Достоверные отличия параметров отмечали и при разных направлениях отбора образцов, наиболее часто – при отборе образцов поперек склона палеорельефа. Отмеченное изменение параметров аппроксимации ОГХ может существенно сказаться на прогнозной оценке, например, весенних запасов влаги. Это указывает на необходимость точного описания процедуры отбора образцов, особенно в отношении строения почвенного профиля, асимметрии почвенных свойств и размеров образцов (масштабного фактора), используемых для исследования гидрологических свойств структурных почв.

Ключевые слова: основная гидрофизическая характеристика почв, отбор образцов, асимметрия, анизотропия почвенных свойств, моделирование, насыпные почвенные образцы, почвенные монолиты.

DOI: 10.7868/S0032180X14120090

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития почвенной гидрологии одним из важнейших гидрологических показателей почв является основная гидрофизическая характеристика (ОГХ), называемая также кривой водоудерживания (water retention curve) – зависимость между капиллярно-сорбционным давлением влаги и объемной влажностью почвы [2, 3, 5, 7]. Это обусловлено тем, что гидрология почв, а также связанные с ней мелиорация, природопользование, агротехнологии и другие науки практической направленности в настоящее время используют физически обоснованные математические модели. С помощью таких моделей производят анализ гидрологической ситуации, расчет экологического риска, строения и функционирования почвенных конструкций, осушительных и оросительных мероприятий и др. – практически всех происходящих в почве процессов, связанных с движением влаги и растворов в почве и почвенном покрове. А так как движение влаги и растворов в почве – это основа любого почвенного процесса как в естественных, так и искусственно со-

здаваемых условиях, то центральное место в математических моделях функционирования почв занимает ОГХ, которая представляет собой важнейшую незаменимую часть почвенного экспериментального обеспечения моделей. Качество определения этой зависимости будет влиять на адекватность модели, качество прогноза, его точность, и, соответственно, принятие решения и управление почвенными процессами [5, 7, 13].

Однако до сих пор нет общепринятых, стандартизированных методов экспериментального получения этой зависимости, хотя разработан спектр методов, позволяющих экспериментально определять различные участки кривой водоудерживания и, в конечном счете, восстановить практически всю кривую. Форма и положение кривых ОГХ существенно изменяются в зависимости от таких фундаментальных свойств, как гранулометрический, минералогический составы, плотность, содержание органического вещества, состав поглощенных катионов, а также от динамических свойств, таких как химический состав почвенного раствора, структурный состав, направление гидрологического процесса, иссушение или увлажнение (явление гистерезиса) и многих иных факторов [7, 8, 16]. С другой стороны, ОГХ позво-

* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 13-04-01475-а, 12-04-01806-а.

ляет получить информацию о структуре порового пространстве, количественные характеристики объемов подвижной и неподвижной влаги, доступной и недоступной влаги для растений, соотношения воздушной и водных фаз при различной влажности почв и многие другие почвенные характеристики. Такая комплексность в отражении почвенных свойств и высокая информативность ОГХ дает возможность использовать ее в практических целях для прогноза и управления почвенными процессами в ландшафтах с помощью разных моделей [13, 15], но и выдвигает еще одну проблему: необходимость в массовом определении ОГХ, что весьма трудоемко, затратно, а нередко, и практически невозможно.

В последние десятилетия для массового получения гидрофизических функций применяют расчетный подход. Предложено рассчитывать так называемые педотрансферные функции, то есть зависимости ОГХ от основных фундаментальных свойств почв, которые известны из данных Почвенных служб и накоплены в базах данных [10, 12]. В настоящее время педотрансферные функции широко используются как в региональной почвенной гидрологии, так и для построения гидрологических карт разного масштаба. Основными предикторами в педотрансферных функциях являются: гранулометрический состав, содержание органического вещества и плотность почвы. Нередко используются и гидрологические константы, такие как наименьшая влагоемкость и влажность завядания растений, которые, как правило, соотносят со значениями давления почвенной влаги -330 и -15000 см водного столба соответственно (две точки на кривой ОГХ) [7, 12, 15]. Однако на современном этапе использования ОГХ возникает ряд вопросов: 1) какие еще свойства почвы, кроме традиционно накапливаемых в базах данных, могут оказать существенное влияние на форму и положение ОГХ; 2) как сказывается на определении ОГХ масштабный фактор? В большинстве случаев ОГХ определяют экспериментально в лаборатории на отобранных в поле образцах. А вот процедура сэмплинга (то есть условия отбора, размер образца и пр.) для получения ОГХ исследована весьма слабо; 3) насколько существенен фактор сэмплинга для последующих анализов гидрологического состояния почв с использованием прогнозных моделей (влияние сэмплинга на ОГХ). Отмеченные проблемы составили основные задачи данной работы.

