

УДК 632.934

ВОДОУДЕРЖИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

© 2019 г. А. Г. Болотов^{1, *}, Е. В. Шеин^{2, 3}, С. В. Макарычев⁴

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Россия, 127550, Москва, ул. Прянишникова, 12

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы

³Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2

⁴Алтайский государственный аграрный университет, Россия, 656049, Барнаул, ул. Мерзликина, 8
*e-mail: agbolotov@gmail.com

Поступила в редакцию 27.12.2017 г.

После доработки 06.06.2018 г.

Принята к публикации 26.09.2018 г.

Основную гидрофизическую характеристику (ОГХ) и некоторые физические и химические свойства (гранулометрический состав, плотность почв, содержание органического вещества и др.) исследовали для основных типов почв Алтайского края: черноземов южных засушливой степи, обыкновенных колочной степи (Haplic Chernozems) и выщелоченных предгорий Алтая (Luvic Chernozems (Pachic)), каштановых почв (Cambisols) сухой степи различного гранулометрического состава (всего 420 образцов различных почв и горизонтов). ОГХ определяли экспериментально центрифугированием и капилляриметрическим методом и аппроксимировали на основе уравнения ван Генухтена. Параметры аппроксимации использовали при гидрологических группировках почв, связанных с гранулометрическим составом, который утяжеляется от зоны супесчаных почв сухой степи к тяжелосуглинистым почвам предгорий Алтая. Гидрофизические параметры имеют недифференцированный тип распределения по профилю, соответствуют почвенным процессам гумусонакопления, естественного и антропогенного уплотнения. Увеличение параметра α , обратного величине давления барботирования, происходит при переходе от черноземов (Chernozem) предгорий Алтая к каштановым почвам (Cambisols) сухой степи. Определение данного гидрофизического параметра особенно важно при расчетах по оптимизации водно-воздушных условий в почвах при их орошении и вероятном переувлажнении. Количественное описание ОГХ в виде параметров аппроксимации позволило предложить физически обоснованные модели для практических гидрологических и мелиоративных расчетов для основных почв Алтая.

Ключевые слова: параметры модели ОГХ ван Генухтена, гранулометрический состав, давление барботирования

DOI: 10.1134/S0032180X19020035

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время требования практики земледелия, мелиорации, ландшафтного земледелия, а также различных типов землепользования неизбежно приводят к вопросам оптимизации водного режима почв. Прежде чем решать задачи регулирования водного режима почв необходимо представить его нынешнее состояние и суметь рассчитать (прогнозировать) условия и способы его оптимизации для конкретных почвенных условий агроландшафтов. До настоящего времени основными гидрологическими параметрами, позволяющими оценить почвенные гидрологические условия, были почвенные гидрологические константы: наименьшая (или предельно полевая, или просто полевая) влагоемкость, влажность за-

вядания, а также полная влагоемкость (водоустойчивость) и коэффициент фильтрации. К сожалению, использование указанных гидрологических свойств почв нередко ограничено при управлении водным режимом в связи с трудоемким и нередко малообоснованным (особенно в гидроморфных и слоистых почвах) их экспериментальным определением; постоянным экспериментальным слежением за динамикой влажности; условиями одновременного контроля за поступлениями и расходами влаги на верхней (осадки, испарение, транспирация и др.) и нижней границах (притоки/отток влаги, наличие и глубина грунтовых вод). В последнее время для прогнозной оценки водного режима, его оптимизации при различном количестве обеспеченности осадков, в поливном земледелии, при рас-

