

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 630*116.64

ОСОБЕННОСТИ РОСТА МАЛОРЯДНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ

А.С. Манаенков¹, П.М. Подгаецкая², М.Е. Подгаецкий³

^{1–3} Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук

¹ Лаборатория защитного лесоразведения и фитомелиорации низкопродуктивных земель,
зав. лабораторией, гл. науч. сотр., д-р с.-х. наук; e-mail: manakov1@yandex.ru

² Западно-Сибирская агролесомелиоративная опытная станция, директор; e-mail: agloswnialmi@mail.ru

³ Западно-Сибирская агролесомелиоративная опытная станция, науч. сотр.; e-mail: agloswnialmi@mail.ru

Изложены результаты исследования роста чистых древостоев в 33–36-летних 2–4-рядных полезащитных лесных полосах (ПЗЛП) на юге Западной Сибири. Приведен анализ реакции текущего прироста в высоту и в диаметре модельных деревьев *Ulmus laevis* PALL., *Betula pendula* ROTH и *Pinus silvestris* L. на флуктуации суммы атмосферных осадков за гидрологический год, холодный и теплый период, а также изменение густоты и возраста насаждений. Установлено, что рост и долговечность древостоев в малорядных ПЗЛП находится в большой зависимости от режима атмосферного увлажнения, других факторов, определяющих их влагообеспеченность. Твердые осадки имеют большое значение в их водном питании, которое увеличивается с густотой и возрастом насаждений. Значение летних осадков, наоборот, снижается, и в целом остается невысоким. Снежные зимы задерживают начало вегетации, замедляют рост лиственных пород, а рост сосны, напротив, ускоряют. Создание лесных полос сближенными рядами и увеличение числа рядов ухудшает их рост, повышает его зависимость от состояния почвы на прилегающих полях. Опушечные ряды кустарника, напротив, увеличивая объем задержанного снега и весенние запасы почвенной влаги, уменьшают влияние на рост деревьев погодных условий вегетационного периода, прилегающих полей и возраста древостоя.

В целом, на каштановых почвах Западной Сибири относительно устойчивый рост, а следовательно, и большую долговечность имеют 2–3-рядные полосы с междурядьями шириной около 3 м и густотой в среднем возрасте 1–2 тыс. деревьев на 1 га. В полезащитном лесоразведении на юге региона следует шире использовать чистые посадки *Pinus silvestris* L., *Ulmus laevis* PALL., а также лесные полосы с опушечными рядами невысокого кустарника, и приемы агротехнической мелиорации при их создании, своевременно проводить рубки ухода в молодых и средневозрастных насаждениях.

Ключевые слова: Западная Сибирь, сухая степь, полезащитные лесные полосы, количество рядов, густота, возраст, атмосферные осадки, текущий прирост, долговечность

ВВЕДЕНИЕ

На территории степей Евразии основным фактором, лимитирующим долговечность лесных насаждений, является повышенная динамичность суммы атмосферных осадков и влагообеспеченности древостоя по годам, критическое снижение запаса почвенной влаги в корнеобитаемом слое в засушливые годы [Манаенков, 2018]. Поэтому под лесные культуры выбирают участки с дополнительным увлажнением ризосферы: корнедоступной грунтовой водой, перераспределенными осадками, а также легкими почвами [Зайцев, 1981; Манаенков, 2016]. На участках с засоленными и солонцеватыми почвами применяют многолетнюю обработку, снегозадержание, увеличивают площадь питания растений и продолжитель-

ность периода агротехнического ухода, повышают корнепроницаемость зоны аэрации [Богун, Богун, 1988; Качинский, 1971; Манаенков, 2016; Симоненко, 1988; Торохтун, 1987], используют засухоустойчивые породы [Манаенков и др., 2014; Маттис и др., 1974; Парамонов, 2014], своевременно проводят рубки ухода в молодняках [Манаенков, 2018; Торохтун, 1987].

В полезащитном лесоразведении эффективным средством улучшения водного режима насаждений считается создание их в виде 2–5-рядных лесных полос (ПЗЛП), в которых древостой получает дополнительное питание за счет накопления снега, а также из почвы прилегающих полей [Богун, Богун, 1988; Кулис, Горин, 1973; Симоненко, Шошин, 1982; Торохтун, 1987].

Так, установлено [Манаенков и др., 2014; Парамонов, 2014], что на юге Западной Сибири (Кулундинская степь) в малоярдных ПЗЛП более высокую сохранность в молодом возрасте имеют чистые насаждения из относительно теневыносливых и ксерофитных пород – вяза (*Ulmus laevis* PALL.), сосны (*Pinus silvestris* L.) и тополя (*Populus balsamifera* L.), а также из светолубивых пород (*Betula pendula* ROTH и *Larix sibirica* Ledeb.) в сравнительно редких рядовых (3–4 × 1–2 м), шахматных и диагонально-групповых посадках. Опушечные ряды кустарника способствуют ее повышению и улучшают состояния древостоя. Расширение междурядий свыше 3,5 м и шага посадки 1 м задерживает смыкание крон, приводит к задернению, ухудшению водного режима почвы.