В связи с указанными задачами целью работы являлось изучение зависимости ОГХ от условий, метода отбора образцов в связи с особенностями эволюции и современной морфологии агросерой почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили агросерые лесные почвы Владимирского ополья. Данные почвы подробно исследованы в ходе многолетних экспедиций кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, экспериментальные данные изложены в статьях и монографиях [1, 6, 8]. Почвенный покров территории Владимирского ополья имеет выраженную контрастность, обусловленную палеорельефом, и представлен серыми лесными почвами разной степени оподзоленности и серыми лесными почвами со вторым гумусовым горизонтом (Ah). Известно, этот горизонт имеет характерную комковато-ореховатую структуру, окаймляется оподзоленным горизонтом, который также характеризуется ярко выраженной структурой с наличием горизонтальной слоистости, что должно сказаться на гидрофизических функциях почвенных образцов, взятых из гор. Ah, EIB, AhE1. На рис. 1 в качестве примера приведена схема почвенного покрова, исследованного траншейным методом [1, 6, 8]. В траншее глубиной 200 см и длиной 42 м отчетливо выделяется второй гумусовый горизонт (Ah), образующий внутрипочвенные “западинки” с характерным палеорельефом. В нем видны склоны внутрипочвенных “западинок”. Поэтому образцы для гидрофизических исследований почвенных горизонтов A пах, Ah, EIB, A пах–EIB, A пах–Ah, AhE1 можно отобрать как вдоль этого склона, так и поперек.

Образцы как нарушенного, так и ненарушенного сложения отбирали из основных генетических горизонтов почв именно в выбранных направлениях. В дальнейших обсуждениях они указаны как образцы ненарушенного сложения, отобранные вертикально, отобранные вдоль внутрипочвенного склона, образованного вторым гумусовым горизонтом, и отобранные поперек внутрипочвенного склона.

Все образцы (насыпные и монолиты) помещали в пластиковые кольца разного размера: 1) диаметром и высотой 4.5 см; 2) диаметром 4.5 см и высотой 2 см; 3) диаметром 10 см и высотой 4.5 см.

До проведения эксперимента образцы хранили в холодильнике герметично упакованными для сохранения естественной влажности и снижения биологической активности.

Определение основной гидрофизической характеристики вели в верхней части ОГХ методом сорбции влаги над насыщенными растворами солей, в нижней части – тензиостатическим методом на насыпных образцах и почвенных монолитах [5] в режиме иссушения. Расчет средней части ОГХ проводили по Воронину [2, 16].