четах режима орошения сельскохозяйственных культур с разным водопотреблением, а также сопутствующего движению влаги переносу веществ и энергии все больше применяется физически обоснованный подход. Прежде всего, вследствие определенной прогнозной ограниченности, а также из-за трудозатратности определения указанных гидрологических констант, современная гидрология пошла по пути физически обоснованного математического моделирования [7, 13, 16, 17, 19–21, 27]. Практическое использование и необходимость управления водным режимом почв для получения устойчивых урожаев приводят к количественному изучению и расчетным методам оптимизации водного режима. В основе этого подхода центральное место в почвенных характеристиках принадлежит водоудерживающей и водопроводящей функциям почв, то есть основной гидрофизической характеристике (ОГХ) и функции влагопроводности. Обе функции позволяют рассчитывать водный режим при различных условиях на верхней и нижней границах почв, и в дальнейшем оценивать его в отношении целевой оптимальности (для орошения, дренажа, смены сельскохозяйственных культур и др.). Следовательно, современная гидрологическая оценка почв, включая почвенный покров регионов, должна основываться на количественном определении и последующем использовании ОГХ и влагопроводности. Проблема при гидрофизической количественной оценке региональных почв распадается на ряд задач: 1) выделить основные почвы региона, для которых необходима целенаправленная гидрологическая оценка, прежде всего, почвы, активно используемые в земледелии; 2) определить ОГХ и влагопроводность для основных гидрологических горизонтов (слоев) почвенной зоны активного водообмена (или зоны аэрации) до глубины не менее 1–1.5 м; 3) получить гидрофизические параметры почв, которые в перспективе будут использоваться в качестве информации об основных почвах региона.

Последняя задача очень важна, так как известно, что генетическое различие почв, как правило, не проявляется в форме их ОГХ, а существенное влияние оказывают базовые физические свойства, такие как гранулометрический состав, плотность почв, содержание органического вещества и др. Именно это положение лежит в основе создающихся национальных банков почвенно-гидрофизической информации [2, 3, 25]. Этим объясняются схожие закономерности изменчивости водно-физических свойств почв с глубиной при однородном гранулометрическом составе, что позволяет ожидать и соот-

ветствующих относительно незначительных вариаций параметров ОГХ для почв, близких по гранулометрическому составу [4, 26]. В связи с этим, для решения проблемы количественного распределения гидрофизических свойств почв Алтайского края исходили из нескольких принципов: 1) разделения почвенного покрова на основе зональных принципов с учетом гранулометрического состава основных почвенных представителей, 2) информация о гидрофизических функциях основных зональных типов почв должна быть информативно сжатой, свернутой, то есть доведена до вида ее использования при составлении баз данных и дальнейшего практического применения. Последняя задача может быть решена благодаря использованию параметрических подходов описания и хранения информации о почвенных функциях, в частности, используя уравнения ван Генухтена и Муалема [21, 27]. Эта модель наиболее часто применяется для аппроксимации ОГХ, а в нынешнее время заняла лидирующее место при расчетных процедурах по оценке и прогнозу водного режима почв, расчетах режимов орошения, моделях расчета экологического риска [14, 15, 18, 22, 23]. С другой стороны, такой параметрический подход дает возможность разрабатывать и использовать педотрансферные функции, позволяющие по известным традиционно определяемым базовым свойствам (гранулометрический состав, плотность, содержание органического вещества и др.) восстанавливать основные гидрофизические параметры, что будет являться необходимым и востребованным элементом в ближайшее время при интенсивном развитии агротехнологий в Алтайском крае.

Цель работы – исследование зональных закономерностей гидрофизических свойств почв Алтайского края. Задачи исследования: 1) изучить основные физические свойства почв Алтайского края, определяющие водный и другие режимы в системе их генетических горизонтов; 2) исследовать основные гидрофизические функции почв Алтайского региона; 3) провести характеристику созданной базы количественных гидрологических параметров основных почв Алтайского региона на основе их зонального распространения, с перспективой ее использования в интенсивном сельскохозяйственном производстве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись почвы территории Алтайского края, рельеф которого представлен равнинными территориями и предгорьями Алтая. Общая дифференциация почвенного покрова определяется климатическими условия-