При глубоком залегании грунтовых вод наиболее высокую жизнеспособность имеют сосна и вяз. ПЗЛП из двух-трех рядов этих пород при размещении мест посадки 2,5–3,5 × 0,7–1,0 м образуют умеренно-ажурную опушку и лесную среду. После 30 лет средняя высота сосны достигает 9–13 м. Вяз на 1–3 м ниже, а его сучья дальше разрастаются в сторону поля. Большое расстояние между рядами и деревьями приводит к замедлению их роста в высоту. В среднем возрасте они на 1,0–1,5 м ниже.

В тех же условиях 3–4-рядные ПЗЛП из березы, лиственницы и тополя к возрасту 35–40 лет практически распадаются. Они интенсивно растут и доживают до 50 и более лет только на участках с корнедоступной грунтовой водой.

При диагонально-групповом размещении мест посадки (по схеме 2 × 7 и 2 × 9 м), благодаря большей продолжительности агротехнического ухода, древостои в первые одно-два десятилетия развиваются более энергично. После прекращения ухода биогруппы деревьев оказываются в окружении степных трав, замедляют рост и начинают уступать в росте рядовым посадкам.

Наглядным показателем влагообеспеченности ПЗЛП является ширина и интенсивность проявления зоны угнетения в полосе контакта с агроценозами яровых культур, не страдающих от вымокания. Чем выше потребность во влаге, тем дальше в поле распространяется корневая система опушечных деревьев. Так, у средневозрастных вязовых и тополевых лесных полос совокупная ширина (с наветренной и подветренной стороны) зоны угнетения достигает 20–30 м. Неширокая (до 3–5 м) и менее заметная она у 2–3-рядных с 3–4-метровыми междурядьями здоровых лесных полос из сосны, лиственницы, березы. Опушечные ряды ксерофитного кустарника (*Ribes aureum* PURSH, *Cerasus bessyi*) образуют буфер на пути горизонтального роста корней деревьев и в 2–3 раза уменьшают ширину зоны угнетения.

Нарушенные ПЗЛП из березы с редким древостоем и высокой скважностью в нижней части ветроломного профиля практически не влияют на снегораспределение на полях. У сильно ажурных ПЗЛП сугроб образуется в 10–15 м от опушки с подветренной стороны. У менее ажурных – на опушке и в лесной полосе. Непродуваемые ПЗЛП имеют сугробы вблизи обеих опушек. Наиболее эффективно задерживают снег кустарниковые ветроломы. В метельные зимы опушечные ряды среднего по высоте кустарника полностью засыпаются снегом и формируют большой весенний запас почвенной влаги.

Однако, несмотря на большое количество исследований, до сих пор нет однозначной оценки влияния на водный режим и долговечность древостоя количества рядов, размещения мест посадки, состава и биологии древесных пород [Качинский, 1971; Маттис и др., 1974; Парамонов и др., 2003; Симоненко, 1988; Симоненко, Шошин, 1982; Торохтун, 1987].

Надежным методом оценки устойчивости и прогнозирования долговечности лесных насаждений считается изучение закономерностей формирования прироста деревьев – его реакции на экологические, лесокультурные и другие факторы [Каплина, 2020; Кузьмин, 2020; Наквасина и др., 2018; Berlin et al., 2016; Doležal et al., 2010; Douglass, 1927; Eichhorn et al., 2016; Fajvan, Gottschalk, 2012; González, Eckstein, 2003; Matveev et al., 2018; Merlin et al., 2015; Nechita, Chiriloaei, 2018; Rehfeldt et al., 2002].

Цель исследования – установить закономерности роста основных пород и определить наиболее долговечные модели малоярдных ПЗЛП в условиях юга Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в опытной системе 33–36-летних 2–4-рядных ветроломных лесных полос, состоящих из чистых насаждений *Pinus silvestris* L., *Ulmus laevis* PALL., *Betula pendula* ROTH, *Populus balsamifera* L. и *Larix sibirica* Ledeb. в Западно-Кулундинском сухостепном агролесомелиоративном районе Алтайского края [Кукис, Горин, 1973]. Норма осадков составляет 230–300 мм/год, испаряемость – 560–600 мм/год, продолжительность безморозного периода – 120–130 дней. Преобладают супесчаные и легкосуглинистые каштановые почвы при залегании пресных грунтовых вод глубже 3 м (преимущественно – 5–7 м).

Горизонт А почвы (20–30 см) серовато-каштановый, рыхлый, содержит 1,5–2,5% гумуса и 0,1–0,2% общего азота. В₁ – светло-каштановый, В₂ – значительно светлее. На глубине 40–50 см (в понижениях – 60–90 см) залегает карбонатный горизонт с содержанием CaCO₃ до 10–12%. Емкость обмена 10–25 мг/экв на

100 г почвы. В составе обменных оснований доминирует (до 90%) кальций. Почвенный профиль до 100–120 см не засолен. Ниже содержание хлора достигает 0,1–0,3%. Почвообразующие породы – карбонатные супеси и пески [Парамонов и др., 2003].

