

УДК 631.412

РЫБАКОВА Н. А.

**ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ МЕРЗЛЫХ ПОЧВ ПОД  
НАСАЖДЕНИЯМИ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ**

Показана зависимость водопроницаемости почв от глубины их промерзания и влажности. Приведены данные по динамике водопроницаемости почв в естественном кленово-липово-дубовом насаждении и лесных культурах сосны, березы и лиственницы в процессе оттаивания.

Лесонасаждения в лесостепной зоне играют большую водоохранную роль, которая обусловлена поглощением ими поверхностного стока с сельскохозяйственных угодий, загрязненного мелкоземом, удобрениями и пестицидами, и переводом его в почвенно-грунтовой. Впитывание поверхностного стока в почву под лесными насаждениями обусловлено прежде всего водно-физическими свойствами верхних горизонтов почвы, в первую очередь их водопроницаемостью. Так как в лесостепной зоне ЕСС 75—90% годового поверхностного стока составляет сток весеннего снеготаяния [11], наиболее важно оценить впитывание талых вод мерзлыми почвами. Показатели водопроницаемости мерзлых почв в насаждениях включены в ряд формул по расчету необходимой ширины водоохранных лесных полос [8].

Существование водопроницаемости мерзлых почв доказывается как сопоставлением запасов влаги в снеге и суточных величин стока в период снеготаяния [3], изменением влажности почвы при снеготаянии [2, 4, 10], так и экспериментальными исследованиями [6, 9, 12]. Существуют теплофизические методы расчета инфильтрации влаги в мерзлую почву [10]. Нужно отметить, что количество исследований водопроницаемости мерзлых почв в полевых условиях невелико. В литературе преобладают данные по водопроницаемости почв на сельскохозяйственных угодьях при различном их использовании. Непосредственные измерения, характеризующие скорость просачивания талых вод в лесных насаждениях, немногочисленны.

Мерзлые почвы по своим физическим свойствам значительно отличаются от талых. В результате промерзания почв уменьшается их плотность [7], а вследствие закупорки пор льдом водопроницаемость значительно уменьшается. Вода проникает в мерзлые почвы, как правило, через трещины, образовавшиеся при промерзании, и через полости, возникающие в пашне при обработке, а в насаждениях — отмершими корнями, червями и землероями. Поэтому различия в водопроницаемости мерзлых почв в лесных насаждениях и на пашне связаны с пористостью почвы, глубиной ее промерзания и влажностью.

Исследования водопроницаемости мерзлых почв проводили в периоды весеннего снеготаяния 1975—1982 гг. на правом берегу Куйбышевского водохранилища (Татарская АССР). Были выбраны однородные в геоморфологическом, литологическом и почвенном отношении участки в естественном лесу и в лесных насаждениях, созданных на старопахотных землях (табл. 1), а также на пашне. Почвы — серые лесные слабооподзоленные, среднесуглинистые на четвертичном делювиальном суглинке. Их характеристика приведена ранее [5].

Водопроницаемость мерзлых почв определяли методом заливаемых площадок с использованием прибора конструкции Нестерова (ПВН-00) в 3-кратной повторности до установления постоянной скорости впитывания. Средняя скорость впитывания воды за первый час опыта принималась за скорость инфильтрации ( $C_n$ ), установившаяся постоянная — за скорость фильтрации ( $C_\phi$ ). Перед началом снеготаяния определяли

## Характеристика насаждений

Показатель	Участок			
	1	2	3	4
	Культуры			Естественное порослевое
Состав	10 С	10 Б	10 Лц	5Кл4Лп1Д
Полнота	0,8	0,7	0,8	0,5
Возраст, лет	20	20	20	Д60—80КлЛп40
Средняя высота, м	10	14	13	Д22Лп21Кл16
Средний диаметр, см	12	12	13	Д22Лп17Кл10
Лесная подстилка:				
запас (абсолютно сухого вещества), т/га	43	14	27	17
влагоёмкость, %	419	296	389	407
» мм	5,8	12,7	10,7	6,7

