

Влияние породного состава лесных культур на их водопоглотительную и почвозащитную функцию

Н.А. Рыбакова

Институт лесоведения РАН,
Россия, 143030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, 21

Адрес для переписки: 1986620@gmail.com

Реферат. В задачи исследования входила сравнительная оценка влияния одновозрастных однопородных 30-летних лесных культур различного состава (*Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb., *Betula pendula* Roch., *Quercus robur* L., *Ulmus pumila* L.), расположенных в идентичных геоморфологических и почвенных условиях, на их водопоглотительную и почвозащитную функцию. Лесные культуры созданы на старопашотных землях на правом берегу Куйбышевского водохранилища (Республика Татарстан, Верхнеуслонский район). Контролем служил участок на пашне.

При подборе состава лесных насаждений водоохранного назначения необходимо оценивать способность древесных пород создавать лесную подстилку, хорошо противостоящую размыву и обладающую высокими водопоглотительными и термоизолирующими свойствами, способствовать увеличению водопоглотительной способности почв в период талого и ливневого стока, сохранять противоэрозионную устойчивость почв.

Изучена влагоемкость лесной подстилки в образцах 20×20 см с 20-кратной повторностью, водопроницаемость талых и мерзлых почв с поверхности методом заливаемых площадей, глубина увеличения водопроницаемости почв при послойном ее определении по 10-сантиметровым слоям методом трубок с переменным напором до глубины 50 см, скорости смыва лесного опада и подстилки потоками воды, а также устойчивость подподстилочных горизонтов почвы к размыву на эрозионном лотке.

Для оценки влияния состава насаждения по всем указанным показателям использована 5-балльная оценка, которая показала, что наивысшими баллами оценивается водопоглотительная и почвозащитная способность почвы и подстилки в хвойных лесных культурах (сосна 4.0 балла; лиственница 3.8 баллов), по сравнению с лиственными (дуб 3.8; береза 3.2; вяз 1.8 баллов).

Ключевые слова. Лесные культуры, водопроницаемость почв, лесная подстилка, размыв почвы.

The influence of the species composition of forest plantations on their water absorption and soil protection function

N.A. Rybakova

Institute of Forest Science, RAS,
21, Sovetskaya st., Uspenskoe, Odintsovskiy district, Moscow region, 143030, Russian Federation

Correspondence address: 1986620@gmail.com

Abstract. The objectives of the study included a comparative assessment of the impact of 30-year-old forest plantations with different species (*Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb., *Betula pendula* Roch., *Quercus robur* L., *Ulmus pumila* L.) located in identical geomorphological and soil conditions on their water absorption (water permeability in thawed and frozen, depth of increase in soil water permeability, moisture capacity of forest litter and soil protection function (erosion resistance of litter and soil to erosion by water flows on the erosion tray)). The control was a plot on arable land. When selecting the composition of forest plantations for water protection, it is necessary to evaluate the ability of tree species to create forest litter that is well resistant to erosion and has high water absorption and thermal insulating

A score assessment of these indicators showed that the highest scores are estimated water absorption and soil protection ability of soil and litter in coniferous forest crops (*Pinus sylvestris* – 4.0; *Larix sibirica* – 3.8 points) compared with deciduous (*Quercus robur* – 3.8; *Betula pendula* – 3.2; *Ulmus laevis* – 1.8 points).

Keywords. Forest plantations, soil water permeability, forest litter, soil flushing.

Введение

Водопоглотительная функция лесных насаждений определяется множеством факторов: дренирующим действием корневых систем древесных растений, улучшением водно-физических свойств почвы, в первую очередь, ее водопроницаемости, уменьшением промерзания почвы и т.д. Лесные насаждения способствуют переводу поверхностного стока в грунтовый, что приводит к задержанию взвешенных наносов, уменьшению загрязнения стоковой воды за счет поглощения растворенных биогенов, снижения их концентрации в результате сорбции лесной подстилкой и разбавления более чистой снеговой водой, накапливающейся в лесном насаждении. Наиболее обстоятельные исследования водорегулирующей роли лесных насаждений были проведены в нашей стране в 60–80 годах XX века (Молчанов, 1960; Рахманов, 1962; Субботин, 1966; Swartzendruber, 1966; Рубцов, 1972). Водорегулирующая функция искусственных насаждений была освещена в работах (Дьяков, 1980; Калиниченко, Ильинский, 1976; Николаенко, 1980; Сурмач, 1971; Харитонов, 1963). В настоящее время такие исследования проводятся в меньшей степени. Однако, в условиях усиливающегося загрязнения водных источников являются важными.

Целью исследования является оценка влияния одновозрастных однопородных хвойных и лиственных лесных культур на их водопоглотительную и защитную функцию. В задачи исследования входило сравнение влияния лесных культур различного породного состава, расположенных в идентичных геоморфологических и почвенных условиях, на водопроницаемость почв и факторов, ее определяющих – влагоемкость лесной подстилки, противозерозионную устойчивость подстилки и почвы к размыву потоками воды.