Таблица 1. Характеристика объектов исследования

Район, почвенно-климатическая зона (подзона)	Угодье	Количество разрезов	Почва, горизонт, количество образцов из каждого горизонта
Ключевский, сухая степь	Залежь	5	Каштановая супесчаная (Eutric Cambisol (Arenic, Ochric)): A (0–5 см), B1 (20–65 см), B2 (65–90 см), Cк (>90 см); 60 образцов
Рубцовский, засушливая степь	Пашня	4	Чернозем южный легкосуглинистый (Calcic Chernozem (Loamic, Aric)): A пах (0–20 см), AB (20–42 см), B (42–50 см), Bк (50–70 см), BCк (>70 см); 60 образцов
Ребрихинский, колючая степь	Пашня	8	Чернозем выщелоченный легкосуглинистый (Luvisc Chernozem (Loamic, Aric)): A пах (0–20 см), A (20–32 см), AB (32–43 см), B (43–58 см), BC (58–80 см), Cк (>80 см); 72 образца Чернозем обыкновенный среднесуглинистый (Haplic Chernozem (Loamic, Aric)): A пах (0–20 см), A (20–38 см), AB (38–48 см), B (48–60 см), BC (60–90 см), Cк (>90 см); 72 образца
Усть-Калманский, предгорья Алтая	Пашня	12	Чернозем выщелоченный среднесуглинистый (Luvisc Chernozem (Loamic, Aric, Pachic)): A пах (0–20 см), A (20–50 см), AB (50–75 см), B (>75 см); 48 образцов Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый (Luvisc Chernozem (Loamic, Aric, Pachic)): A пах (0–20 см), A (20–52 см), AB (52–80 см), B (80–110 см), BC (>110 см); 60 образцов Чернозем выщелоченный легкосуглинистый (Luvisc Chernozem (Clayic, Aric, Pachic)): A пах (0–20 см), A (20–54 см), AB (54–92 см), B (>92 см); 48 образцов

ми, несмотря на однотипность происхождения и относительную литолого-химическую однородность почвообразующих пород – лёссовидных суглинков.

Для исследования физических и гидрофизических свойств почв в лабораторных условиях использовали образцы, отобранные стандартным способом из генетических горизонтов типичных почвенных разрезов, заложенных в четырех почвенно-климатических зонах Алтайского края и характеризующих следующие типы почв различного гранулометрического состава от супесчаного до тяжелосуглинистого (образцы отбирали в 2015–2016 гг.): каштановые, черноземы южные, черноземы обыкновенные, черноземы выщелоченные (табл. 1).

Для гранулометрического состава, плотности почв, морфологических характеристик использовали традиционные и некоторые современные методы [1, 11].

В пределах предалтайских равнин общая пространственная закономерность гранулометрического состава заключается в уменьшении содер-

жания песчаной фракции и увеличении доли пыли и ила по мере продвижения от зоны сухой степи к предгорьям Алтая, что отмечено ранее [5, 8–10, 12]. Дифференциация профиля по тонкодисперсным фракциям возрастает от супеси к глинам легким, а в пределах разновидности от каштановых почв к черноземам. Исключение составляют черноземы обыкновенные (Haplic Chernozems (Loamic)) среднесуглинистые колючей степи, где тонкодисперсная фракция распределена равномерно по профилю. Степень неоднородности фракции увеличивается при переходе от зоны от супесчаных почв сухой степи к тяжелосуглинистым почвам предгорий Алтая.

Каштановые почвы (Cambisols) на территории Алтайского края в основном имеют супесчаный и легкосуглинистый гранулометрический состав, но встречаются и среднесуглинистые разновидности. Супесчаные почвы распространены на склонах борových террас и приборовой полосе, а также на западной окраине Кулундинской степи. В составе каштановых почв фракции песка (50–1000 мкм) являются преобладающими, при этом

их содержание достигает 80–85% в супесчаных, 50–60% легкосуглинистых и 30–40% среднесуглинистых почвах. В супесчаных почвах содержится до 10% илистых частиц, в легкосуглинистых 15–20%, в среднесуглинистых их доля увеличивается до 20–30%. Верхние горизонты каштановых почв, в которых активно протекают процессы почвообразования, обогащены глинистой фракцией, однако поверхностный слой (гор. А пах), как правило, содержит меньше глины, что связано с выдуванием иловатых и пылеватых частиц в процессе дефляции [9]. Иллювиальный горизонт практически не выделяется по гранулометрическому составу. Илистая фракция каштановых почв представлена в основном гидрослюдами и монтмориллонитом. В составе более крупных частиц преобладает кварц (более 35%) и полевые шпаты (до 30%) [10]. Микроагрегированность легких каштановых почв на фоне низкого содержания органико-минеральных коллоидов слабо выражена. Удельная поверхность каштановых почв по нашим данным (метод десорбции паров воды) составляет 3–30 м²/г. При этом каштановые почвы, особенно в верхнем гумусовом слое, имеют высокую общую пористость (50–60%), но в лугово-каштановых почвах ее величина снижается до 40%.