Таблица 2

## Глубина промерзания и запас влаги в однометровом слое почвы перед началом снеготаяния

Угодье	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	Среднее	НВ
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	---------	----

## Глубина промерзания, см

Кл4Лп1Д	5	Не опр.	88	0	15	40	50	Не опр.	33
Культуры:									
10С	15	35	160	55	54	145	160	93	90
10Б	45	15	150	16	28	110	130	24	64
10Лц	28	45	191	53	52	146	120	115	94
Пашня	68	69	175	68	77	150	130	72	100

## Запас влаги, мм

5Кл4Лп1Д	Не опр.	286	376	380	451	427	423	Не опр.	390	424
Культуры:										
10С	148	172	200	191	—	218	188	151	181	315
10Б	223	252	261	299	339	297	250	228	269	289
10Лц	171	173	221	235	289	270	191	270	198	318
Пашня	243	314	373	427	343	320	467	371	357	355

глубину промерзания почвы по мерзлотомеру Данилина и влажность почвы до глубины 1 м в 10-сантиметровых слоях в 3-кратной повторности.

Водопроницаемость почв в период весеннего снеготаяния варьирует в широких пределах в зависимости от свойств мерзлых почв и характера таяния. Приведем краткую характеристику промерзания и влажности почв под насаждениями и на пашне перед началом весеннего снеготаяния (табл. 2).

Наименьшей по сравнению с другими участками была глубина промерзания в естественном насаждении как следствие более мощного снежного покрова, образующегося при отложении сносимого с полей снега в насаждение с подлеском, а также различиями в ветровом и связанном с ним тепловом, режиме в период до становления устойчивого снежного покрова. В отдельные годы почва оставалась непромерзшей (1976, 1978 и 1982 гг). Глубина промерзания в лесных культурах занимает промежуточное положение между полем и естественным насаждением, что согласуется с данными по высоте снежного покрова, при этом в березняке меньше, чем в культурах сосны и лиственницы.

Как в поле, так и в лесных насаждениях, как правило, в первой декаде марта начинается оттаивание почвы снизу, что согласуется с вы-

водами других исследователей [2, 7]. До схода снега под действием положительных температур талой воды почва оттаивает на глубину не более 1—3 см. Такое явление наблюдается преимущественно на участках пашни, вспаханных под зябь, с неровной, глыбистой поверхностью. Оттаивание почвы на проталинах протекает со скоростью 3—6 см в день, оттаивание снизу — 1—1,5 см в день. Период от начала и до полного оттаивания, которое завершается на пашне обычно во второй половине апреля, длится около месяца.

В лесных насаждениях оттаивание может задержаться на 1,5—2 нед по сравнению с полем. Быстрее всего оттаивает почва под культурами березы вследствие более разреженного в зимнее время полога и меньшего промерзания почвы. В естественном насаждении по сравнению с березняком оттаивание почвы несколько запаздывает из-за большей мощности снежного покрова. Оттаивание почвы под затеняющим пологом сосняка наступает через 7—10 дней после оттаивания почвы в березняке.

В формировании стока весеннего снеготаяния важную роль играет влажность почвы, особенно ее поверхностные слои. Зимой, в процессе замерзания почвы, влага из нижних слоев передвигается в верхние, вода под действием капиллярных сил подтягивается к замерзающему слою и скапливается в верхнем горизонте. При этом почва становится частично или полностью сцементированной в зависимости от ее влажности и температуры. Наибольшие запасы влаги перед началом снеготаяния наблюдаются в естественных насаждениях вследствие высокой пористости и соответственно влагоемкости лесной почвы (табл. 2). Средний запас влаги в однометровом слое почвы в естественном насаждении за 1975—1982 гг. несколько меньше запаса влаги при наименьшей влагоемкости (НВ). Запасы влаги в лесных культурах значительно меньше, чем в естественном лесу, так как в первом случае НВ меньше. При этом в культурах березы запас влаги больше, чем в культурах сосны и лиственницы. Это связано с неодинаковой продолжительностью вегетационных периодов лиственной и хвойных пород. Лиственница сибирская сохраняет хвою до октября, сосна обыкновенная — в течение всего года. Это вызывает различия не только в расходе влаги на транспирацию, но и в поступлении осадков на почву.