Особенности роста, строения и состояния древостоя изучалось в 2014–2019 гг. на примере 108 ПЗЛП на временных пробных площадях с использованием общепринятых в лесной таксации, лесоводстве и защитном лесоразведении методов [Анучин, 1982; Методика..., 1985; Родин, Мерзленко, 1984]. На 11 пробных площадях величиной 0,05–0,15 га в насаждениях вяза, березы и сосны отбирали средние по размерам 33–36-летние деревья (по три модельных дерева) с последующим осреднением текущего прироста и анализом хода их роста. Возраст моделей 33–36 лет.

Определялась связь прироста деревьев сосны в высоту с атмосферными осадками предыдущего гидрологического года (г/г) [Битвинкас, 1974], сосны в диаметре, а также лиственных пород в высоту и в диаметре – с осадками текущего г/г.

С целью устранения влияния случайных факторов на рост деревьев в период формирования молодняка, оценка связи текущего прироста модельных деревьев с возрастом проводилась за период их жизни после десяти лет.

Корреляционный анализ данных полевых наблюдений проводился с использованием компьютерной программы STATGRAPHICS PLUS 5.0. Силу связи роста древостоя с изучаемыми факторами оценивали по Б.А. Доспехову [1965].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В период роста изучаемых систем ПЗЛП погодные условия в Кулундинском районе изменялись в широких пределах. Так, за 36 лет (1983/84–2018/19) было 8 засушливых (осадков выпало на 10–30% меньше многолетней нормы) и 12 влажных лет (осадков на 10–80% больше нормы). Средняя сумма составила 353 ± 14 мм/год (116% многолетней нормы), за теплый период – 244 ± 11 мм (111%), холодный – 109 ± 5 мм (127%). Коэффициент вариации сумм осадков – 22,7; 27,3 и 26,4% соответственно.

Температурный режим воздуха тоже был неустойчивым. Так, за последние 8 лет пять осенне-зимних сезонов были на 0,4–2,2°C холоднее, а шесть вегетационных периодов на 0,2–2,4°C теплее средних многолетних. Среднегодовая температура

только в 2012/13 г. была на 0,5°C ниже, а в остальные годы на 0,1–3,2°C выше нормы.

Анализ хода роста модельных деревьев вскрывает наличие сложной причинно-следственной связи современного состояния ПЗЛП с внешними и внутренними факторами (табл. 1, 2). Очевидно, что чем меньше его зависимость от флуктуации этих факторов, тем выше устойчивость насаждений в тех или иных природно-хозяйственных условиях.

Таблица 1

Таксационные показатели насаждений и модельных деревьев в малорядных ПЗЛП на каштановой почве Кулундинской степи

№ ПП	Порода	А	К	В	N	H _{ср}	D _{ср}	C, %	
								Zh _{тек}	Zd _{тек}
1	В _{об}	36	3	3,5 × 2,0	940	7,4	12,8	22,0	67,6
2	В _{об}	33	3	3,0 × 1,0	1970	9,2	12,1	43,1	42,3
3	Б _{пов}	36	3	3,5 × 2,0	540	9,2	16,6	19,8	32,9
4	Б _{пов}	33	3	3,0 × 1,0	880	9,7	13,8	26,8	35,5
5	С _{об}	34	3	3,0 × 0,3	4750	12,4	13,2	48,4	61,3
6	С _{об}	36	3	4,0 × 1,5	1010	11,3	24,3	48,3	67,7
7	С _{об}	34	2	1,2 × 0,4	3400	10,6	10,8	53,8	80,0
8	см–С _{об}	34	4	1,2 × 0,4	2920	9,6	13,6	47,7	50,5
9	С _{об}	33	3	3,0 × 1,0	1770	10,2	15,8	47,2	49,7
10	С _{об}	35	2	1,2 × 1,0	810	10,1	18,6	44,1	60,1
11	С _{об}	36	3	1,2 × 1,0	1500	9,8	19,0	34,5	54,4

Примечание. В_{об}, Б_{пов}, С_{об}, см – вяз обыкновенный, береза повислая, сосна обыкновенная, смородина золотая; ПП – номер пробной площади; А – возраст насаждения (лет); К – количество рядов (шт.); В – схема посадки (первая цифра – ширина междурядий, вторая – шаг посадки, м); N – густота древостоя (шт./га); H_{ср}, D_{ср} – средняя высота (м) и средний диаметр (см) древостоя; Zh_{тек} и Zd_{тек} – текущий прирост в высоту и в диаметре; C – коэффициент вариации текущего прироста.

Так, в трехрядной умеренно-ажурной лесной полосе с площадью питания деревьев в течение жизни 7–10 м² (см. табл. 1, ПП 1) Zh_{тек} вяза имеет прямую, но относительно слабую ($r = 0,23$) связь с ΣОс г/г (см. табл. 2). Несколько сильнее ($r = 0,28$) он связан с ΣОс т.п. и практически не зависит от флуктуации ΣОс х.п. Zd_{тек} – почти не отзывается на изменение ΣОс г/г и ΣОс т.п. ($r = 0,01$ и $0,12$), но уменьшается ($r = -0,30$) с увеличением ΣОс х.п. Это может означать, что большая толщина снежного покрова приводит к уменьшению продолжительности вегетационного периода и прироста лиственных пород.

