

## ФОРМИРОВАНИЕ И СОСТОЯНИЕ ВЛАГИ В КАПИЛЛЯРНОЙ КАЙМЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ВОСХОДЯЩЕМ ПОТОКЕ ИЗ ГРУНТОВЫХ ВОД

Н.А. Муромцев

При соприкосновении ненасыщенного водой профиля дерново-подзолистой супесчаной почвы колонны (20x20x200 см) с грунтовыми водами (ГВ) последние под действием градиента потенциала, направленного сверху вниз, начинают перемещаться в почву, насыщая ее профиль до предельно возможного состояния. Испарение воды с поверхности открытой части колонны обуславливает постоянный приток влаги из ГВ в зону аэрации и в атмосферу. Однако степень заполнения порового пространства почвы водой все время разная, она зависит от испаряемости атмосферы, интенсивности потока влаги через почву, температуры воздуха и атмосферного давления (Шишов, Муромцев, Большаков и др., 2000). Для изучения интенсивности потока влаги через колонну, максимальной высоты ее капиллярного подъема, объемов влаги, аккумулированной почвой и ее испарения с поверхности и некоторых других параметров, характеризующих состояние влаги в капиллярной кайме (КК) на различных глубинах почвенной колонны были установлены тензиометры. Полученная с их помощью информация представлена в таблицах 1 и 2.

Максимальный капиллярный подъем влаги в первой колонне (почва ненарушенного сложения) составил 100 см, а во второй (почва нарушенного сложения) – 83 см. Водный баланс почвы в обоих случаях положительный, конечные запасы влаги составили: в надкапиллярной зоне – несколько меньше наименьшей влагоемкости (НВ), в верхней части капиллярной каймы (КК) – от НВ до 0,8 НВ, а в остальной части колонн больше НВ. В первой колонне за 6-месячный срок наблюдений расход ГВ составил 75,2 мм, из них только 12,4 мм аккумулировались в зоне аэрации, а остальные – 62,8 мм пошли на физическое испарение с поверхности (в среднем 0,99 мм/сут). Максимальная скорость капиллярного подъема в самой нижней части колонны составила 0,83 мм/мин, а минимальная в верхней части КК – 0,07 мм/мин. В средней ее части скорость подъема влаги характеризуется значениями 0,13-0,12 мм/мин. Интенсивность потока влаги уменьшается снизу вверх. Гидростатическое давление передается до глубины 66-67 см от уровня грунтовых вод.

**Таблица 1.** Некоторые характеристики капиллярных явлений при восходящем потоке влаги в дерново-подзолистой супесчаной почве

№ тензиометра	$h$ , см	$T_1$	$T_2$	$Q_1$	$Q_2$	$V_k$	$I \times 10^{-5}$
		ч	мм	мм	мм/мин		
Колонна 1. Почва ненарушенного сложения							
10	0	2	25	0.4	0.8	0.83	0.33
9	18	23	51	0.6	5.8	0.13	0.43
8	31	40	1224	1.0	6.6	0.13	0.41
7	51	65	1512	1.5	9.6	0.13	0.38
6	66	90	1632	1.8	27.6	0.12	0.36
5	80	200	3384	4.0	56.0	0.07	0.36
Колонна 2. Почва нарушенного сложения							
10	10	10	310	0.4	7.2	0.17	0.70
9	25	31	479	0.8	9.8	0.13	0.41
8	40	55	1080	1.2	21.2	0.12	0.36
7	55	76	1176	1.5	24.0	0.12	0.32
6	67	101	1289	1.9	26.0	0.11	0.31
5	83	220	3360	4.2	40.3	0.06	0.30

Примечание:  $h$  – высота установки тензиометров над УГВ;  $T_1$  – время подъема ГВ до тензиометра;  $T_2$  – время максимального насыщения слоя почвы;  $Q_1$  и  $Q_2$  – расход воды за время  $T_1$  и  $T_2$ , мм;  $V_k$  – средняя скорость капиллярного подъема за время  $T_1$ ;  $I$  – средняя интенсивность капиллярного потока влаги.

Аналогичные закономерности изменения параметров капиллярных явлений наблюдаются и во второй колонне с почвой нарушенного сложения. Однако абсолютные значения многих из них иные. Сравнение их между собой свидетельствует о том, что максимальная высота и средняя скорость капиллярного подъема, интенсивность потока влаги, объем расхода грунтовых вод, количество аккумулированной влаги и физическое испарение с поверхности почвы выше в колонне с ненарушенным сложением по сравнению с почвой нарушенного сложения. Следовательно, нарушение естественного сложения дерново-подзолистой супесчаной почвы приводит к уменьшению высоты и скорости капиллярного подъема и интенсивности потока влаги из грунтовых вод. Капиллярная кайма в супесчаной почве в отличие от суглинистой, например, аллювиальной луговой (Муромцев, 1984) подразделяется на две зоны.