При рассмотрении динамики влажности видно, что в поверхностном слое (0—20 см) почвы влажность на всех видах угодий близка к НВ или превышает ее. При этом влажность поверхностного слоя на пашне значительно больше, чем в насаждениях: превышение средней влажности над НВ в лесных насаждениях составляет 0—2,5%, на сельскохозяйственных угодьях — 5—11%. В поверхностном слое почвы (0—5 см) влажность зачастую превышает не только наименьшую, но и полную влагоемкость и достигает 35—45%. Переувлажнение поверхностного слоя происходит в результате зимне-весенних оттепелей.

Изучение водопроницаемости мерзлых почв проводили в двух сериях опытов. К первой серии отнесены опыты, проводимые в начале весеннего снеготаяния до наступления максимальных расходов стока. В это время на участках с лесными насаждениями сохраняется снежный покров на 85—99% площади и почвы на них или совсем не оттаивают или оттаивают на глубину 1—3 см в потоках воды с поля. На полевых участках в это время появляются проталины, начинается интенсивное оттаивание почвы. Ко второй серии отнесены опыты, которые проводили во второй половине периода стока после прохождения максимальных расходов стока. В лесных насаждениях в это время появляются проталины и начинается интенсивное оттаивание почвы с поверхности. В лесных культурах в первой половине весеннего снеготаяния водопроницаемость мерзлых почв невысока. Средняя  $C_{\Sigma}$  за период наблюдений составила 0,03 мм/мин (табл. 3), при этом достоверных различий между насаждениями сосны, березы и лиственницы не наблюдается. При наличии в почве трещин и полостей, не заполненных кристаллами льда, инфильтрация достигает значительных величин. Например, в 1975 г. при неболь-

## Водопроницаемость почв при снеготаянии

Насаждение	Год	Первая серия опытов			Вторая серия опытов			
		мощность мерзлого слоя, см	водопроницаемость, мм/мин		мощность мерзлого слоя, см	водопроницаемость, мм/мин		
			$C_H$	$C_\Phi$		$C_H$	$C_\Phi$	
Сосна	1976	0—35	0,0	0,10	13—50	Не опр.	0,13	0,20
	1979	0—54	0,09	0,08		Не опр.		
	1978	0—55	0,03	0,01	2—68	0,17	0,12	
	1982	0—93	0,0	0,01		0,25	0,0	
	1980	0—145	0,13	0,0	10—142	0,05	0,02	
	1977	0—153	0,0	0,0	3—150	0,01	0,01	
	1981	0—160	0,0	0,0	0—153	0,0	0,0	
					3—158			
Береза	1976		Не опр.		7—20	0,07	0,49	
	1978	0—20	0,02	0,02	5—16	0,26	0,30	
	1979	0—22	0,02	0,02	9—18	0,07	0,49	
	1982	0—24	0,04	0,03	10—15	0,09	0,17	
					Полное	0,41	0,42	
	1975	0—45	0,01	0,01		Не опр.		
	1980	0—110	0,09	0,0	3—110	0,09	0,0	
	1981	0—130	0,0	0,0	25—106	0,05	0,17	
				3—130	0,01	0,0		
Лиственница	1975	0—28	0,18	0,01		Не опр.		
	1979	0—48	0,0	0,0	20—47	0,03	0,18	
	1978	0—50	0,01	0,01	10—50	0,11	0,12	
	1982	0—115	0,02	0,0	5—73	0,01	0,01	
	1981	0—120	0,0	0,0	12—119	0,0	0,01	
	1980	0—143	0,0	0,0	20—140	0,04	0,03	
	1977	0—185	0,0	0,0	10—178	0,05	0,02	
Естественный лес	1975		Не опр.		0—5	1,13	2,92	
	1976		»		1—10	0,89	2,96	
	1979		»		5—15	0,24	2,77	
	1980	0—40	0,41	0,91	5—40	0,36	1,43	
	1981	0—50	0,02	0,01	20—50	0,50	0,82	
	1977	0—120	0,14	0,20	3—120	0,22	0,20	