Материалы и методы

Влияние породного состава лесных насаждений на их водопоглотительную и почвозащитную способность изучали в однопородных 30-летних лесных полосах из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), березы повислой (*Betula pendula* Roch.), дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и вяза мелколистного (*Ulmus pumila* L.), созданных на старопахотных землях на правом берегу Куйбышевского водохранилища (Республика Татарстан, Верхнеуслонский район) (табл. 1). Все объекты исследований расположены в однородном в литологическом и почвенном отношении участке протяженностью около 3 км вдоль кромки коренного берега водохранилища. Лесные полосы размещены на склоне крутизной 2-3° на серых лесных слабоподзоленных среднесуглинистых почвах, сформированных на четвертичных тяжелосуглинистых делювиальных суглинках. Лесные культуры созданы рядовой посадкой с междурядьями 1.5 м, в ряду 0.75-1.0 м, высота пород различного состава от 11.6 до 16.8 м. Контролем служил участок на пашне. Почва серая лесная слабоподзоленная, слабосмытая, среднесуглинистая с преобладанием крупнопылеватой и илистой фракций, сформированная на делювиальном суглинке. Мощность пахотного горизонта $A_{\text{пах}}$ 27 см, переходного горизонта A_2B_1 – 11 см, иллювиального горизонта В – 102 см.

Таблица 1. Характеристика 30-летних лесных культур

Table 1. Characteristic of 30-year-old forest plantations

Показатель	Древесная порода				
	Береза повислая	Сосна обыкновенная	Лиственница сибирская	Дуб черешчатый	Вяз мелколистный
Состав насаждения	10 Б	10 С	10 ЛЦ	10 Д	10 Вз
Размещение, м	1.5×1.0*	1.4×0.75	1.5×0.85	1.5×1.0	1.5×0.85
Средняя высота, м	16.8	12.0	15.6	12.8	11.6
Средний диаметр, см	14.4	14.0	15.6	12.6	11.0
Подстилка:					
мощность, см	1.4	3.2	1.8	2.1	1.9
в т.ч. опад, см	0.8	1.1	0.9	1.3	1.4
плотность, г см ⁻³	0.13	0.16	0.14	0.26	0.10
запас, т га ⁻¹	18	51	27	54	19
влагоемкость, %	419	296	389	294	396
« , мм	7.5	15.1	9.7	5.6	7.5

Примечание. *1.5 – ширина междурядья, м; 1.0 – расстояние между деревьями в ряду, м.

Характеристики лесной подстилки (мощность, плотность, влагоемкость) определяли в образцах 20×20 см с 20-кратной повторностью.

Водопроницаемость почвы с поверхности без нарушения напочвенного покрова и лесной подстилки и в иллювиальном горизонте определяли методом заливаемых площадей с использованием инфильтрометра Нестерова (ПВН-00) в 3-кратной повторности. Метод позволяет оценить максимальное количество воды, которое почва способна впитать за определенное время, и удобен при определении сравнительных характеристик водопроницаемости на различных угодьях. Исследования проводились в летний период и в период стока весеннего снеготаяния.

Послойное определение водопроницаемости почвы позволяет оценить глубину и степень дренирующего влияния различных древесных пород. Водопроницаемость определялась по 10-сантиметровым слоям почвы методом трубок с переменным напором до глубины 50 см, так как основная масса корней сосредоточена в этом слое. Послойно устанавливалась также корненасыщенность слоя почвы, для определения которой отбирались образцы размером 25×20×10 см с последующим размывом и сортировкой корней по диаметрам. Вычислялась общая корненасыщенность и насыщенность корнями диаметром менее 10 мм. В тех же слоях почвы определяли содержание гумуса и плотность почвы по общепринятым методикам (Вадюнина, Корчагина, 1973).

Влияние лесных насаждений на противозерозионную стойкость почв оценивали методом размыва почвенных монолитов ненарушенного строения на эрозионном лотке по методике М.С. Кузнецова (Кузнецов, 1981). Монолиты почвы размером 25×15×10 см подвергались размыву струями воды в лотке длиной 100 см. Смытый материал улавливался в отстойнике, его количество определялось весовым методом. Интенсивность смыва рассчитывалась по весу смытой почвы, площади образца и продолжительности опыта. В тех же монолитах определялись общая корненасыщенность и содержание корней диаметром менее 10 мм.

Результаты и обсуждение

В оценке водопоглотительной способности почв в насаждениях значительную роль играет лесная подстилка. Известно, что при удалении подстилки в лесных насаждениях скорость впитывания влаги в почву уменьшается в 1.5-3 раза (Смагин, 2011), снижается водоочистительная способность почвы (Никитин, Спирина, 1989), увеличивается промерзание почвы в зимний период (Смирнов и др., 2018). В случае притока воды в лес с безлесных участков вода, фильтруясь сквозь подстилку, очищается от взвешенных глинистых частиц и не заливает поры почвы, сохраняя ее водопроницаемость. Подстилка оказывает большее влияние на бактериальное сообщество почв (Feng et al., 2022) и поверхностного стока (Спиридонов, 1966).

Так как исследуемые лесные культуры были созданы на старопахотных землях, формирование лесной подстилки определялось количеством и каче-

ством поступающего древесного опада. Исследования показали, что наибольшие запасы, плотность и мощность лесной подстилки отмечены в лесных культурах дуба (54 т га^{-1}) и сосны (51 т га^{-1}), наименьшие – вяза (19 т га^{-1}) и березы (18 т га^{-1}) (табл. 1). Однако максимальная относительная влагоемкость подстилки в % к ее весу отмечена в березняке (419%), лиственничнике (389%) и вязовнике (396%), а наименьшая – в дубняке (294%) и сосняке (296%). Наибольшее количество влаги удерживает подстилка хвойных пород – сосны (15.1 мм), имеющая наибольший запас, в меньшей степени лиственницы (9.7 мм).