В первой из них (66-67 см от УГВ) вода насыщает поровое пространство почвы до 59-52% от ПВ, а во второй зоне – от 34 (6 см) до 38-40%. Первая зона характеризуется сплошностью (неразрывностью) водного тела, благодаря чему гидростатическое давление передается на всем ее протяжении.

**Таблица 2.** Параметры, характеризующие капиллярные явления в дерново-подзолистой супесчаной почве

$T_1$	$T_2$	$T_3$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$V_k$	$I \times 10^{-5}$	$h_1$	$L_1$	$L_2$	$\Sigma W$ , мм	$E$ , мм/сут
ч		мм/мин										
см												
Колонна 1 Почва ненарушенного сложения												
8.3	140	170	4.0	56.0	75.3	0.23	4.1	100	66	34	12.4	0.37
Колонна 2 Почва нарушенного сложения												
9.1	140	170	4.2	40.0	49.9	0.12	3.9	83	66	17	9.1	0.24

Примечание:  $T_1$  - время подхода фронта смачивания к 5-му тензиометру;  $T_2$  - время стабилизации влаги на уровне 5-го тензиометра;  $T_3$  - длительность наблюдений;  $Q_1, Q_2, Q_3$  - расход воды за время  $T_1, T_2, T_3$  соответственно;  $V_k$  - средняя скорость капиллярного подъема;  $I$  - средняя интенсивность потока влаги;  $h_1$  - максимальная высота подъема воды от УГВ;  $L_1, L_2$  - мощности первой и второй зон КК;  $\Sigma W$  - аккумулированная влага в почве;  $E$  - испарение с поверхности почвы.

**Таблица 3.** Объем пор (% от объема почвы) по данным тензиометрических определений.

Категория пор	Слой почвы, см										
	0-10	20-30	45-50	70-80	95-105	120-130	145-155	170-180	180-200		
Аллювиальная луговая суглинистая почва											
Макро- и мезопоры	18.3	20.7	20.6	10.1	9.1	14.9	17.4	14.9	9.9		
Микропоры	38.8	33.2	25.4	39.1	27.7	23.5	17.7	16.8	26.2		
Суммарный объем пор	57.1	53.9	39.0	49.2	36.8	38.4	34.5	31.9	37.1		
Дерново-подзолистая супесчаная почва											
Макро- и мезопоры	12.9	20.4	18.3	18.6	16.9	16.1	29.0	26.4	25.6		
Микропоры	25.4	29.5	14.0	15.5	10.4	10.6	16.2	7.3	7.0		
Суммарный объем пор	38.3	49.9	32.3	37.1	27.3	26.7	45.2	33.7	32.6		

Во второй зоне, судя по показанию тензиометров, влага разобшена и представляет собой отдельные, разъединенные друг от друга, разной протяженности водные участки. Нарушение естественного сложения приводит к тому, что на некоторых уровнях первой зоны КК наблюдается существенное расхождение показаний приборов и глубин их установки над УГВ. Это расхождение обусловлено несвойственным для данных высот КК излишне высоким содержанием влаги.

Сравним некоторые характеристики капиллярных явлений в КК аллювиальной (Муромцев, 1984) и дерново-подзолистой почвах между собой. Максимальная высота капиллярного подъема в суглинистой почве значительно выше, а мощность первой зоны КК (от ГВ), где наблюдается полная гидравлическая связь влаги, наоборот, несколько ниже по сравнению с супесчаной. Кажущиеся противоречие вполне объяснимо. Почвенный профиль аллювиальной почвы в большей степени неоднороден и резко дифференцирован на генетические горизонты и слои, значительно различающиеся между собой по гидрофизическим свойствам, особенно в нижней части, по сравнению с дерново-подзолистой почвой. Тяжелый гранулометрический состав и высокий процент микропор от суммарной порозности обеспечивают здесь наибольшую высоту поднятия влаги из ГВ (табл. 3). Но в то же время, резкие границы перехода генетических горизонтов и отдельных слоев (прослоек) обуславливают и возможность разрыва капиллярных связей при относительно высоком содержании влаги.

В супесчаной почве поровое пространство более однородно, соотношение пор разного размера более постоянно по высоте профиля по сравнению с суглинистой. Поэтому различие между высотой подъема и первой зоной КК здесь меньше. Средние значения скорости подъема и интенсивности потока соответственно в 1,5 и 30 раз выше в монолите суглинистой почвы, чем в монолите супесчаной. Время подхода фронта смачивания к верхним зонам КК суглинистой почвы заметно меньше чем в супесчаной. Расход ГВ на физическое испарение и аккумуляция ее выше в суглинистой почве.