шой глубине промерзания и невысокой влажности поверхностных слоев почвы  $C_H$  в насаждении лиственницы составила 0,18 мм/мин.

При поступлении талой воды в мерзлую почву водопроницаемость мерзлых почв в первой серии опытов уменьшается из-за закупорки пор льдом при взаимодействии талой воды с мерзлой почвой. Например, в 1980 г. в сосняке скорость просачивания воды уменьшилась с 0,13 в первый час опыта до 0,01 мм/мин в третий, в 1975 г. в лиственничнике соответственно с 0,18 до 0,01 мм/мин. Средняя  $C_\Phi$  в лесных культурах за период наблюдений составила 0,01 мм/мин. При глубине промерзания почвы более 1 м просачивания воды в наших опытах не наблюдалось.

Во время зимне-весенних оттепелей в лесных культурах возможно образование ледяных прослоек в подстилке и под ней, что сильно уменьшает впитывание до начала оттаивания почвы с поверхности. При этом льдистость сосновой и лиственничной подстилок выше, чем березовой, так как водоудерживающая способность подстилки в культурах березы повислой (5,8 мм) ниже, чем в культурах сосны обыкновенной (12,7 мм) и лиственницы сибирской (10,7 мм).

Во второй половине периода весеннего снеготаяния с началом оттаивания почвы с поверхности средняя  $C_H$  в лесных культурах увеличивалась до 0,08 мм/мин. В ходе второй серии опытов наблюдалось как уменьшение, так и увеличение водопроницаемости. Водопроницаемость, как правило, уменьшается либо остается неизменной при глубине промерзания более 1 м. Значительное увеличение  $C_H$  происходит при оттаивании почвы на глубину свыше 15—20 см. Водопроницаемость почвы в

насаждениях тем больше, чем меньше мощность мерзлого слоя. Весной 1976 г. при мощности мерзлого слоя 13 см, когда оттаивание составило 7 см, и невысокой влажности почвы в ходе опыта водопроницаемость в березняке увеличилась с 0,07 до 0,49 мм/мин в результате протаивания ледяных пробок в микроканалах почвы (1978, 1979 гг.).

Как правило, водопроницаемость мерзлых почв при одновременных наблюдениях в насаждениях березы больше, чем в насаждениях сосны и лиственницы, что связано с различиями в глубине промерзания и оттаивания почвы, о чем говорилось выше.

Был проведен корреляционный анализ зависимости водопроницаемости почв от глубины промерзания и влажности почвы. Коэффициент корреляции между водопроницаемостью и промерзанием составил  $0,59 \pm 0,12$  ( $t_{\phi} = 5,04$ ,  $t_{0,01} = 2,8$ ), корреляционное отношение несколько выше  $0,68 \pm 0,10$  ( $t_{\phi} = 6,65$ ,  $t_{0,01} = 2,8$ ). Коэффициент корреляции между водопроницаемостью и запасом влаги в однометровом слое почвы  $0,38 \pm 0,16$  ( $t_{\phi} = 2,41$ ,  $t_{0,05} = 2,06$ ), корреляционное отношение  $0,42 \pm 0,13$  ( $t_{\phi} = 3,36$ ,  $t_{0,01} = 2,8$ ). Таким образом, представляется целесообразным оценивать водопроницаемость почвы в период снеготаяния по глубине промерзания почвы. Построение графиков и корреляционный анализ водопроницаемости и глубины промерзания показывает, что зависимость лучше всего отражается логарифмической кривой. Статистическая обработка экспериментального материала привела к построению уравнения