Гранулометрический состав черноземов Алтайского края легко- и среднесуглинистый, за исключением черноземов южных, обыкновенных и выщелоченных, приуроченных к дельтам ложбин древнего стока Приобского плато и зоне перехода Бие-Чумышского плато к долине р. Обь, имеющих гранулометрический состав от песчаного до легкосуглинистого. Пахотный слой черноземов предгорий Алтая представлен тяжелыми суглинками и легкими глинами. В исследованных черноземах фракция крупной пыли является преобладающей, при этом количество илистых частиц значительно (от 15 до 25%). Песчаная фракция может содержаться в некоторых профилях черноземов (особенно легкосуглинистых), в пахотном слое ее величина может достигать 30%, а в нижележащих слоях – 40%.

Плотность пахотного слоя профиля супесчаных каштановых почв составляет 1.5 г/см³, что говорит о его повышенной уплотненности. Легко- и среднесуглинистые почвы имеют меньшую плотность. Как правило, с глубиной плотность увеличивается, достигая в почвообразующей породе 1.5–1.7 г/см³. При этом каштановые почвы, особенно в верхнем гумусовом слое, имеют высокую общую пористость (50–60%), но в лугово-каштановых почвах ее величина снижается до 40%. Плотность сложения черноземов умеренно-засушливой и колючной степи изменяется от 1.1 до

1.5 г/см³ в метровой толще. Пористость в верхних горизонтах превышает 50%, снижаясь при переходе к более уплотненным нижним горизонтам. Наименьшая плотность сложения пахотного горизонта (около 1 г/см³) отмечена в тяжелосуглинистых черноземах предгорий.

Для изучения ОГХ применяли капилляриметрический метод в лабораторных условиях [11]. Полученные экспериментальные ОГХ нарушенных образцов (кривые водоудерживания в режиме иссушения) для основных диагностических горизонтов почв Алтайского края были сгруппированы по разновидностям от супесчаной до тяжелосуглинистой, аппроксимированы функцией модели ОГХ ван Генухтена в программном пакете *RETSC* [24, 26]. Процедуру аппроксимации проводили для ОГХ отдельных образцов с последующей их группировкой и получения средних величин M_i соответствующих параметров с расчетом среднеквадратичного отклонения δ_i и коэффициента вариации V_i (табл. 2). При этом во внимание принимали различие водоудерживающей способности нарушенных и ненарушенных образцов в области высоких влажностей ОГХ, которое не учитывается при регулировании водного режима почв, так как данный участок кривой водоудерживания соответствует гравитационной влаге, при которой растения испытывают недостаток воздуха.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как указывалось выше, водоудерживание почв в первую очередь связано с их гранулометрическим составом. Поэтому оно увеличивается при переходе от зоны супесчаных почв сухой степи к тяжелосуглинистым почвам предгорий Алтая. Найденные параметры: полного влагонасыщения θ_s ; остаточной влажности θ_r ; α , обратный величине давления барботирования и n , характеризующий распределение пор по размерам использованы при сравнительном анализе свойств почв. Из табл. 2 видно, что параметр θ_r закономерно увеличивается при переходе от каштановых почв сухой степи к черноземам предгорий Алтая, что связано с увеличением содержания гумуса и содержания илистой фракции. Характер поведения кривых профильного распределения параметра θ_r различен для зональных почв и в основном соответствует распределению гранулометрических фракций, органического вещества и илистой фракции. Для черноземов южных засушливой степи характерен недифференцированный тип распределения данной величины, а для каштановых почв сухой степи и легкоглинистых черноземов предгорий

Таблица 2. Параметры модели ОГХ ван-Генухтена основных типов почв Алтайского края