Одним из свойств почвы, определяющих ее водопоглощающую способность, является водопроницаемость. Опыты по определению водопроницаемости с поверхности почвы и в иллювиальном горизонте в летний период позволили уточнить роль различных по составу лесных культур в повышении фильтрационной способности почв (табл. 2). Водопроницаемость почв инфильтрометром ПВН-00 изучалась только в лесных культурах березы, сосны и лиственницы. Стабилизация скорости просачивания влаги в почву происходит в течение второго часа наблюдений, поэтому среднюю водопроницаемость почвы за первый час опыта принимаем за скорость инфильтрации ($C_{И}$), за третий час опыта – за скорость фильтрации ($C_{Ф}$).

Таблица 2. Водопроницаемость талых почв в лесных культурах и на пашне, мм мин⁻¹

Table 2. Water permeability of thawed soils in forest plantations and arable land, mm min⁻¹

Древесная порода	Гумусовый горизонт		Иллювиальный горизонт	
	$C_{И}$	$C_{Ф}$	$C_{И}$	$C_{Ф}$
Сосна	0.72 ± 0.10	0.43 ± 0.07	0.39 ± 0.06	0.21 ± 0.03
Береза	1.03 ± 0.13	0.6 ± 0.09	0.68 ± 0.10	0.38 ± 0.06
Лиственница	0.79 ± 0.08	0.32 ± 0.03	0.46 ± 0.07	0.19 ± 0.04
Пашня	0.32 ± 0.06	0.22 ± 0.04	0.50 ± 0.07	0.22 ± 0.04

Примечание. $C_{И}$ – скорость инфильтрации, $C_{Ф}$ – скорость фильтрации

Сравнение средних значений $C_{И}$ и $C_{Ф}$ в лесных культурах и на пашне показали достоверность различий между ними. В лесных культурах наибольшая $C_{И}$ отмечена в гумусовом горизонте в березняке (1.03 мм мин^{-1}), в лиственничнике и сосняке – 0.79 и 0.72 мм мин^{-1} (соответственно), их значения близки. Однако, различия скорости инфильтрации в этих насаждениях статистически недостоверны по t-критерию Стьюдента. В течение второго-третьего часа опыта происходит стабилизация процесса впитывания. $C_{Ф}$ в березняке снижается до 0.68 мм мин^{-1} , в сосняке до 0.39 мм мин^{-1} , в лиственничнике до 0.46 мм мин^{-1} . Доказана достоверность различий между $C_{Ф}$ в березняке и хвойных породах по t-критерию Стьюдента. Водопроницаемость гумусового горизонта почв в лесных культурах по сравнению с пашней увеличивается в березняке в 3.2 раза, сосняке – в 2.2, лиственничнике – в 2.5 раза.

В иллювиальном горизонте почвы $C_{Ф}$ в культурах сосны (0.21 мм мин^{-1}) и лиственницы (0.19 мм мин^{-1}) близка к фильтрации на пашне (0.22 мм мин^{-1}). В культурах березы $C_{И}$ (0.68 мм мин^{-1}) и $C_{Ф}$ (0.38 мм мин^{-1}) достоверно

выше, чем в культурах хвойных пород. Различия водопроницаемости гумусового и иллювиального горизонта свидетельствует о возможности почвенного стока (Корнеев, 2007; Seiwa et al., 2021).

Опыты по послойному определению водопроницаемости позволили определить мощность слоя почвы с повышенной водопроницаемостью под культурами различного состава. Статистическая обработка данных по водопроницаемости почвы по 10-сантиметровым слоям показала, что ее увеличение под влиянием корневых систем различных пород наблюдается в лиственничнике в слое глубиной до 20 см, сосняке – до 30 см, а в березняке, дубняке и вязовнике – до 50 см (рис. 1).

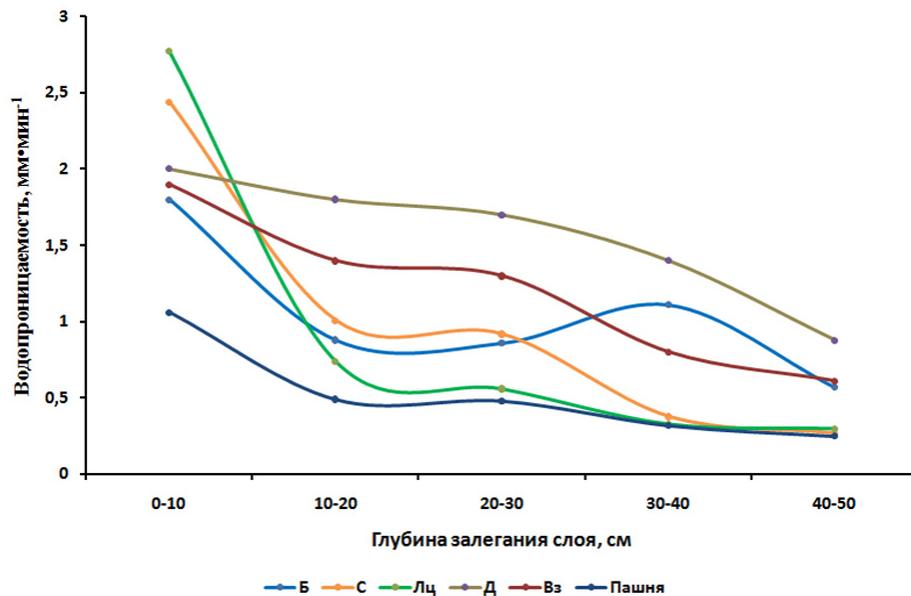


Рисунок 1. Динамика водопроницаемости почвы в лесных культурах по 10-сантиметровым слоям