Очевидно, древостой вяза в этой лесной полосе не испытывает значительных колебаний влагообеспеченности по годам. Дефицит почвенной влаги частично компенсируется за счет поля. Однако с возрастом текущий прирост деревьев как в высоту,

так и по диаметру устойчиво снижается ($r = -0,40$ и $-0,48$) и свидетельствует об усилении конкуренции между ними, уплотнении ПЗЛП и увеличении объема приопущенных сугробов. А большой коэффициент вариации ($C = 67,6\%$) $Zd_{\text{тек}}$ (см. табл. 1) является следствием изменения снежности зим, зависимости прироста от летнего запаса влаги в почве прилегающих полей (степени ее иссушения агроценозами), а также низкой эффективности летних осадков.

В более густой ПЗЛП (ПП 2, площадь питания 3–5 м²) отмечено усиление прямого влияния величины осадков на рост вяза в высоту ($r = 0,27, 0,23$ и $0,23$), а в диаметре – негативного влияния снежных зим ($r = -0,34$) и возраста деревьев ($r = -0,39$). Коэффициент вариации $Zh_{\text{тек}}$ увеличивается с 22% (на ПП 1) до 43,1%, а $Zd_{\text{тек}}$ снижается до 42,3%. Вероятно, это следствие увеличения интенсивности потребления весеннего запаса и раннего формирования летнего дефицита почвенной влаги, сокращения периода вегетации из-за уплотнения ветроломного

профиля и образования больших снежных сугробов.

В 3-рядной ПЗЛП густотой 540 дер./га (ПП 3, площадь питания расширялась с 7 до 18 м²) наибольшее прямое влияние на $Zh_{\text{тек}}$ березы ($r = 0,46$) оказывают $\Sigma\text{Ос}$ т.п. и более слабое – ($r = 0,19$) – $\Sigma\text{Ос}$ х.п. Однако с возрастом насаждения снижаются текущий прирост ($r = -0,58$) и отзывчивость на изменение условий увлажнения ($C = 19,2\%$). $Zd_{\text{тек}}$ также позитивно отзывается в годы с большим увлажнением ($r = 0,44$ и $0,31$). Благодаря большой площади питания, он не уменьшается с возрастом ($r = 0,29$) и мало изменяется по годам ($C = 32,9\%$).

В более густой лесной полосе (ПП 4, площадь питания 3–11 м²) $Zh_{\text{тек}}$ березы несколько замедляется после снежных зим ($r = -0,26$). На $\Sigma\text{Ос}$ т.п. он практически не реагирует ($r = -0,07$). А $Zd_{\text{тек}}$, наоборот, на $\Sigma\text{Ос}$ х.п. не отзывается, а с $\Sigma\text{Ос}$ т.п. имеет прямую связь средней силы ($r = 0,52$). Заметного замедления роста деревьев в период с 11 до 33 лет не происходит.

Таблица 2

**Связь роста малоярдных ПЗЛП с атмосферными осадками и возрастом
на каштановой почве Кулундинской степи**

№ ПП, порода	А	К	В	Коэффициент корреляции (r)							
				$\Sigma\text{Ос}$ г/г		$\Sigma\text{Ос}$ х.п.		$\Sigma\text{Ос}$ т.п.		А*	
				$Zh_{\text{тек}}$	$Zd_{\text{тек}}$	$Zh_{\text{тек}}$	$Zd_{\text{тек}}$	$Zh_{\text{тек}}$	$Zd_{\text{тек}}$	$Zh_{\text{тек}}$	$Zd_{\text{тек}}$
1, В _{об}	36	3	3,5 × 2,0	0,23	0,01	-0,01	-0,30	0,28	0,12	-0,40	-0,48
2, В _{об}	33	3	3,0 × 1,0	0,27	-0,12	0,23	-0,34	0,23	0,04	0,07	-0,39
3, Б _{пов}	36	3	3,5 × 2,0	0,33	0,44	0,46	0,31	0,19	0,39	-0,58	0,29
4, Б _{пов}	33	3	3,0 × 1,0	-0,15	0,45	-0,26	0,07	-0,07	0,52	-0,10	-0,10
5, С _{об}	34	3	3,0 × 0,3	0,22	0,43	0,41	-0,07	0,11	0,55	-0,41	-0,53
6, С _{об}	36	3	4,0 × 1,5	0,38	0,27	0,22	0,36	0,19	0,22	-0,54	-0,56
7, С _{об}	34	2	1,2 × 0,4	0,22	0,04	0,32	-0,17	0,15	0,12	0,43	-0,32
8, см–С _{об}	34	4	1,2 × 0,4	0,28	0,28	0,51	0,27	0,13	0,22	0,24	0,17
9, С _{об}	33	3	3,0 × 1,0	-0,13	0,13	0,30	0,13	-0,28	0,11	-0,53	0,21
10, С _{об}	35	2	1,2 × 1,0	0,06	0,32	0,28	0,04	-0,05	0,37	-0,50	-0,34
11, С _{об}	36	3	1,2 × 1,0	0,24	-0,18	0,43	0,06	0,11	-0,21	0,12	-0,55

Примечание. $\Sigma\text{Ос}$ г/г (мм), $\Sigma\text{Ос}$ т.п. (мм), $\Sigma\text{Ос}$ х.п. (мм) – сумма осадков за гидрологический год, теплый и холодный периоды (для лиственных пород за текущий г/г, для сосны за предыдущий г/г); А* – в возрасте древостоя старше 10 лет; А, К, В – см. Примечание к таблице 1.