Горизонт	$\theta_r, \text{см}^3/\text{см}^3$			$\theta_s, \text{см}^3/\text{см}^3$			$\alpha, 1/\text{см}$			$n, (-)$			R^2
	M_{θ_r}	δ_{θ_r}	$V_{\theta_r}, \%$	M_{θ_s}	δ_{θ_s}	$V_{\theta_s}, \%$	M_{α}	δ_{α}	V_{α}	M_n	δ_n	V_n	
	$\text{см}^3/\text{см}^3$			$\text{см}^3/\text{см}^3$			1/см						
Супесчаные													
Каштановые почвы (Eutric Cambisol (Arenic, Ochric)) сухой степи													
А пах	0.043	0.008	19	0.412	0.030	7	0.019	0.002	11	2.40	0.05	2	0.97
В1	0.043	0.007	16	0.402	0.025	6	0.022	0.003	14	2.36	0.06	3	0.96
В2	0.049	0.009	18	0.401	0.035	9	0.020	0.004	20	2.37	0.11	5	0.96
Ск	0.043	0.009	21	0.386	0.036	9	0.020	0.003	15	2.42	0.09	4	0.97
Легкосуглинистые													
Черноземы южные (Calcic Chernozem (Loamic, Aric)) засушливой степи													
А пах	0.063	0.013	21	0.507	0.036	7	0.020	0.006	30	1.93	0.07	4	0.94
АВ	0.063	0.014	22	0.515	0.031	6	0.021	0.005	24	1.92	0.05	3	0.93
В	0.064	0.012	19	0.501	0.03	6	0.024	0.007	29	1.91	0.06	3	0.93
ВСк	0.064	0.011	17	0.500	0.028	6	0.031	0.009	29	1.89	0.06	3	0.92
Ск	0.065	0.008	12	0.460	0.05	11	0.024	0.008	33	1.82	0.08	4	0.93
Черноземы выщелоченные (Luvic Chernozem (Loamic, Aric)) колючей степи													
А пах	0.060	0.015	25	0.534	0.031	6	0.018	0.004	22	1.84	0.04	2	0.94
АВ	0.059	0.017	29	0.517	0.03	6	0.020	0.006	30	1.84	0.06	3	0.94
В	0.058	0.020	34	0.495	0.034	7	0.029	0.007	24	1.80	0.06	3	0.92
ВСк	0.052	0.012	23	0.473	0.029	6	0.032	0.008	25	1.79	0.05	3	0.92
Ск	0.053	0.015	28	0.462	0.031	7	0.027	0.009	33	1.86	0.14	8	0.93
Среднесуглинистые													
Черноземы обыкновенные (Haplic Chernozem (Loamic, Aric)) колючей степи													
А пах	0.083	0.012	14	0.551	0.038	7	0.011	0.006	55	1.68	0.14	8	0.93
АВ	0.083	0.012	14	0.519	0.031	6	0.012	0.005	42	1.67	0.10	6	0.93
В	0.081	0.012	15	0.491	0.024	5	0.019	0.010	53	1.61	0.06	4	0.92
ВСк	0.077	0.011	14	0.476	0.026	5	0.020	0.013	65	1.63	0.07	4	0.92
Ск	0.073	0.009	12	0.466	0.027	6	0.013	0.006	46	1.66	0.06	4	0.93
Черноземы выщелоченные (Luvic Chernozem (Loamic, Aric, Pachic)) предгорий Алтая													
А пах	0.100	0.017	17	0.549	0.029	5	0.010	0.005	50	1.65	0.06	4	0.93
АВ	0.101	0.012	12	0.508	0.043	8	0.011	0.002	18	1.65	0.06	4	0.93
В	0.095	0.007	7	0.496	0.033	7	0.013	0.006	46	1.63	0.06	4	0.92
ВСк	0.094	0.011	12	0.467	0.019	4	0.007	0.002	29	1.65	0.10	6	0.95
Ск	0.094	0.006	6	0.455	0.028	6	0.008	0.0002	3	1.72	0.01	1	0.93
Тяжелосуглинистые													
Черноземы выщелоченные (Luvic Chernozem (Loamic, Aric, Pachic)) предгорий Алтая													
А пах	0.091	0.013	14	0.566	0.051	9	0.006	0.003	50	1.67	0.12	7	0.94
АВ	0.098	0.017	17	0.529	0.031	6	0.007	0.003	43	1.67	0.17	10	0.93
В	0.113	0.017	15	0.513	0.028	5	0.005	0.003	60	1.75	0.17	10	0.95
Ск	0.112	0.014	13	0.487	0.046	9	0.007	0.001	14	1.62	0.04	2	0.93
Легкоглинистые													
Черноземы выщелоченные (Luvic Chernozem (Clayic, Aric, Pachic)) предгорий Алтая													
А пах	0.115	0.005	4	0.580	0.053	9	0.008	0.0018	23	1.52	0.06	4	0.92
АВ	0.112	0.007	6	0.563	0.023	4	0.008	0.0020	25	1.51	0.04	3	0.92
В	0.120	0.008	7	0.545	0.028	5	0.007	0.0010	14	1.52	0.02	1	0.92
ВС	0.119	0.009	8	0.541	0.021	4	0.007	0.0014	20	1.53	0.02	1	0.98
Ск	0.108	0.006	6	0.515	0.022	4	0.006	0.0010	17	1.57	0.05	3	0.93