Picture 1. Dynamics of soil water permeability over 10-centimeter layers in forest plantations

Обращает на себя внимание низкая водопроницаемость подподстилочного слоя в березняке (0.7 м мин^{-1}), что определяется меньшей мощностью подстилки и более низким содержанием мелких корней (0.78%), чем в сосняке (1.57%) и лиственничнике (0.85%) (табл. 3). Наибольшая водопроницаемость подподстилочных слоев почвы отмечается в культурах дуба (рис. 1).

Корреляционный анализ зависимости водопроницаемости от ее физических свойств показал, что в гумусовом горизонте наибольшая теснота связи наблюдалась между водопроницаемостью и содержанием гумуса (коэффициент корреляции $r = 0.90$), плотностью почвы ($r = -0.85$) и содержанием мелких корней ($r = 0.73$). Эти данные подтверждаются исследованиями других авторов (Гаврик, Назарова, 1973; Лисов, Язов, 2014; Тарасов и др., 2020; Хайда нова и др., 2014). В иллювиальном горизонте такой тесной зависимости не отмечено, наиболее значительная теснота связи наблюдается между водопроницаемостью и плотностью почвы ($r = -0,53$).

Таблица 3. Водно-физические свойства почв в лесных культурах

Table 3. Water-physical properties of soils in forest plantations

Гори-зонт почвы	Глубина образца, см	Содержание гумуса, %	Водопроницаемость, мм мин ⁻¹	Плотность, г/см ³	Корни менее 10 мм, %
Культуры березы повислой					
A1	0-10	1.76	0.70±0.15	1.52±0.02	0.78±0.07
A1	10-20	1.00	0.88±0.08	1.55±0.15	0.54±0.11
A1B1	20-30	0.7	0.86±0.15	1.61±0.01	0.25±0.06
B1	30-40	0.57	1.11±0.15	1.61±0.01	0.15±0.4
B1	40-50	0.52	0.57±0.12	1.62±0.01	0.20±0.05
Культуры сосны обыкновенной					
A1	0-10	1.74	2.44±0.53	1.44±0.03	1.57±0.19
A1	10-20	1.28	1.01±0.13	1.54±0.01	0.42±0.06
A1B1	20-30	0.93	0.92±0.14	1.58±0.02	0.22±0.03
B1	30-40	0.45	0.38±0.30	1.62±0.03	0.24±0.04
B1	40-50	0.49	0.27±0.05	1.68±0.15	0.16±0.08
Культуры лиственницы сибирской					
A1	0-10	1.64	2.77±0.64	1.50±0.01	0.85±0.13
A1	10-20	1.35	0.74±0.10	1.56±0.01	0.55±0.12
A1B1	20-30	0.61	0.56±0.06	1.57±0.01	0.13±0.04
B1	30-40	0.74	0.33±0.08	1.55±0.01	0.16±0.04
B1	40-50	0.50	0.30±0.08	1.56±0.01	0.15±0.05
Пашня					
A1	0-10	1.14	1.06±0.26	1.50±0.02	0.02
A1	10-20	0.85	0.49±0.09	1.59±0.01	0.01
A1B1	20-30	0.49	0.48±0.09	1.60±0.01	0.01
B1	30-40	0.40	0.32±0.07	1.62±0.03	0.0
B1	40-50	0.38	0.25±0.05	1.68±0.10	0.0

Наиболее важна оценка водорегулирующей способности почв в лесных культурах в период стока весеннего снеготаяния, который в лесостепной зоне составляет около 75-90% годового (Харитонов, 1963). Водопроницаемость почв в период снеготаяния варьирует в широких пределах в зависимости от свойств мерзлых почв (в первую очередь их влажности и глубины промерзания) и характера таяния (Демидов, 2016; Сорокин, 1975; Ellis et al., 2010; Whitfield, Shook, 2019).

Исследования показали, что средняя многолетняя глубина промерзания почвы составляла в культурах лиственницы 94 см, сосны 90 см, березы 64 см, в то время как на пашне 100 см (Рыбакова, 1985). Различия в глубине промерзания почвы на этих участках согласуются с высотой снежного покрова и средним многолетним запасом влаги в почве перед началом снеготаяния. Минимальный запас влаги отмечен в сосняке (181 мм) и лиственничнике (198 мм), наибольший – в березняке (269 мм).

В период весеннего снеготаяния водопроницаемость мерзлой почвы в лесных культурах разного породного состава очень низка. Измерения водопроницаемости мерзлых почв прибором ПВН-00 до начала оттаивания почвы показали, что она составляет в среднем 0.01 мм мин⁻¹, в процессе оттаивания

увеличиваясь до 0.08 мм мин^{-1} (Рыбакова, 1985). Однако, эта величина в 3-4 раза выше водопроницаемости почвы на пашне в тот же период. По мере оттаивания почвы водопроницаемость в насаждениях приближается к значениям для талых почв. Как правило, водопроницаемость мерзлых почв при одновременных наблюдениях в насаждении березы больше, чем в насаждениях сосны и лиственницы, что связано с различиями в глубине промерзания и оттаивания почвы, но различия статистически недостоверны.