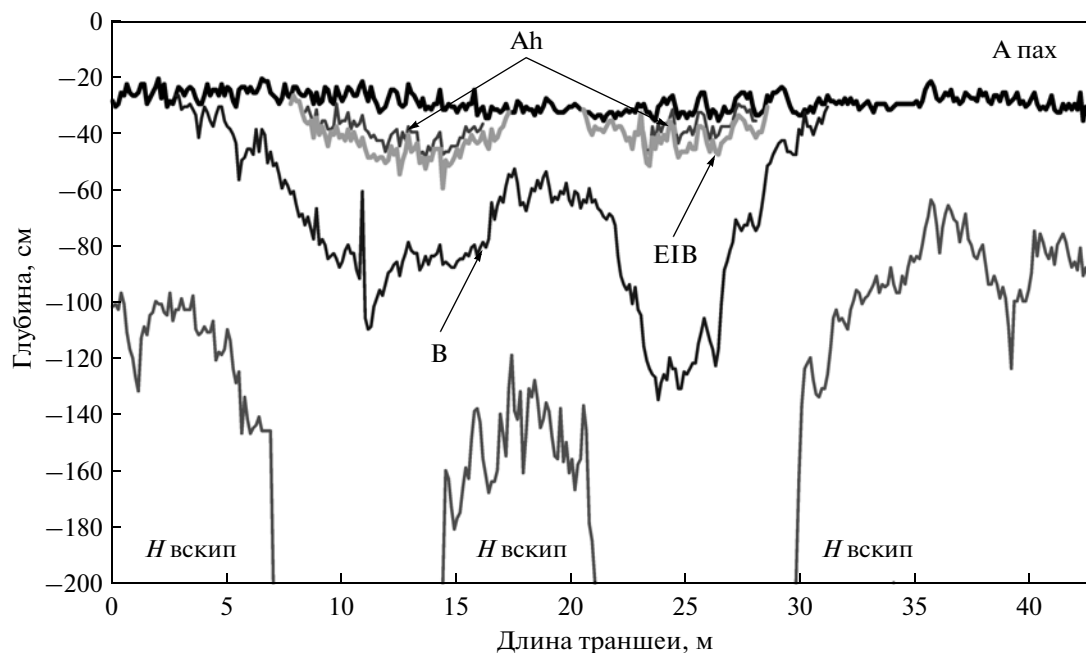


Рис. 1. Морфологическое строение траншеи 2000 г. Ah – второй гумусовый горизонт, формирующий во внутрипочвенном палеорельефе характерные “западинки”. Н вскип – глубина вскипания при воздействии на почву 10%-ным раствором HCl.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим влияние направления отбора почвенного образца на форму и расположение кривой ОГХ в разных горизонтах исследованной почвы. На рис. 2 приведены нижние части кривой водоудерживания, полученные тензиостатическим методом для образцов почвенных горизонтов, отобранных в различных направлениях.

Выявлено, что все кривые гор. А пах (рис. 2А) располагаются очень скученно, разброс значений влажности минимален. Данный горизонт является наиболее однородным, он не обладает анизотропией ОГХ. Выделяется гор. Ah (рис. 2Б), в котором водоудерживающая способность выше, чем в пахотном горизонте, и одновременно наблюдается дифференциация кривых ОГХ в зависимости от направления отбора почвенного монолита. Горизонтальные монолиты, отобранные вдоль внутрипочвенного рельефа, имеют меньшие значения влажности, и их кривые расположены левее остальных.

Еще более отчетливо выражена анизотропия ОГХ нижней части гор. Ah (рис. 2Е) на фоне резкого снижения водоудерживающей способности по сравнению с вышележащим горизонтом. Также отчетливо данный горизонт выделяется и анизотропией функции влагопроводности. Монолиты, отобранные в направлении склона палеорельефа, имеют наибольшие значения коэффициента влагопроводности во влажной почве, резко снижаясь с уменьшением влажности.

Экспериментальные данные по зависимости влажности почв от значений давлений почвенной влаги аппроксимировали уравнением ван Генухтена, в котором основными параметрами являются Θ_s , Θ_r , α и n (при условии, что параметр m принимается равным $m = 1 - \frac{1}{n}$) [5, 14, 17].

Считается, что параметры аппроксимации по ван Генухтену являются физически обоснованными. Параметр Θ_s близок по величине объемной влажности полного насыщения почвы, хотя при математическом описании кривой ОГХ в преобладающем большинстве он имеет меньшие значения, чем пористость почв. Параметр α – величина, обратно пропорциональная давлению вхождения воздуха в почву, “давление барботирования”, а параметр n представляет собой характеристику угла наклона кривой ОГХ.