$$C = 0,795 - 0,254 \lg M,$$

где  $M$  — глубина промерзания почвы, определяемая перед началом снеготаяния, см. Коэффициент корреляции равен  $0,68 \pm 0,19$ . По  $t$ -критерию корреляция и регрессия значимы ( $t_{\phi} = 7,04$ ,  $t_{0,01} = 2,8$ ).

Наибольшая влагопоглощательная способность мерзлых почв наблюдается в естественных насаждениях из-за большой их пористости и меньшей глубины промерзания, чем в лесных культурах и на пашне. При глубине промерзания до 20 см скорость фильтрации в мерзлую почву близка к скорости фильтрации в талую (1976, 1979 гг.).

С увеличением глубины промерзания водопроницаемость почв в естественном насаждении также уменьшается, но даже при промерзании более 1 м остается достаточно большой (1977 г.). В процессе просачивания скорость изменялась незначительно. Постоянство скорости свидетельствует о том, что просачивание в мерзлых лесных почвах происходит по ходам корней и другим полостям, не заполненным льдом. Образование ледяной прослойки под лесной подстилкой за период наблюдений отмечалось лишь 1 раз, весной 1981 г., когда скорость фильтрации в естественном насаждении составляла лишь 0,01 мм/мин.

На сельскохозяйственных угодьях в первую серию опытов до оттаивания почвы скорость просачивания талой воды была очень низкой и не превышала, как правило, 0,02 мм/мин независимо от глубины промерзания почвы. Скорость впитывания на участках, занятых зябью, озимыми, стерней зерновых, не различалась. В это время значительная величина впитывания наблюдалась лишь на участках, занятых стерней подсолнечника с кулисами (1979 г.) За счет накопления снега в высокой стерне и кулисах промерзание почвы составило 38 см, в то время как на участках со стерней зерновых оно было 62 см. В связи с небольшой глубиной промерзания, а также тем, что уже в самом начале снеготаяния вокруг толстых и полых стеблей подсолнечника образуются в снегу лунки до поверхности почвы и начинается ее оттаивание,  $C_{\phi}$  составляет 0,17 мм/мин;  $C_{\phi}$  на стерне зерновых в это время составляет лишь 0,02 мм/мин.

Известно, что определенные параметры влажности мерзлой почвы и ее температуры характеризуют критический запас холода, при котором в пахотных почвах образуется практически полностью водонепроницаемый запирающий слой [1]. В лесных почвах с большим количеством корневых ходов образования такого запирающего слоя, как правило, не

происходит. По нашим наблюдениям, водонепроницаемый слой на пашне образовывался во второй половине снеготаяния при глубине промерзания более 1 м при оттаивании 5—20 см. Образование запирающего слоя устанавливалось по отсутствию впитывания в опытах, поставленных на мерзлом слое почвы при удалении оттаявшего слоя. Слой почвы выше запирающего увлажняется до полной влагоемкости. В этом слое наблюдается почвенный сток. После оттаивания запирающего слоя впитывание талой воды в мерзлую почву происходит со скоростью 0,01—0,02 мм/мин.

В случаях, когда запирающий слой не образовывался, скорость впитывания достигала значительной величины. Например, весной 1982 г. при оттаивании сильнопереувлажненного слоя 0—2 см скорость впитывания в процессе опыта увеличилась от 0,17 до 0,57 мм/мин. При этом необходимо учитывать, что впитываемая в пахотный горизонт вода не впитывается в иллювиальный. Опыты, поставленные на иллювиальном горизонте при удалении пахотного, показали, что его водопроницаемость составляет 0,01 мм/мин, при этом по иллювиальному горизонту наблюдается почвенный сток.