При размыве образцов почвы с подстилкой на эрозионном лотке нами были установлены скорости потоков воды, при которых происходит разрушение и смыв ежегодного опада и всей лесной подстилки (табл. 4).

Таблица 4. Скорость смыва подстилки лесных культур различного породного состава водными потоками

Table 4. The rate of washout of forest litter of various tree stands by water flow

Часть подстилки	Скорость смыва, м сек^{-1}				
	Дуб	Сосна	Лиственница	Береза	Вяз
Опад	1.9	1.1	0.9	0.3	0.8
Вся подстилка	2.3	2.0	1.5	1.2	1.1

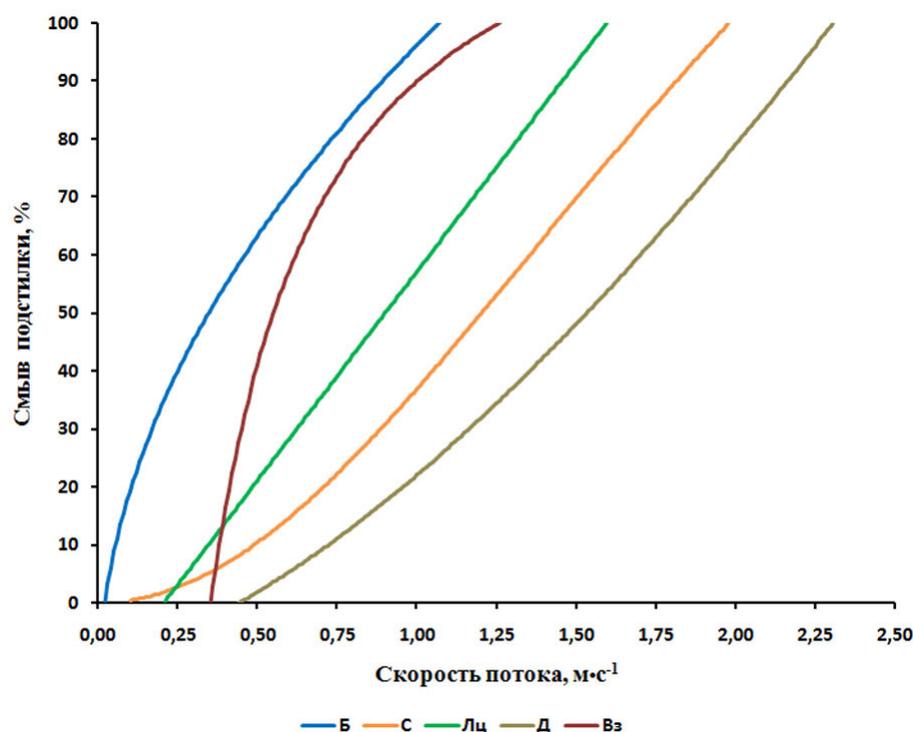


Рисунок 2. Интенсивность смыва подстилки в 30-летних лесных культурах

Picture 2. Intensity of litter flushing in 30-year-old forest plantations

Опыты по размыву монолитов почвы без лесной подстилки позволили сравнить интенсивность процессов смыва почвы. Поверхностный слой почвы под лесной подстилкой густо переплетен корнями, что оказывает значительное влияние на водно-физические свойства почвы и ее устойчивость к размыву (рис. 3).

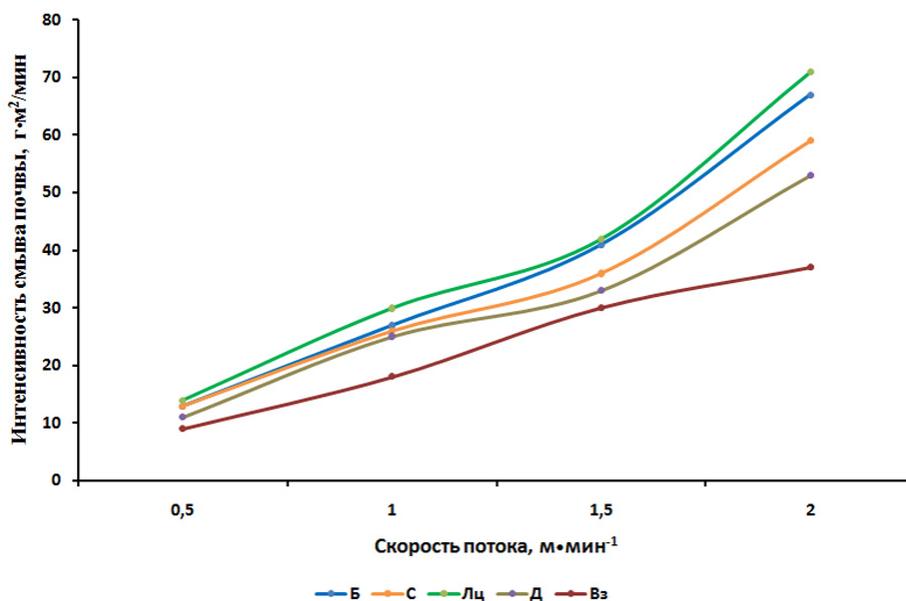


Рисунок 3. Интенсивность смыва почвы в 30-летних лесных культурах

Picture 3. The intensity of soil flushing in 30-year-old forest plantations

Наибольшая интенсивность смыва почвы наблюдалась в лиственничнике и березняке, где содержание корней диаметром 10 мм минимально (соответственно 0.85 и 0.78%) по сравнению с другими насаждениями. Наименее выражен смыв под дубом и вязом, где высока насыщенность тонкими корнями (соответственно 1.08 и 1.12%). По увеличению влияния на устойчивость суглинистых почв к размыву потоками воды древесные породы располагаются в следующем порядке: лиственница, береза, сосна, дуб, вяз.