Зная параметры аппроксимации и их статистики (в частности, средние квадратические ошибки параметров), можно количественно сравнить исследованные объекты [10]. Для соответствующих параметров аппроксимации (например, α' и α'') разных выборок можно рассчитать t -критерий по следующей формуле:

$$t = \frac{|\alpha' - \alpha''|}{\sqrt{(S_{\alpha'})^2 + (S_{\alpha''})^2}},$$

где $S_{\alpha'}$ и $S_{\alpha''}$ – стандартные отклонения параметров α' и α'' . Соответственно, если t -критерий оказывается больше табличного для данной сте-

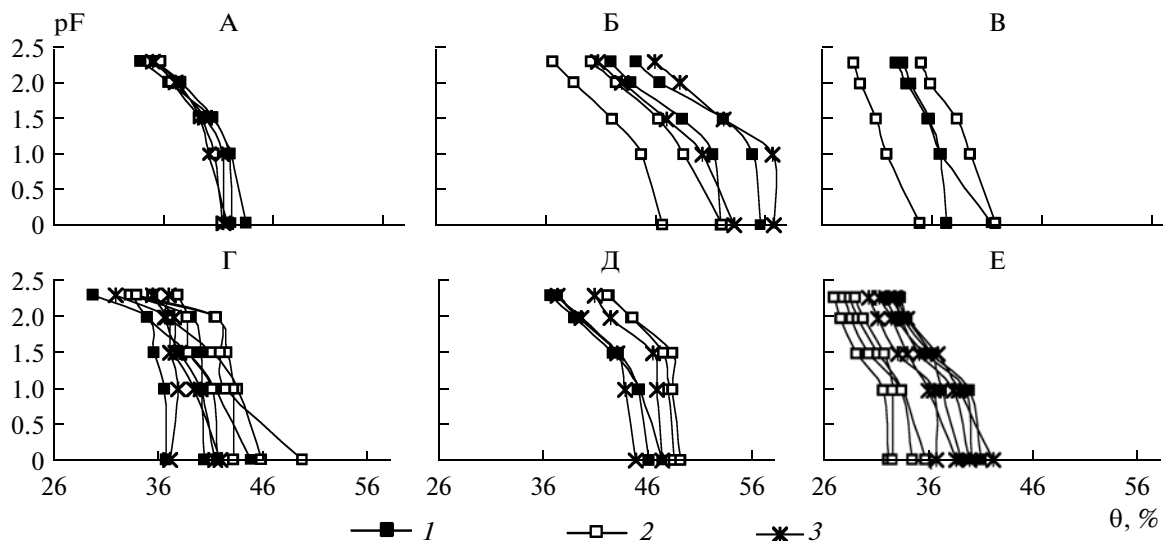


Рис. 2. ОГХ почвенных монолитов, отобранных из горизонтов серой лесной почвы и переходных слоев: А – А пах, Б – Ah, В – EB, Г – А пах–EB, Д – А пах–Ah, Е – AhE. 1 – образцы ненарушенного сложения, отобранные вертикально, 2 – образцы, отобранные вдоль внутрипочвенного склона, образованного вторым гумусовым горизонтом, 3 – образцы, отобранные поперек внутрипочвенного склона.

пени свободы и уровня значимости (традиционно 0.05), то параметры двух выборок значительно отличаются друг от друга. В этом случае можно утверждать достоверность различий в соответствующих характеристиках процесса.

Результаты аппроксимации ОГХ почвенных образцов разного размера из гумусового гор. А пах и минерального гор. В серой лесной почвы, исследованных в трех повторностях, и статистический сравнительный анализ основных параметров аппроксимации кривых представлены в табл. 1. В сравнении участвовали насыпные образцы и монолиты стандартных размеров, используемых в тензиостатическом методе, высотой и диаметром 4.5 см. Кроме того, использовали монолиты той же высоты меньшей высоты – 2 см и монолиты той же высоты 4.5 см и большего диаметра – 10 см. Цифры в показателе означают, что этот параметр значимо ($P = 0.05$) отличается от соответствующих параметров под указанным номером.

Например, $0.372^{(2)}$ означает, что величина Θ_s для насыпного образца гор. А отличается от параметра Θ_s ненарушенного образца гор. А высотой 2 см и диаметром 5 см под номером 2.

По величинам параметра Θ_s наибольшее количество воды вмещает в себя насыпной образец гор. А пах, монолиты разного размера слабо отличаются друг от друга. В минеральном гор. В влажности полного насыщения насыпных почвенных образцов и самых маленьких монолитов высотой 2 см имеют близкие значения – 0.427 и $0.440 \text{ см}^3/\text{см}^3$ соответственно.