Одно из положений, вытекающих из анализа материала, заключается в установлении нарушения сплошности водного тела в средней и верхней частях КК суглинистой и в верхней (второй) зоне КК супесчаной почв, т.е. в условиях содержания влаги, превышающего НВ. Однако это положение не противоречит известным представлениям, выдвинутыми А.А. Роде (1965), в соответствии с которыми разрыв капиллярных связей в суглинистых почвах характеризуется влажностью, меньшей или равной НВ. Дело заключается в том, что в соответствии с принятой методикой, НВ определяют в условиях, близких к равновесным. Когда отсутствует заметное движение влаги (теоретически оно должно отсутствовать), тогда

содержание ее при НВ действительно может характеризоваться наличием гидравлической связи во всем объеме промоченной толщи или в значительной ее части, обеспечивающей передачу гидростатического давления.

Иная картина распределения влаги, даже при значительно большем ее содержании, чем НВ, в условиях восходящего потока и испарения с поверхности. В этих условиях, характеризуемых нестационарностью потока, имеет место значительное по объему защемление воздуха, особенно в крупных порах (Романов, 1979; Пеек, 1969; Aggarwal, Sharma, 1977). С другой стороны, испарение влаги с поверхности почвы, особенно при высокой общей испаряемости, может приводить к разрыву капиллярных транзитных путей. Физическая сущность этого явления заключается в несоответствии интенсивности потока почвенной влаги (расхода влаги из ГВ) и интенсивности испарения с поверхности. Ликвидации разрывов поступающей из ГВ влаги препятствуют пузырьки воздуха, которые при определенных условиях могут соединяться в значительные по размерам воздушные полости.

Вместе с тем, мы полагаем, что сработка КК при испарении влаги с поверхности может достигать значительных размеров по мощности и затрагивать вторую зону КК. В связи с этим, можно предположить, что в условиях, когда УГВ находятся близко к поверхности почвы, например, на глубине 40-50 см, сработка КК будет осуществляться вплоть до зеркала ГВ. С целью проверки этого положения проведены исследования с использованием специального лизиметрического устройства при УГВ, расположенных (последовательно и одновременно) на глубинах 60, 50, 35 и 25 см от поверхности (рисунок). Тензиометры, установленные на этих глубинах, при изменении УГВ оказывались на разном расстоянии от ГВ, в том числе и под их уровнем.

Анализ полученных материалов свидетельствует о том, что при УГВ 60 см показания только первого тензиометра, установленного в пределах ГВ, соответствуют отметке УГВ; показания остальных приборов указывают на наличие водного дефицита в КК даже в самой ее нижней части (на расстоянии 10 см от УГВ). С увеличением расстояния от УГВ в пределах от 10 до 35 см расхождения между показаниями приборов и отметками УГВ возрастают с  $-8$  до  $-36$  мм водн.ст. Это свидетельствует о том, что вся КК, представляющая собой в данном случае зону аэрации, является толщей активного влагооборота и потеря влаги происходит одновременно из всей 60 см толщи. Вполне естественно, что с повышением УГВ (соответственно на 10, 25 и 35 см) расхождение показаний тензиометров, расположенных над УГВ, и расстояний до УГВ увеличивается в связи с уменьшением обводненности порового пространства. Интенсивность расхода ГВ при их уровне 55 см составляет 0,7-1,1 мм/сутки, а при УГВ 25 см – 1,5-1,7 мм/сутки.