Для оценки влияния состава насаждения по нескольким трудно сравнимым между собой показателям была использована 5-балльная оценка. В табл. 5 древесные породы расположены в порядке увеличения влияния на тот или иной показатель с интервалом один балл, рассчитан средний балл. В оценке не учтена водопроницаемость талых и мерзлых почв с поверхности, так как эти данные отсутствуют для культур дуба и вяза.

Наибольшими водопоглотительными и почвозащитными свойствами обладают лесные культуры хвойных пород сосны обыкновенной (4.0 балла) и лиственницы сибирской (3.8 баллов), а также дуба черешчатого (3.8 баллов), наименьшими – культуры вяза мелколистного (1.8 баллов) и березы повислой (3.2 балла).

Таблица 5. Балльная оценка водопоглотительных и почвозащитных свойств почвы в лесных культурах различного породного состава

Table 5. The score of the water-regulating and soil-protective properties of the soil in the forest plantations of various species composition

Показатель	Древесная порода				
	Сосна	Лиственница	Береза	Дуб	Вяз
Влагоемкость подстилки	5	4	2	3	1
Глубина увеличения водопроницаемости почв	4	3	5	5	4
Устойчивость подстилки к смыву	4	3	2	5	1
Устойчивость почв к размыву потоками воды	3	5	4	2	1
Средний балл	4.0	3.8	3.2	3.8	1.8

Заключение

При подборе состава лесных насаждений водоохранного назначения необходимо оценивать водорегулирующее и почвозащитное влияние той или иной древесной породы – способность создавать лесную подстилку, хорошо противостоящую размыву и обладающую высокими водопоглотительными и термоизолирующими свойствами, способствовать увеличению водопоглотительной способности почв в период талого и ливневого стока, сохранять противоэрозионную устойчивость почв. В большей степени такими свойствами обладают хвойные породы (сосна обыкновенная, лиственница сибирская). Примесь лиственных пород к хвойным может усилить водоохранную функцию лесных культур.

Для повышения водоохранных функций насаждений необходимы мероприятия, предупреждающие рассредоточение концентрированного поверхностного стока за счет посадки древесных пород, подстилка которых устойчива к размыву.

Список литературы

Вадюнина, А.Ф., Корчагина, З.А. (1973) *Методы исследования физических свойств почв и грунтов*, М., Высшая школа, 399 с.

Гаврик, П.А., Назарова, Д.И. (1973) Корреляционная зависимость между впитыванием влаги и физическими свойствами чернозема обыкновенного, *Почвоведение*, № 11, с. 149-151.

Демидов, В.В. (2016) *Закономерности формирования эрозионных процессов при снеготаянии в лесостепной зоне центральной России: теория и экспериментальные исследования*, Новосибирск, изд-во ЦРНС, 62 с.

Дьяков, В.Н. (1980) Водорегулирующая эффективность лесных полос в условиях Центральной лесостепи, *Лесоведение*, № 5, с. 13-20.

Калиниченко, Н.П., Ильинский, В.В. (1976) *Мелиорация овражно-балочных систем*, М., Лесная промышленность, 200 с.

Корнеев, И.В. (2007) *Влияние водопроницаемости иллювиального горизонта на водный режим дренируемых дерново-подзолистых почв*, Автореф. дис.... канд. техн. наук, Москва, 27 с.

Кузнецов, М.С. (1981) *Противоэрозионная стойкость почв*, М., изд-во МГУ, 135 с.

Лисов, В.Ю., Язов, В.Н. (2014) Экспериментальное определение водопроницаемости лесной почвы в зависимости от ее плотности, *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*, № 5 (341), с. 89-96.

Молчанов, А.А. (1960) *Гидрологическая роль леса*, М., изд-во АН СССР, 487 с.

Никитин, А.П., Спирина, А.Г. (1989) Защита лесными насаждениями водных объектов от загрязнения удобрениями и ядохимикатами, *Водные ресурсы*, № 6, с. 104-109.

Николаенко, В.Т. (1980) *Лес и защита водоемов от загрязнения*, М., Лесная промышленность, 263 с.

Рахманов, В.В. (1962) *Водоохранная роль лесов*, М., Лесная промышленность, 236 с.

Рубцов, М.В. (1972) *Защитно-водоохранные леса*, М., Лесная промышленность, 120 с.

Рыбакова, Н.А. (1985) Впитывание талых вод защитными насаждениями Приволжской лесостепи, *Лесоведение*, № 4, с. 76-78.

Смагин, А.В. (2011) Моделирование гидрологической функции лесной подстилки, *Экологический вестник Северного Кавказа*, т. 7, № 1, с. 10-20.