Таким образом, в редких ПЗЛП из светолюбивой березы после прекращения ухода за почвой складывается напряженный водный режим. Слабая аккумуляция снега повышает зависимость влагообеспеченности древостоя от $\Sigma\text{Ос}$ т.п. и эффективности дождей, которая снижается по мере задержания почвы и предопределяет невысокую долговечность насаждений. По-видимому, густота березовых ПЗЛП в среднем возрасте должна быть выше 1 тыс. дер./га.

Реакция роста сосны на погодные условия и возраст в 2–3-рядных ПЗЛП также в основном определяется густотой насаждений. А при размещении деревьев сближенными рядами их рост зависит также от системы земледелия, влияющей на динамику влажности почвы полей и сохранность корней опушечных деревьев.

Так, в 2-рядной ПЗЛП (схема посадки 1,2 × 0,4 м) густотой 3,4 тыс. дер./га (ПП 7) $Zh_{\text{тек}}$ имеет прямую

связь средней силы ($r = 0,41$) с $\Sigma\text{Ос х.п.}$ и очень слабую ($r = 0,15$) с $\Sigma\text{Ос т.п.}$ До 34 лет текущий прирост не снижается с возрастом ($r = 0,43$), но сильно изменяется по годам ($C = 53,8\%$). $Zd_{\text{тек}}$, напротив, практически не зависит от $\Sigma\text{Ос г/г}$ ($r = 0,04$), слабо – от их сезонной величины, снижается с возрастом ($r = -0,32$) и очень сильно колеблется по годам ($C = 80\%$).

В сравнительно редкой (810 дер./га) ПЗЛП (ПП 10) $Zh_{\text{тек}}$ сосны меньше ($r = 0,28$) обусловлен $\Sigma\text{Ос х.п.}$, не реагирует ($r = 0,04$) на $\Sigma\text{Ос т.п.}$ и слабее варьирует по годам ($C = 44,1\%$), но устойчиво снижается с возрастом ($r = -0,50$). $Zd_{\text{тек}}$ имеет прямую связь средней силы ($r = 0,37$) с $\Sigma\text{Ос х.п.}$ и обратную такой же силы с возрастом. Он меньше, чем в густой ПЗЛП, но все же сильно ($C = 60,1\%$) изменяется по годам.

Относительно стабильный рост, даже при значительной (около 3 тыс./га) густоте древостоя, имеет сосна в двух сближенных рядах, обеспеченных с обеих сторон опушечными рядами смородины (*Ribes aureum* PURSH) (ПП 8). $Zh_{\text{тек}}$ у нее имеет прямую устойчивую связь ($r = 0,51$) с $\Sigma\text{Ос х.п.}$ Он слабо реагирует как на $\Sigma\text{Ос т.п.}$, так и на повышение возраста. А $Zd_{\text{тек}}$ индифферентен к изменениям и внешних условий, и возраста.

В 3-рядной густой (4,75 тыс./га) ПЗЛП с 3-метровыми междурядьями (ПП 5) $Zh_{\text{тек}}$ сосны имеет прямую связь средней силы ($r = 0,41$) с $\Sigma\text{Ос х.п.}$, а от $\Sigma\text{Ос т.п.}$ он почти не зависит ($r = 0,11$). $Zd_{\text{тек}}$, напротив, в значительной степени ($r = 0,55$) определяется $\Sigma\text{Ос т.п.}$, а на $\Sigma\text{Ос х.п.}$ не отзывается.

При густоте древостоя около 1 тыс./га и широких (4 м) междурядьях (ПП 6) прямая связь $Zh_{\text{тек}}$ с $\Sigma\text{Ос х.п.}$ становится слабой ($r = 0,22$), а с $\Sigma\text{Ос т.п.}$ – немного усиливается ($r = 0,19$). $Zd_{\text{тек}}$ имеет прямую связь средней силы ($r = 0,36$) с $\Sigma\text{Ос х.п.}$ и слабую ($r = 0,22$) – с $\Sigma\text{Ос т.п.}$ Как в первой, так и во второй ПЗЛП с возрастом оба прироста сосны заметно уменьшаются ($r = -0,41 \dots -0,56$), а коэффициенты их вариации достигают значительной величины (48–68%).

В средней по густоте (1,77 тыс. дер./га) 3-рядной ПЗЛП с 3-метровыми междурядьями (ПП 9) $Zh_{\text{тек}}$ имеет и среднюю по силе ($r = 0,30$) связь с $\Sigma\text{Ос х.п.}$ Суммой осадков теплого периода он не детерминирован, но также устойчиво уменьшается с возрастом ($r = -0,53$). В этом насаждении $Zd_{\text{тек}}$ сосны не реагирует на изменения погодных условий и не уменьшается в среднем возрасте. Коэффициент вариации приростов равен соответственно 47 и 50%.