Алтая параметр θ , дифференцирован по профилю. Потеря гумуса и тонкодисперсного материала в пахотном горизонте в результате эрозионных процессов приводит к более низким значениям данной величины в нем по сравнению с иллювиальным горизонтом. Эта особенность также была отмечена ранее [6, 10] для величины максимальной гигроскопичности при дефляции каштановых почв. Наибольшие значения θ , черноземов обыкновенных среднесуглинистых колочной степи и тяжелосуглинистых предгорий Алтая характерны для пахотного горизонта и соответствуют типу распределения органического вещества

Параметр θ_s также увеличивается, хотя характер его изменения не так выражен, как изменение параметра θ_r , а его распределение по профилю каштановых почв, черноземов обыкновенных среднесуглинистых колочной степи, а также тяжелосуглинистых и легкосуглинистых луговой степи предгорий и низкогорий Алтая выражено в более высоких значениях данного параметра в пахотном горизонте по сравнению с остальными. В верхнем горизонте черноземов южных величина θ_s меньше, чем в нижележащих слоях, что, вероятно, связано с уплотнением пахотного горизонта и снижением величины общей пористости.

Увеличение параметра α происходит при переходе от черноземов предгорий Алтая к каштановым почвам сухой степи. Определение данного гидрофизического параметра особенно важно при изучении формирования водно-воздушных условий в почвах при их вероятном переувлажнении. При этом пахотные и подпахотные горизонты средне- и тяжелосуглинистых почв отличаются более низкими значениями этого параметра по сравнению с нижележащими горизонтами, что также объясняется значительным содержанием гумуса. Содержание гумуса в легкосуглинистых почвах незначительно превышает значения в тяжелосуглинистых, поэтому характер распределения величины давления барботирования по горизонтам в целом похож изменению этого параметра в тяжелосуглинистых почвах. Однако глинистые почвы встречаются в основном в зоне луговой степи предгорий и низкогорий Алтая. В связи с этим в выборке присутствовали почвенные образцы легкосуглинистого гранулометрического состава преимущественно из этой зоны; уменьшенное значение давления барботирования может свидетельствовать о физической деградации данных почв. Параметр α каштановых супесчаных почв сухой степи, черноземов обыкновенных среднесуглинистых колочной степи и черноземов выщелоченных тяжелосуглинистых предгорий Алтая имеет меньшие значения в пахотном гори-

зонте, а для черноземов южных легкосуглинистых засушливой степи характерен недифференцированный тип распределения.

Параметр n максимален для супесчаных почв и закономерно уменьшается при увеличении содержания тонкодисперсных фракций, что объясняется увеличением угла наклона капиллярной области ОГХ. По параметру n все почвы имеют недифференцированный тип распределения за исключением супесчаных, что говорит о том, что угол наклона ОГХ практически не изменяется по профилю.

Анализ гидрофизических параметров позволяет сделать вывод о том, что характеристика гранулометрического состава почв, унаследованного почвами от материнских пород региона, оказывает наибольшее значение на гидрофизические параметры исследованных почв. В связи с этим, задача гидрофизического районирования, гидрологического прогнозного моделирования почвенных условий Алтайского края связана с подробным исследованием гранулометрического состава почв, прежде всего, почв сельскохозяйственных угодий для разработки режимов орошения и рационального природообустройства.