Смирнов, П.А., Федоров, Д.Ю., Прокопьева, Е.В. (2018) Результаты экспериментальных исследований влагопроницаемости мерзлых почв, *Вестник чувашской государственной сельскохозяйственной академии*, № 2 (5), с. 111-119.

Сорокин, В.М. (1975) Водопроницаемость и физические свойства почвы, *Почвоведение*, № 10, с. 60-65.

Спиридонов, Е.С. (1966) Влияние лесной подстилки на изменение химических и бактериологических показателей стоковой воды, *Лесной журнал*, № 4, с. 12-15.

Субботин, А.И. (1966) *Сток талых и дождевых вод*, М., Гидрометеиздат, 376 с.

Сурмач, Г.П. (1971) *Водорегулирующая и противоэрозионная роль насаждений*, М., Лесная промышленность, 111 с.

Тарасов, С.А., Подлесных, И.В., Зарудная, Т.Я. (2020) Влияние лесных полос на физико-химические характеристики почвы, в сб.: *Инновации в*

научно-техническом обеспечении агропромышленного комплекса России, *Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*, Курск, с. 246-251.

Хайданова, Д.Д., Милановский, Е.Ю., Честнова, В.В. (2014) Оценка реологическими методами восстановления структуры почв под влиянием выращивания лесополос на антропогенно нарушенных почвах, *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, № 6 (116), с. 53-57.

Харитонов, Г.А. (1963) *Водорегулирующая и противозерозионная роль леса в лесостепи*, М., Гослесбумиздат, 255 с.

Ellis, C.R, Pomeroy, J.W, Brown, T., Macdonald, J. (2010) Simulation of snow accumulation and melt in needleleaf forest environments, *Hydrology and earth system sciences*, no. 1, pp. 925-940.

Feng, J., Li, Z., Hao, Y., Wang, J., Ru, J., Song J., Wan, S. (2022) Litter removal exerts greater effects on soil microbial community than understory removal in a subtropical-warm temperate climate transitional forest, *Forest Ecology and Management*, vol. 505, p. 119867, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119867>.

Seiwa, K., Kunii, D., Masaka, K., Hayashi, S., Tada, C. (2021) Hardwood mixture enhances soil water infiltration in a conifer plantation, *Forest Ecology and Management*, vol. 498, p. 119508, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119508>.

Swartzendruber, D. (1966) Soil-water behavior as described by transport coefficients and functions, *Advances in agronomy*, New-Jork-London, pp. 327-370.

Whitfield, P.H., Shook, K.R. (2019) Changes to rainfall, snowfall, and runoff events during the autumn-winter transition in the Rocky Mountains of North America, *Canadian water resources journal*, pp. 1-15, doi: 10.1080/07011784.2019.1685910.

References

Vadyunina, A.F., Korchagina, Z.A. (1973) *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv i gruntov* [Methods for studying the physical properties of soils], Moscow, Russia, 399 p.

Gavrik, P.A., Nazarova, D.I. (1973) Korrelyacionnaya zavisimost' mezhdu vpityvaniem vlagi i fizicheskimi svoystvami chernozema obyknovennogo [Correlation between moisture absorption and physical properties of ordinary chernozem], *Pochvovedenie*, no. 11, pp. 149-151.

Demidov, V.V. (2016) *Zakonomernosti formirovaniya erozionnyh processov pri snegotayanii v lesostepnoj zone central'noj Rossii: teoriya i eksperimental'nye issledovaniya* [Patterns of Formation of Erosion Processes during Snow Melt in the Forest-Steppe Zone of Central Russia: Theory and Experimental Studies], Novosibirsk, Russia, 62 p.

D'yakov, V.N. (1980) Vodoreguliruyushchaya effektivnost' lesnyh polos v usloviyah Central'noj lesostepi [Water-regulating efficiency of forest belts in the conditions of the Central forest-steppe], *Lesovedenie*, no. 5, pp. 13-20.

Kalinichenko, N.P., Il'inskiy, V.V. (1976) *Melioraciya ovrazhno-balochny`x system*, Lesnaya promy'shennost', Moscow, Russia, 200 p.

Korneev, I.V. (2007) *Vliyanie vodopronicaemosti illyuvial'nogo gorizonta na vodnyj rezhim dreniruemyh derno-podzolistykh pochv* [Effect of water permeability of the illuvial horizon on the water regime of drained soddy-podzolic soils], extended abstract of candidate's thesis, Moskovskij gosudarstvennyj universitet prirodoobustrojstva, Moscow, Russia, 27 p.

Kuznecov, M.S. (1981) *Protivoerozionnaya stojkost' pochv* [Soil erosion resistance], Moscow, Russia, 135 p.

Lisov, V.Yu., Yazov, V.N. (2014) Eksperimental'noe opredelenie vodopronicaemosti lesnoj pochvy v zavisimosti ot ee plotnosti [Experimental determination of the water permeability of forest soil depending on its density], *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal*, no. 5 (341), pp. 89-96.

Molchanov, A.A. (1960) *Gidrologicheskaya rol' lesa* [The hydrological role of the forest], Moscow, Russia, 487 p.

Nikitin, A.P., Spirina, A.G. (1989) Zashchita lesnymi nasazhdeniyami vodnykh ob"ektov ot zagryazneniya udobreniyami i yadokhimikatami [Protection by forest plantations of water bodies from pollution by fertilizers and pesticides], *Vodnye resursy*, no. 6, pp. 104-109.