Отметим, что параметр α для обоих горизонтов уменьшается в ряду от насыпного образца до монолита большого размера, что по физическому смыслу означает возрастание величины давления входа воздуха в почву с увеличением его структурной организации и ростом размера почвенных монолитов.

Таблица 1. Параметры аппроксимации кривых ОГХ почв и их статистический сравнительный анализ

№	Образцы	Размеры образца: высота–диаметр, см	$\Theta_s, \text{см}^3/\text{см}^3$	$\alpha, \text{см}^{-1}$	n
Гор. А серой лесной почвы, 15–17 см					
1	Насыпные	4.5–4.5	$0.372^{(2,3,4)}$	$0.016^{(2,3,4)}$	$1.259^{(2,3,4)}$
2	Монолиты	2–4.5	$0.340^{(1)}$	$0.007^{(1,4)}$	$1.326^{(1,4)}$
3	Монолиты	4.5–4.5	$0.324^{(1)}$	$0.006^{(1,4)}$	$1.333^{(1,4)}$
4	Монолиты	4.5–10	$0.341^{(1)}$	$0.002^{(1,2,3)}$	$1.391^{(1,2,3)}$
Гор. В серой лесной почвы, 40–45 см					
5	Насыпные	4–4.5	$0.427^{(7,8)}$	$0.051^{(7,8)}$	$1.210^{(7,8)}$
6	Монолиты	2–4.5	$0.440^{(7,8)}$	$0.021^{(7,8)}$	$1.262^{(7,8)}$
7	Монолиты	4–4.5	$0.367^{(4,5)}$	$0.009^{(5,6)}$	$1.366^{(4,5)}$
8	Монолиты	4–10	$0.323^{(4,5)}$	$0.013^{(5,6)}$	$1.212^{(4,5)}$

Сравним полученные параметры аппроксимации статистически по критерию Стьюдента. Анализ результатов, представленных в табл. 1, показал, что в гор. А пах величины Θ_s значимо отличаются для насыпных образцов и монолитов, а вот монолиты разного размера близки друг от друга по данному параметру. Для этого же горизонта в значениях параметра α имеются отличия между насыпными образцами почв и их монолитами диаметром 10 см. Величины α и n также достоверно отличаются для монолитов с наибольшей высотой. Отметим, что для всех величин характерно значимое отличие параметров ОГХ насыпных (нарушенных) образцов, что достоверно указывает на существенное (значимое) изменение ОГХ при анализе насыпных образцов почв в отличие от монолитов. Эти результаты указывают на необходимость проводить определение ОГХ только на почвенных образцах ненарушенного сложения.

Что касается размеров, то достоверно по параметрам α и n выделяются образцы диаметром 10 см, то есть наиболее широкие. Их площадь составляет 78.5 против 15.9 см² всех остальных монолитов и насыпных образцов. Значит, существует большая вероятность попадания разнообразных пор в больший объем почвы — по их диаметру и степени извилистости. В данных образцах меньше сказывается влияние стенок цилиндра на величину водоудерживания, которое может иметь двоякую направленность. С одной стороны, появление дополнительной пористости за счет пристеночного зазора, становящегося более заметным в процессе иссушения, может вести к увеличению влажности в нижней части кривой ОГХ. С другой стороны, ограничение размеров монолита ведет к большему проявлению прерывания извилистых пор, нарушения сплошности капилляров и соответственно ведет к снижению водоудерживания, что является более заметным с уменьшением объема почвенных монолита.

Для гор. В насыпные образцы и самые маленькие монолиты не отличаются по всем параметрам ОГХ. Гор. В имеет ореховато-призматическую структуру, которая хорошо сохраняется в нарушенном состоянии. Монолиты высотой 2 см имеют наиболее близкий размер к величине агрегатов, они в большей степени близки по гидрологическому режиму к насыпным образцам почвы. Увеличение высоты монолитов в 2 раза, а тем более дополнительное увеличение их площади в 5 раз (большие монолиты) ведет к возрастанию значимости сложения почв в удерживании воды почвой.

Наблюдаются достоверные различия по всем параметрам ОГХ для насыпных почв и маленьких монолитов от параметров ОГХ более крупных образцов (монолитов высотой 4 см и диаметром 4.5 см и высотой 4 см и диаметром 10 см).