Максимальных значений водопроницаемость пахотных почв достигает сразу после полного оттаивания почвы, так как в этот период сохраняется значительное количество пустот, образовавшихся после таяния внутрипочвенного льда. Так, весной 1978 г. скорость фильтрации в пахотном горизонте на зяби составила 1,91 мм/мин. Впитываемая в пахотный горизонт вода частично стекает по иллювиальному горизонту вследствие разницы в водопроницаемости гумусового и иллювиального горизонтов.

### Выводы

1. В 20—25-летних лесных культурах, созданных на старопашотных землях, фильтрация воды в мерзлую суглинистую почву до начала ее оттаивания составляет в среднем 0,01 мм/мин, в процессе оттаивания — увеличивается до 0,08 мм/мин, что в 3—4 раза больше, чем на пашне.

При глубине промерзания более 1 м просачивания влаги в неоттаявшую почву не наблюдается. Водопроницаемость мерзлой почвы ( $C$ , мм/мин) может быть рассчитана по глубине ее промерзания ( $M$ , см):  $C = 0,795 - 0,254 \lg M$ .

2. Наибольшая водопроницаемость мерзлой почвы наблюдается в естественном насаждении (до 3 мм/мин). Она остается сравнительно высокой (0,2 мм/мин) при глубине промерзания более 1 м, если отсутствует ледяная прослойка под лесной подстилкой.

### Список литературы

1. Калужный И. Л., Морозова Н. С., Павлова К. К., Романов В. В. Теплофизический метод счета потерь талых вод на инфильтрацию в мерзлую почву//Метеорология и гидрология. 1972. № 1. С. 76—82.
2. Качинский Н. А. Замерзание, разморозание и влажность почвы в зимний период в лесу и на полевых участках. М.: Изд-во МГУ, 1927. 170 с.
3. Комаров В. Д. Исследования водопроницаемости мерзлой почвы//Метеорология и гидрология. 1957. № 2. С. 10—18.
4. Кузник И. А. Некоторые фактические данные о водно-физических свойствах мерзлых почв и поверхностном стоке талых вод//Тр. по агрономической физике. Л., 1954. Вып. 7. С. 137—145.
5. Рыбакова Н. А. Связь водопроницаемости с другими физическими свойствами почв в насаждениях разного породного состава//Лесоведение. 1985. № 4. С. 27—33.
6. Созыкин Н. Ф. О динамике впитывания воды в почву//Максимальный сток с малых водосборов. М., 1940. С. 330—359.
7. Субботин А. И. Сток талых и дождевых вод. М.: Гидрометеоиздат, 1966. 376 с.
8. Сурмач Г. П. Водорегулирующая и противозрозионная роль насаждений. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 111 с.
9. Урываев В. А. Впитывание почвой весенних талых вод//Тр. ГГИ, 1954. Вып. 46 (100). С. 73—88.
10. Филиппова А. К. Просачивание талых вод в почву в период снеготаяния//Тр. ГГИ, 1955. Вып. 48 (102). С. 113—145.

11. Харитонов Г. А. Водорегулирующая и противозероизонная роль леса в лесостепи. М.: Гослесбумиздат, 1963. 255 с.
12. Цыкин Е. Н. Водопроницаемость мерзлых почв и ее динамика во время снеготаяния//Снег и талые воды, их изучение и использование. М., 1956. С. 101—111.

ВГПИИ «Союзгипролесхоз», Москва

Поступила в редакцию  
31.III.1987

**РЯКОВА Н. А.**

### **WATER PERMEABILITY OF FROZEN SOILS UNDER FOREST STANDS IN THE FOREST-STEPPE ZONE**

The dependence of soil water permeability on the depth of freezing and on moisture content is shown. Data on water permeability dynamics during soil thawing are presented for soils under *Acer platanoides* L., *Tilia cordata* L. and *Quercus robur* L. forest and under *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* L., *Larix sibirica* L. cultures.