Nikolaenko, V.T. (1980) *Les i zashchita vodoemov ot zagryazneniya* [Forest and protection of water bodies from pollution], Lesnaya promyshlennost', Moscow, Russia, 263 p.

Rahmanov, V.V. (1962) *Vodoohrannaya rol' lesov* [Water protection role of forests], Lesnaya promyshlennost', Moscow, Russia, 236 p.

Rubcov, M.V. (1972) *Zashchitno-vodoohrannye lesa* [Protective and water-protective forests], Lesnaya promyshlennost', Moscow, Russia, 120 p.

Rybakova, N.A. (1985) Vpityvanie talyh vod zashchitnymi nasazhdeniyami Privolzhskoj lesostepi [Absorption of melt water by protective plantations of the Volga forest-steppe], *Lesovedenie*, no. 4, pp. 76-78.

Smagin, A.V. (2011) Modelirovanie gidrologicheskoy funkicii lesnoj podstilki [Modeling the hydrological function of the forest floor], *Ekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza*, vol. 7, no. 1, pp. 10-20.

Smirnov, P.A., Fedorov D.Yu., Prokop'eva E.V. (2018) Rezul'taty eksperimental'nyh issledovanij vlagopronicaemosti merzlykh pochv [Results of experimental studies of moisture permeability of frozen soils], *Vestnik chuvashskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, no. 2 (5), pp. 111-119.

Sorokin, V.M. (1975) Vodopronicaemost' i fizicheskie svojstva pochvy [Water permeability and physical properties of the soil], *Pochvovedenie*, no. 10, pp. 60-65.

Spiridonov, E.S. (1966) Vliyanie lesnoj podstilki na izmenenie himicheskikh i bakteriologicheskikh pokazatelej stokovoy vody [Effect of forest litter on changes in chemical and bacteriological parameters of runoff water], *Lesnoj zhurnal*, no. 4, pp. 12-15.

Subbotin A.I. (1966) *Stok talyh i dozhdevyh vod* [Runoff of melt and rain water], Moscow, Russia, 376 p.

Surmach, G.P. (1971) *Vodoreguliruyushchaya i protiverozionnaya rol' nasazhdenij* [Water-regulating and anti-erosion role of plantings], Moscow, Russia, 111 p.

Tarasov, S.A., Podlesnyh, I.V., Zarudnaya, T.Ya. (2020) Vliyanie lesnyh polos na fiziko-himicheskie harakteristiki pochvy [The influence of forest belts on the physical and chemical characteristics of the soil], in: *Innovacii v nauchno-tekhnicheskoy obespechenii agropromyshlennogo kompleksa Rossii. Materialy Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoy konferencii* [Influence of forest belts on the physical and chemical characteristics of the soil, in: Innovations in the scientific and technical support of the agro-industrial complex of Russia, Proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference], Kursk, Russia, pp. 246-251.

Hajdanova, D.D., Milanovskij, E.Yu., Chestnova, V.V. (2014) Ocenka reologicheskimi metodami vosstanovleniya struktury pochv pod vliyaniem vyrashchivaniya lesopolos na antropogenno narushennyh pochvah [Estimation by rheological methods of restoration of soil structure under the influence of growing forest belts on anthropogenically disturbed soils], *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 6 (116), pp. 53-57.

Haritonov, G.A. (1963) *Vodoreguliruyushchaya i protiverozionnaya rol' lesa v lesostepi* [Water-regulating and anti-erosion role of the forest in the forest-steppe], Moscow, Russia, 255 p.

Ellis, C.R, Pomeroy, J.W, Brown, T., Macdonald, J. (2010) Simulation of snow accumulation and melt in needleleaf forest environments, *Hydrology and earth system sciences*, no. 1, pp. 925-940.

Feng, J., Li, Z., Hao, Y., Wang, J., Ru, J., Song J., Wan, S. (2022) Litter removal exerts greater effects on soil microbial community than understory removal in a subtropical-warm temperate climate transitional forest, *Forest Ecology and Management*, vol. 505, p. 119867, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119867>.

Seiwa, K., Kunii, D., Masaka, K., Hayashi, S., Tada, C. (2021) Hardwood mixture enhances soil water infiltration in a conifer plantation, *Forest Ecology and Management*, vol. 498, p. 119508, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119508>.

Swartzendruber, D. (1966) Soil-water behavior as described by transport coefficients and functions, *Advances in agronomy*, New-Jork-London, pp. 327-370.

Whitfield, P.H., Shook, K.R. (2019) Changes to rainfall, snowfall, and runoff events during the autumn-winter transition in the Rocky Mountains of North America, *Canadian water resources journal*, pp. 1-15, doi: 10.1080/07011784.2019.1685910.

Статья поступила в редакцию (Received): 05.04.2022.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 07.09.2022.

Для цитирования / For citation:

Рыбакова, Н.А. (2022) Влияние породного состава лесных культур на их водопоглотительную и почвозащитную функцию, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXIII, № 3-4, с. 52-66, doi: 10.21513/0207-2564-2022-3-4-52-66.

Rybakova, N.A. (2022) The influence of the species composition of forest plantations on their water absorption and soil protection function, *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XXXIII, no. 3-4, pp. 52-66, doi: 10.21513/0207-2564-2022-3-4-52-66.