В средней по густоте (1,5 тыс. дер./га) 3-рядной ПЗЛП с узкими (1,2 м) междурядьями (ПП 11) значение $\Sigma\text{Ос х.п.}$ для $Zh_{\text{тек}}$ сосны заметно возрастает ($r = 0,43$), а влияние на него $\Sigma\text{Ос т.п.}$, как и в

2-рядных лесных полосах, остается небольшим ($r = 0,11$). При этом после смыкания насаждения и до 36 лет он достоверно не снижается ($r = 0,12$) и слабее варьирует в разные годы ($C = 34,5\%$). Текущий прирост ($Zd_{\text{тек}}$) менее динамичен ($C = 54,4\%$), чем в такой же 2-рядной ПЗЛП (ПП 10), но быстрее уменьшается с возрастом ($r = -0,55$).

Таким образом, рост 2–3-рядных сосновых ПЗЛП с узкими междурядьями также свидетельствует о том, что в острозасушливом районе Сибири большое положительное значение для водного питания деревьев имеют и площадь питания, и аккумуляция снега. Расширение площади питания улучшает его, но несет опасность задернения почвы и уменьшает объем снежных сугробов в лесной полосе и на ее опушках. Кустарниковые опушки компенсируют потерю снежной массы и снижают зависимость влагообеспеченности деревьев от состояния почвы на прилегающих полях. Увеличение числа рядов ускоряет старение насаждений.

В целом проведенный анализ вскрывает относительно высокую зависимость роста сосновых ПЗЛП от $\Sigma\text{Ос х.п.}$, менее высокую, чем у лиственных пород, – от $\Sigma\text{Ос т.п.}$ Это можно объяснить формированием у сосны прироста в высоту и значительной части – в диаметре в раннелетний период, а также более низкой проницаемостью полога сосновых насаждений для атмосферных осадков.

ВЫВОДЫ

Таким образом, на каштановых автоморфных почвах Западной Сибири формирование, рост и долговечность древостоев в малорядных ПЗЛП находится в большой зависимости от режима атмосферного увлажнения, других факторов, определяющих их влагообеспеченность.

Большое значение в водном питании ПЗЛП имеют твердые осадки, и оно увеличивается с ростом густоты и возраста древостоя. Однако образование высоких сугробов в лесных полосах и на их опушках в снежные метельные зимы задерживает начало и сокращает продолжительность вегетационного периода, замедляет рост лиственных пород, но, по-видимому, несколько повышает их сезонную влагообеспеченность. У сосны, напротив, после таких зим рост ускоряется, что определяет ее преимущество по высоте и ожидаемой долговечности.

Влияние летних осадков на рост ПЗЛП, напротив, увеличивается пропорционально уменьшению густоты, плотности крон древостоя, но в целом остается невысоким. Их связь с текущим приростом имеет более сложный характер и, по-видимому, в большой мере определяется количеством и эффективностью дождей во второй половине вегетационного периода – после исчерпания весенних запасов влаги.

Сужение междурядий – создание малорядных лесных полос сближенными рядами – ухудшает рост деревьев, особенно в толщину, повышает его зависимость от состояния почвы на прилегающих полях, системы земледелия, а увеличение рядов в ПЗЛП ускоряет старение деревьев.

Опушечные ряды кустарника, напротив, увеличивая объем задержанного снега и весенние запасы почвенной влаги, уменьшают влияние на рост древостоя погодных условий и возраста, препятствуют контакту деревьев с прилегающим полем.

В целом на каштановых почвах Западной Сибири относительно устойчивый рост, а следовательно,

и большую долговечность имеют 2–3-рядные ПЗЛП с шириной междурядий около 3 м и густотой в среднем возрасте 1–2 тыс. деревьев на 1 га. Их обустройство опушечными рядами невысокого кустарника будет способствовать глубокому весеннему промачиванию, рассолению и улучшению водного режима почв, повышению экологической устойчивости древостоя. Однако на автоморфных почвах ее следует повышать и агротехнической мелиорацией, своевременными рубками ухода за насаждениями.

В полезащитном лесоразведении на юге региона более широкого использования заслуживают чистые посадки *Pinus silvestris* L. и *Ulmus laevis* PALL.