Отметим, что наибольший коэффициент вариации имеет параметр θ_r . Однако при расчетах водного режима он не оказывает существенного значения на результат прогнозного расчета, и в некоторых случаях им можно даже пренебречь. Напротив, параметры θ_s , α и n , наиболее чувствительные в модели расчета влагопереноса, варьируют в пределах выделенных почв при экспериментальных повторностях незначительно, в редких случаях коэффициент вариации достигает величин, больших 10%. Это низкая вариабельность обусловлена экспериментальными погрешностями и практически не связана с природным пространственным варьированием указанных параметров. Оценка природного варьирования — отдельная весьма сложная и затратная задача.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ОГХ основных почв Алтая определяется не только зональными особенностями эволюции почв, но и физическими свойствами почв: гранулометрическим составом, плотностью, а также содержанием органического вещества, что может являться обоснованием для использования педотрансферных функций при гидрологических исследованиях и использовании гидрофизических параметров для расчетов водного режима почв. Гидрофизические параметры в почвах Алтая имеют недифференцированный тип распределения

по профилю, либо распределены по характерным для зональных особенностей почвообразовательного процесса типам. Увеличение параметра, обратного величине давления барботирования, происходит при переходе от черноземов предгорий Алтая к каштановым почвам сухой степи. Определение данного гидрофизического параметра особенно важно при изучении формирования водно-воздушных условий в почвах в поливных условиях, при их вероятном переувлажнении. Параметр n , характеризующий крутизну ОГХ, максимален для почв зоны сухой степи и уменьшается для почв засушливой степи, колючей степи, лесостепи и предгорий Алтая. Приведенные основные гидрофизические параметры могут быть использованы при разработке режимов орошения для основных почв и сельскохозяйственных культур региона.

Благодарность. Работа осуществлена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-04-01624, 16-04-01851, 16-04-00949).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
2. Глобус А.М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических моделей. Л., 1987. 427 с.
3. Глобус А.М. Физика почв в агрофизическом институте и в мире: итоги и взгляд в будущее // Агрофизика XXI века. СПб., 2002. С. 12–16.
4. Гринеvский С.О. Схематизация строения и параметров зоны аэрации для моделирования инфильтрационного питания подземных вод // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2010. № 6. С. 56–67.
5. Макарычев С.В. Особенности теплофизического состояния пахотных выщелоченных черноземов Приобья // Почвоведение. 2007. № 8. С. 949–953.
6. Панфилов В.П. Физические свойства и водный режим почв Кулундинской степи. Новосибирск: Наука, 1973. 258 с.
7. Полуэктоv Р.А., Терлееv В.В. Моделирование вододерживающей способности почвы с использованием агрогидрологических характеристик // Метеорология и гидрология. 2005. № 12. С. 98–103.
8. Почвы Алтайского края. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 382 с.
9. Татаринцев В.Л. Гранулометрия агропочв юга Западной Сибири и их физическое состояние. Барнаул: Изд-во Алтайского ГАУ, 2008. 261 с.
10. Татаринцев Л.М. Физическое состояние пахотных почв юга Западной Сибири. Барнаул: Изд-во Алтайского ГАУ, 2005. 300 с.
11. Теории и методы физики почв / Под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. М.: Гриф и К., 2007. 616 с.
12. Хмелеv В.А. Лессовые черноземы Западной Сибири. Новосибирск: Наука СО, 1989. 201 с.
13. Шеин Е.В. Гидрология почв: этапы развития, современные тенденции, ближайшие перспективы // Почвоведение. 2010. № 2. С. 175–185.
14. Abramson A., Adar E., Lazarovitch N. Investigating the impact of irrigation method on profitability of small-holder gardening: Incorporating HYDRUS-1D into a decision support system // HYDRUS Software Applications to Subsurface Flow and Contaminant Transport Problems. Prague: Czech University of Life Sciences, 2013. P. 27–33.
15. Dabach S., Lazarovitch N., Šimůnek J., Shani U. Numerical investigation of irrigation scheduling based on soil water status // Irrigation Science. 2013. V. 31. № 1. P. 27–36.
16. Hanks R.J., Klute A., Bresler E. A numerical method for estimating infiltration, redistribution, drainage and evaporation of water from soil // Water Resour. Res. 1969. V. 5. P. 1064–1069.
17. Hillel D. Fundamentals of soil physics. N.Y.: Academic Press Inc., 1980. 413 p.
18. Hilten R.N., Lawrence Th.M., Tollner E.W. Modeling stormwater runoff from green roofs with HYDRUS-1D // J. Hydrology. 2008. V. 358. № 5. P. 288–293.
19. Kosugi K. General model for unsaturated hydraulic conductivity for soil with lognormal pore-size distribution // Soil Sci. Soc. Am. J. 1999. V. 63. P. 270–277.
20. Mirus B.B. Evaluating the importance of characterizing soil structure and horizons in parameterizing a hydrologic process model // Hydrol. Process. 2015. V. 29. № 21. P. 4611–4623. doi 10.1002/hyp.10592
21. Mualem Y. Extension of the similarity hypothesis used for modeling the soil water characteristics // Water Resour. Res. 1977. V. 13(4). P. 773–780.
22. Pozdniakov S., Wang P., Grinevskiy S., Yu J. Simulation of Groundwater Evapotranspiration with HYDRUS-1D in Desert Environments // HYDRUS Software Applications to Subsurface Flow and Contaminant Transport Problems. Prague: Czech University of Life Sciences, 2013. P. 289–299.
23. Radcliffe D.E., Simunek J. Soil Physics with HYDRUS: Modeling and Applications. CRC Press, 2010. 388 p.
24. Schaap M.G., Leij F.J., van Genuchten M.T. Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions // J. Hydrology. 2001. V. 251. № 3–4. P. 163–176.
25. Shein E., Dembovetsky A. Soil data from the Russian Federation // JRS Technical Reports “European Hydropedological Data Inventory.” European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environmental and Sustainability, 2013. P. 89–95.
26. Šimůnek J., van Genuchten M.T., Šejna M. Development and Applications of the HYDRUS and STANMOD Software Packages and Related Codes // Vadose Zo. J. 2008. V. 7. № 2. P. 587.
27. van Genuchten M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Am. J. 1980. V. 44. № 5. P. 892–898.