Итак, при использовании образцов почв разных по подготовке (нарушенного строения и

монолиты), а также разного размера можно получить существенные (достоверные) отличия в форме и положении ОГХ. Возникает вопрос, насколько они существенны. К каким прогнозным различиям при их использовании в математических моделях будут приводить отличия в ОГХ, полученных на почвенных образцах разного размера и состояния?

Провели модельный расчетный эксперимент: рассчитали весенние запасы влаги в 0–20 см слое почвы после схода снега и стока гравитационной влаги. Для условий Владимирского ополья (в районе г. Суздаль) сход снега в среднем приходится на 8–12 апреля. Период от схода снега до наступления мягкопластичного состояния почвы (состояние физической спелости) равен примерно 8–10 дням. Затем, в среднем на протяжении 20–22 сут в почве формируется запас влаги, характерный для условий появления первых всходов. Этот процесс моделировали с помощью физически обоснованной модели HYDRUS, используя указанные в табл. 1 параметры ОГХ и сохраняя другие условия (начальные и граничные условия, коэффициент фильтрации и др.) одинаковыми для всех вариантов такого расчетного опыта. Итак, рассмотрим варианты: насыпные образцы (вариант 1), образцы для ОГХ высотой 2 и диаметром 4.6, обычно используемые для определения ОГХ (вариант 2), 4 и 4.6 (вариант 3), 4 и 10 (вариант 4).

Для решения задачи прогноза весенних запасов продуктивной влаги в слое 0–20 см ко времени первых всходов яровых культур использовали среднесезонный для условий Владимирского ополья сценарий: на верхней границе (метеорологический), на нижней границе почвы (глубина 60 см) принято условие свободного оттока влаги. Таким образом, в проведенном прогнозном показателе эксперименте изменяли только параметры ОГХ (в связи с размерами отобранного образца), остальные условия передвижения влаги (условия на верхней и нижней границах, коэффициенты фильтрации и др.) являлись полностью идентичными для всех вариантов.

В результате расчетов весенних запасов продуктивной влаги оказалось, что, используя для расчетов лишь ОГХ, полученные на образцах разного размера можно отметить существенно разные результаты для агрономической практики: вариант 1 — 4.3 см водного слоя, что соответствует наиболее благоприятным, оптимальным условиям, в варианте 2 — 3.2 см (благоприятные условия), варианте 3 — 2.9 см (удовлетворительные) и варианте 4 — 4.0 см (благоприятные) (по [4]). Получается, что в случае использования насыпных образцов почв, можно получить завышенные результаты по прогнозу весенних запасов влаги, а в случае, если используются монолиты стандартного образца — заниженные значения запасов воды. Интересен факт, что если принять за наиболее адекватный прогноз вариант с большим

Таблица 2. Параметры аппроксимации кривых ОГХ (по ван Генухтену) почвенных образцов, отобранных в разном направлении (различный сэмплинг)

№	Образцы	Горизонт, глубина отбора, см	Θ_s , см ³ /см ³	α , см ⁻¹	n
Серая лесная почва со вторым гумусовым горизонтом					
1	Вертикальные	A пах, 9–14	0.441 ⁽³⁾	0.062 ⁽³⁾	1.090
2	Горизонтальные по склону		0.410	0.027	1.094
3	Горизонтальные поперек склона		0.410 ⁽¹⁾	0.015 ⁽¹⁾	1.102
4	Вертикальные	Ah, 28–32	0.487 ⁽⁶⁾	0.047	1.097
5	Горизонтальные по склону		0.485	0.008	1.125
6	Горизонтальные поперек склона		0.458 ⁽⁴⁾	0.015	1.104
7	Вертикальные	Ah, 36–40	0.538	0.045	1.093
8	Горизонтальные по склону		0.494	0.144	1.070
9	Горизонтальные поперек склона		0.548	0.060	1.091
10	Вертикальные	AhAEI, 43–47	0.410 ⁽¹¹⁾	0.155	1.045
11	Горизонтальные по склону		0.338 ⁽¹⁰⁾	0.203	1.045
12	Горизонтальные поперек склона		0.387	0.203	1.059
13	Вертикальные	B, 70–74	0.384	0.044	1.070
14	Горизонтальные по склону		0.378	0.085	1.063
Серая лесная почва					
15	Вертикальные	A пах–EIB, 28–32	0.455 ⁽¹⁷⁾	0.132 ⁽¹⁷⁾	1.070
16	Горизонтальные по склону		0.460 ⁽¹⁷⁾	0.112	1.079
17	Горизонтальные поперек склона		0.401 ^(15,16)	0.010 ⁽¹⁵⁾	1.088
18	Вертикальные	EIB, 36–40	0.433	0.062	1.078
19	Горизонтальные поперек склона		0.432	0.114	1.072