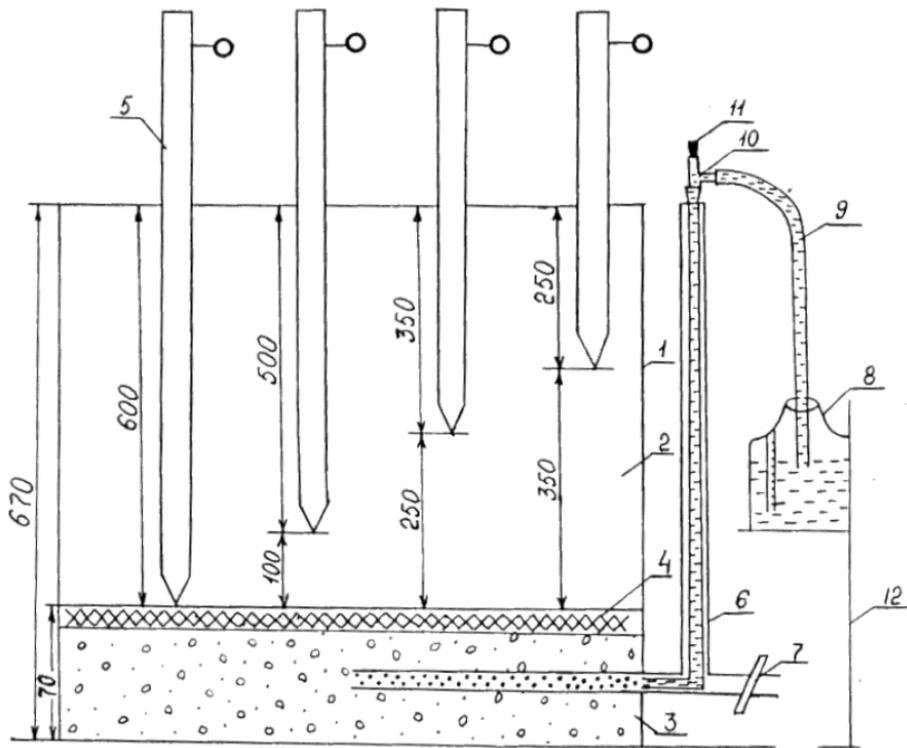


Схема устройства для изучения капиллярных явлений почвенной влаги: 1 – металлическая емкость высотой 670 мм и диаметром 600 мм, 2 – почва, 3 – дренажная засыпка, 4 – фильтр, 5 – тензигметр, 6 – пьезигметр, 7 – кран пьезигметра, 8 – тарированная бутылка с водой, 9 – шланг, 10 – тройник, 11 – пробка, 12 – подставка.

Следовательно, при приближении УГВ к поверхности почвы мощность КК и запасы влаги в ней уменьшаются, а интенсивность расхода ГВ – увеличивается. Максимальная интенсивность наблюдается в процессе заполнения порового пространства (компенсации недостатка водонасыщения) при поднятии УГВ, т.е. при установке ГВ на новом, более высоком уровне. Так, например, при увеличении УГВ с 60 до 50 см, интенсивность потока возрастает в течение одних суток до 3 мм, а затем падает до 1,1-1,5 мм/сутки. Максимальная величина интенсивности потока имеет место при повышении УГВ с 50 до 50 и с 35 до 25 см: в течение первых суток она составляет значение порядка 11-15 мм/сутки.

Таким образом, в основу подразделения КК на гидрологические зоны положены: степень обводненности порового пространства, содержание влаги в категориях, наличие или отсутствие равновесного состояния, гидравлической связи и гидростатического давления и некоторые дру-

гие свойства, характеризующие качественное и количественное состояние влаги в почве.

Капиллярная кайма в дерново-подзолистой супесчаной почве подразделяется на две зоны. В первой мощностью 66-67 см от УГВ насыщение порового пространства ГВ составляет 60-52% от ПВ, а во второй мощностью 34-16 см (в зависимости от сложения) – до 40-38%. В первой зоне КК влага характеризуется сплошностью водного тела, во второй она разобшена и представляет собой отдельные, различной протяженности участки, разьединенные скоплениями защемленного и свободно-го воздуха.

В условиях близкого залегания от поверхности ГВ интенсивность их расхода на испарение может достигать значительных величин, а КК представляет собой зону активного влагооборота – расход влаги осуществляется одновременно из всей ее части. При понижении УГВ в условиях высокой испаряемости наблюдается разрыв транзитных влагопроводящих путей, заполняемых воздухом. Это приводит к потере сплошности водного тела и ликвидации гравитационного давления в отдельных участках КК.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Муромцев Н.А.* Водоподъемные свойства аллювиальных луговых суглинистых почв // Почвоведение. 1984. №3. С. 67-77.

*Роде А.А.* Основы учения о почвенной влаге. Л.: Гидрометеиздат, 1965. Т.1. 663 с.

*Романов Е.А.* Влияние защемленного воздуха на некоторые процессы в почве // Почвоведение. 1979. №4. С. 60-67.

*Шишов Л.Л., Муромцев Н.А., Большаков В.А., Орлова Л.П.* Исследование режима влаги и химических веществ в агроландшафтах южной тайги. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2001. 230 с.

*Aggarwal G.C., Sharma P.K.* Measurement of blocked air pore volume in soils (porous media) // Proc. Indian. Nat. Sci. Acad.1977. A43. № 2. P. 105-109.

*Peck A.I.* Entrapment stability and persistence of air bubbles in soil water. // Anstral I. Soil Res.1969. V.7. №2. P. 79-90.