Благодарности. Работа выполнена по теме Государственного задания № 0713-2019-0002 «Разработать научные основы, новые методы, модели и технологии эффективного лесомелиоративного освоения и многоцелевого использования низкопродуктивных и деградированных земель засушливой зоны РФ» ФНЦ агроэкологии РАН. Номер государственной регистрации в ЦИТиС АААА-Б19-219071190049-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анучин Н.П. Лесная таксация; учеб. для вузов, 5-е изд. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
- Битвинский Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 172 с.
- Богун П.Ф., Богун А.П. Зависимость роста и состояния вяза приземистого от площади питания в полезащитных лесных полосах на юге Ергеней // Современные вопросы полезащитного лесоразведения: сб. науч. тр. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1988. Вып. 3(95). С. 14–22.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1965. 423 с.
- Зайцев Н.М. Водный режим почв и влагообеспеченность лесных насаждений на Ергенях // Повышение устойчивости защитных насаждений в полупустыне: сб. науч. тр. М.: Наука, 1981. С. 10–32.
- Каплина Н.Ф. Составляющие динамики прироста ранней и поздней древесины ствола дуба черешчатого в нагорной дубраве южной лесостепи // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 5. С. 51–63.
- Качинский Н.А. Основные выводы из работ комплексной экспедиции МГУ 1967–1968 гг. о причинах усыхания вяза мелколистного и некоторых других пород в каштановой зоне, приемы агротехники, обеспечивающие успешное выращивание полос в этой зоне // Полезащитное лесоразведение на каштановых почвах. М.: Изд-во МГУ, 1971. С. 218–225.
- Кузьмин С.Р. Реакция ширины годичного кольца и доли поздней древесины у сосны обыкновенной на погодные условия в географических культурах // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 5. С. 64–80.
- Кукис С.И., Горин В.И. История защитного лесоразведения в Алтайском крае // Опыт полезащитного лесоразведения на Алтае. Барнаул: Алт. кн. изд-во, 1973. С. 13–71.
- Манаенков А.С. Развитие основ степного и защитного лесоразведения: теоретические, прикладные аспекты и задачи в современных условиях // Вестн. Поволжского гос. технологического ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 2(30). С. 5–23.
- Манаенков А.С. Лесомелиорация арен засушливой зоны. 2-е изд., перераб. и доп. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. 428 с.
- Манаенков А.С., Абакумова Л.И., Подгаецкая П.М. Актуальные задачи полезащитного лесоразведения на юге Западной Сибири // Лесное хозяйство. 2014. № 6. С. 27–29.
- Маттис Г.Я., Степанов А.М., Зюзь Н.С. Рост и состояние защитных лесонасаждений при различной технологии выращивания // Бюл. ВНИАЛМИ, 1974. Вып. 16(70). С. 22–27.
- Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов / под ред. Е.С. Павловского и М.О. Долгилевича. М.: ВАСХНИЛ, 1985. 112 с.
- Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А., Чупров А.В., Беляев В.В. Реакция роста сосны обыкновенной на климатические изменения в широтном градиенте // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 5. С. 82–93.
- Парамонов Е.Г. Современное состояние полезащитного лесоразведения в Алтайском крае // Степной бюллетень. 2014. № 40. С. 34–39.
- Парамонов Е.Г., Ишутин Я.Н., Симоненко А.П. Кулундинская степь: проблемы опустынивания. Барнаул, 2003. 137 с.
- Родин А.Р., Мерзленко М.Д. Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов. М., 1984. 38 с.
- Симоненко А.П. Площадь питания древесных пород в полезащитных лесных полосах сухостепной зоны Алтая // Современные вопросы полезащитного лесоразведения: сб. науч. тр. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1988. Вып. 3(95). С. 8–14.
- Симоненко А.П., Шошин В.И. Водобеспеченность полезащитных лесных полос и их гидрологическая роль в сухой степи Западной Сибири // Агрлесомелиорация в Западной Сибири: сб. науч. тр. Новосибирск, 1982. С. 11–24.
- Торохтун И.М. Совершенствование технологии выращивания полезащитных лесных полос в различных

- почвенно-климатических условиях // Агролесомелиорация и интенсификация земледелия по природным зонам страны: сб. науч. тр. Вып. 1(90). Волгоград: ВНИАЛМИ, 1987. С. 20–31.
- Berlin M.E., Persson T., Jansson G., Haapanen M., Ruotsalainen S., Bärning L., Andersson G., Scots B. Pine Transfer Effect Models for Growth and Survival in Sweden and Finland, *Silva Fennica*, 2016, vol. 50, no. 3, art. 1562, DOI: 10.14214/sf.1562.
- Doležal J., Mazúrek P., Klimešová J. Oak Decline in Southern Moravia: The Association between Climate Change and Early and Late Wood Formation in Oaks, *Preslia*, 2010, vol. 82, no. 3, p. 289–306.
- Douglass A.E. Solar Records in Tree Growth, *Science*, 1927, vol. 65, iss. 1679, p. 220–221, DOI: 10.1126/science.65.1679.220.
- Eichhorn J., Roskams P., Potočić N., Timmermann V., Ferretti M., Mues V., Szepesi A. et al. Visual Assessment of Crown Condition and Damaging Agents (part IV), *Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests*, Eberswalde, Germany, UNECE, 2016, 49 p.
- Fajvan M.A., Gottschalk K.W. The Effects of Silvicultural Thinning and *Lymantria dispar* L. Defoliation on Wood Volume Growth of *Quercus* spp., *American Journal of Plant Sciences*, 2012, vol. 3, no. 2, p. 276–282, DOI: 10.4236/ajps.2012.32033.
- González G.I., Eckstein D. Climatic Signal of Earlywood Vessels of Oak on a Maritime Site, *Tree Physiology*, 2003, vol. 23, iss. 7, p. 497–504, DOI: 10.1093/treephys/23.7.497.
- Matveev S., Milenin A., Timashchuk D. The Effects of Limiting Climate Factors on the Increment of Native Tree Species (*Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L.) of the Voronezh Region, *Journal of Forest Science*, 2018, vol. 64, no. 10, p. 427–434, DOI: 10.17221/36/2018-jfs.
- Merlin M., Perot T., Perret S., Korboulewsky N., Vallet P. Effects of Stand Composition and Tree Size on Resistance and Resilience to Drought in Sessile Oak and Scots Pine, *Forest Ecology and Management*, 2015, vol. 339, p. 22–33, DOI: 10.1016/j.foreco.2014.11.032.
- Nechita C., Chiriloaei F. Interpreting the Effect of Regional Climate Fluctuations on *Quercus robur* L. Trees under a Temperate Continental Climate (Southern Romania), *Dendrobiology*, 2018, vol. 79, p. 77–89, DOI: 10.12657/denbio.079.007.
- Rehfeldt G.E., Tchebakova N.M., Parfenova Y.I., Wykoff W.R., Kuzmina N.A., Milyutin L.I. Intraspecific Responses to Climate in *Pinus sylvestris*, *Global Change Biology*, 2002, vol. 8, iss. 9, p. 912–929, DOI: 10.1046/j.1365-2486.2002.00516.x.