Water Retention Capacity of Soils in the Altai Region

A. G. Bolotov^{a,*}, E. V. Shein^{b,c}, and S. V. Makarychev^d

^a*Russian State Agrarian University—Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya st., 49, Moscow, 127550 Russia*

^b*Lomonosov Moscow State University, Leninskie gory, Moscow, 119991 Russia*

^c*Dokuchaev Soil Science Institute, per. Pyzhevskii 7, Moscow, 119017 Russia*

^d*Altai State Agricultural University, ul. Merzlikina 8, Barnaul, 656038 Russia*

*e-mail: agbolotov@gmail.com

Water retention curves and some physical and chemical properties (particle-size distribution, soil density, organic matter content, etc.) were determined for the major soil types of the Altai region: southern chernozems of dry steppe and ordinary chernozems of steppe with forest groves in local depressions (Haplic Chernozems), leached chernozems of the Altai foothills (Luvic Chernozems (Pachic)), and chestnut soils (Kastanozems) of dry steppe. These soils had different textures. Overall, 420 soil samples were examined. The water retention curve was experimentally determined by centrifugation and capillarimetry and approximated on the basis of the van Genuchten equation. The parameters of the approximation were used for hydrological grouping of the soils in dependence on their texture, which becomes heavier from the loamy sandy soils of dry steppe towards heavy loamy soils of the Altai foothills. The hydrophysical parameters are not differentiated along the soil profile and generally correspond to the humus accumulation and the natural and anthropogenic soil compaction. An increase in parameter α reciprocal to the bubbling pressure is observed upon the transition from steppe Chernozems towards Kastanozems of dry steppe. The determination of this parameter is particularly important for modeling water and aeration conditions of the soils upon their irrigation and potential waterlogging. Quantitative descriptions of water retention curves with the use of approximation parameters made it possible to develop physically substantiated models for soil reclamation purposes.

Keywords: parameters of the van Genuchten model of WRC, soil texture, bubbling pressure