размером почвенного монолита, то он окажется ближе всего по прогнозу величины запасов влаги варианту нарушенной почвы.

Как следует из проведенного прогнозного расчетного эксперимента, в зависимости от того монолиты или насыпные почвы и какого размера образцы будут использованы для определения ОГХ в качестве экспериментального обеспечения прогнозных моделей, можно получить оценку запасов продуктивной влаги в широком диапазоне: от оптимальных до удовлетворительных. Причем оптимальные, самые высокие, и видимо, завышенные значения получаются при работе с нарушенными образцами, а наименьшие – в монолитах высотой 4 и диаметром 5 см. Насколько стабильна и в каком диапазоне размеров правомерна указанная тенденция – задача дальнейших экспериментов. На данный момент ясно одно – в зависимости от состояния и размеров образцов для определения ОГХ можно получить качественно различные результаты при прогнозах весенних продуктивных запасов влаги.

Следующей задачей исследования было изучение формы и положения ОГХ при разных направлениях отбора образцов, то есть влияния анизотропии свойств текстурно-неоднородной почвы на гидрофизические характеристики почв. Выбор почв Владимирского ополья для исследования влияния анизотропии ОГХ на параметры ее аппроксимации и влияния на прогноз гидрологического режима почв не случаен. Согласно предыдущим исследованиям [1, 6, 9], почвы Владимирского ополья функционируют в соответ-

ствии с древним палеорельефом, что, в свою очередь, сохраняет комплексность строения почвенного покрова.

В данной работе использовали образцы серой лесной и серой почвы со вторым гумусовым горизонтом, также отобранные вертикально, вдоль склона древнего рельефа и перпендикулярно к нему. Размеры образцов, условия хранения и методы определения были одинаковы для всех вариантов. Определения вели в 3–7 повторностях.

Полученные результаты (табл. 2) показали, что достоверные отличия отмечаются в основном для параметра Θ_s при отборе образцов вертикально и горизонтально по внутреннему склону почвенного покрова. Причем, наиболее часто – при отборе почвенных монолитов поперек склона. Видимо, в этом случае наиболее заметно изменение порового пространства, которое и приводит к преобразованию ОГХ.

Сравним прогнозные запасы продуктивной влаги, используя только различные ОГХ в зависимости от направления отбора почвенных монолитов. Все остальные условия (на верхней метеорологической границе и нижней границе – глубине 60 см, коэффициенты фильтрации и др.) для всех вариантов оставим одинаковыми. Результаты прогноза запасов продуктивной влаги представлены в табл. 3.

Как видно, и в этом модельном эксперименте получены достоверно различные запасы продуктивной влаги при использовании образцов одного и того же размера и состояния, но отобранных

Таблица 3. Прогнозная оценка запасов продуктивной влаги в слое 0–20 см при использовании ОГХ, полученных на образцах почв, отобранных в разном направлении с учетом внутрпочвенного палеорельефа почвенного покрова

Характеристика условий отбора образцов	Запасы продуктивной влаги в слое 0–20 см, см водного слоя	Оценка по Медведеву, Плиско [4]
Вертикально	2.6	Удовлетворительная
Горизонтально по склону	1.6	Неблагоприятная
поперек склона	3.75	Благоприятная

с учетом направления внутреннего рельефа почвенного покрова. Это указывает на необходимость стандартизации процедур отбора, хранения и подготовки образцов для определения гидрофизической информации, необходимость учета особенностей внутреннего рельефа почвенного покрова текстурно и структурно неоднородной почвы, то есть важность учета анизотропии кривой водоудерживания при гидрологических и прогнозных агрономических расчетах запасов воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная гидрофизическая характеристика почв в настоящее время является главной составляющей прогнозных и оптимизационных расчетов переноса и удерживания влаги почвой. Однако ее экспериментальное определение чрезвычайно трудоемко, а расчетные процедуры с помощью педотрансферных функций сводятся к восстановлению ОГХ на основе ограниченного числа предикторов. Как правило, это такие показатели, как гранулометрический состав, плотность, содержание органического вещества почв. В то же время недостаточно обоснована процедура сэмпинга (отбора образцов для анализа) в случае экспериментального определения ОГХ в лабораторных условиях, в частности, условия отбора (нарушенная и ненарушенная структура, учет направленности отбора почвенных монолитов, анизотропия сложения почвенных горизонтов), предварительная подготовка образцов. Показано, что для почв с выраженной структурой и текстурно-дифференцированным профилем процедура сэмпинга обязательно должна учитываться при определении ОГХ и составлении педотрансферных функций. Недочет особенностей строения почвенного профиля, анизотропия почвенных свойств и размеров образца (масштабного фактора) может привести к значительным погрешностям в расчетах, вплоть до изменения качественной оценки запасов почвенной влаги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архангельская Т.А.* Температуропроводность серых лесных почв Владимирского ополья // Почвоведение. 2004. № 3. С. 332–342.
2. *Воронин А.Д.* Основы физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 244 с.
3. *Глобус А.М.* Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 428 с.
4. *Медведев В.В., Плиско И.В.* Бонитировка и качественная оценка земель Украины. Харьков: 13 типография, 2006. 386 с.
5. Теории и методы физики почв. Теории и методы физики почв / Под ред. Шеина Е.В. и Карпачевского Л.О. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.
6. *Умарова А.Б.* Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв. М.: ГЕОС, 2011. 266 с.
7. *Шеин Е.В.* Курс физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 432 с.
8. *Шеин Е.В.* Гидрология почв: этапы развития, современные тенденции, ближайшие перспективы // Почвоведение. 2010. № 2. С. 175–185.
9. *Шеин Е.В., Иванов А.Л., Бутылкина М.А., Мазиров М.А.* Пространственно-временная изменчивость агрофизических свойств комплекса серых лесных почв в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования // Почвоведение. 2001. № 5. С. 578–585.
10. *Шеин Е.В., Архангельская Т.А.* Педотрансферные функции: состояние, проблемы, перспективы // Почвоведение. 2006. № 10. С. 1205–1217.
11. *Шеин Е. В., Русанов А.М., Милановский Е.Ю., Хайдапова Д.Д., Николаева Е.И.* Математические модели некоторых почвенных характеристик: обоснование, анализ, особенности использования параметров моделей // Почвоведение. 2013. № 5. С. 595–602. DOI: 10.7868/S0032180X13050146.
12. Developments of pedotransfer Functions in Soil Hydrology // Developments in Soil Science / Eds. Pachepsky Ya.A., Rawls W.J. Amsterdam: Elsevier, 2004. P. 30.
13. *Ranatunda K., Nation E.R., Barrat D.G.* Review of soil water models and their applications in Australia // Environmental Modelling & Software. 2008. V. 23. P. 1182–1206.
14. *Schaap M.G., van Genuchten M.Th.* A modified Mualem–van Genuchten formulation for improved description of the hydraulic conductivity near saturation // Vadose Zone J. 2006. V. 5. P. 27–34.
15. *Šimunek J., van Genuchten M.Th., Šejna M.* Development and applications of HYDRUS and STANMOD software packages and related codes // Vadose Zone J. 2008. V. 7. № 2. P. 587–600.
16. *Terleev V.V., Mirshel W., Schindler U., Wenkel K.-O.* Estimation of soil water retention curve using some agrophysical characteristics and Voronin's empirical dependence // International Agrophysics, 2010. V. 24. P. 381–387.
17. *van Genuchten M.Th.* A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic // Conductivity of Unsaturated Soils, SSSAJ. 1980. V. 44. P. 892–898.