Поступила в редакцию 25.07.2020

После доработки 06.08.2021

Принята к публикации 22.11.2021

SPECIFIC FEATURES OF THE GROWTH OF FEW-ROW FOREST BELTS ON CHESTNUT SOILS

A.S. Manayenkov¹, P.M. Podgaetskaya², M.E. Podgaetsky³

^{1–3} Federal scientific center of agroecology, integrated complex reclamation and protective forestry, the RAS

¹ Laboratory for protective afforestation and phytomelioration of low-yield lands, Head of the Laboratory, Chief Scientific Researcher; D. Sci. in Agriculture; e-mail: manayenkov1@yandex.ru

² West-Siberian agroforestry station, Director; e-mail: agloswnialmi@mail.ru

³ West-Siberian agroforestry station, Scientific Researcher; e-mail: agloswnialmi@mail.ru

The results of the study of pure tree stands growth within 33–36-year-old 2–4-row forest belts in the south of Western Siberia are presented. The response of the current increase in height and diameter of *Ulmus laevis* PALL., *Betula pendula* ROTH, and *Pinus sylvestris* L. model trees to the fluctuations in the amount of atmospheric precipitation for a hydrological year, cold and warm seasons were analyzed, as well as the density and age of tree stands. It was found that the growth and longevity of trees in sparse forest belts is highly dependent on the regime of atmospheric moisture and other factors that determine their moisture supply. Solid precipitations are of great importance for their water supply which increases with the density and age of the stands. Snowy winters delay the beginning of the growing season, slow down the growth of deciduous trees, and, on the contrary, accelerate the pine growth. Forest belts with proximate rows and higher number of the rows impairs their growth and makes them more dependent on the state of soil cover within the adjacent fields. By contrast, the fringe rows of shrubs increase the volume of trapped snow and spring reserves of soil moisture, and reduce the effect of weather conditions during the growing season, the adjacent fields and the age of tree stands.

Two-three-row belts with row spacing about 3 m wide and density of 1–2 thousand of middle-aged trees per 1 ha have relatively stable growth, and are, therefore, more durable on the chestnut soils of Western Siberia. Pure planting of *Pinus sylvestris* L. and *Ulmus laevis* PALL. and forest belts with edge rows of low shrubs should be used more widely in field-protective afforestation in the south of the region. Agrotechnical reclamation should be applied during their creating, and timely thinning should be carried out in young and middle-aged stands.

Keywords: Western Siberia, dry steppe, forest belts, number of rows, density, age, precipitation, current growth, durability

Acknowledgements. The work was performed under the topic of State Assignment No. 0713-2019-0002 "To develop scientific foundations, new methods, models and technologies for the effective forest reclamation and multipurpose use of low-productive and degraded lands in the arid zone of Russia" of the Federal scientific center of agroecology, integrated complex reclamation and protective forestry of the Russian Academy of Sciences. The CITiS state registration number AAAA-B19-219071190049-7.

REFERENCES

- Anuchin N.P. *Lesnaya taksaciya. Uchebnik dlya VUZov*, 5-e izd. [Forest taxation. University textbook, 5th edition], Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982, 552 p. (In Russian)
- Berlin M.E., Persson T., Jansson G., Haapanen M., Ruotsalainen S., Bärning L., Andersson G., Scots B. Pine Transfer Effect Models for Growth and Survival in Sweden and Finland, *Silva Fennica*, 2016, vol. 50, no. 3, art. 1562, DOI: 10.14214/sf.1562.
- Bitvinskas T.T. *Dendroklimateškie issledovaniya* [Dendroclimatic research], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1974, 172 p. (In Russian)
- Bogun P.F., Bogun A.P. Zavisimost' rosta i sostoyaniya vyaza prizemistogo ot ploshchadi pitaniya v polezashchitnyh lesnyh polosah na yuge Ergenej. Sovremennye voprosy polezashchitnogo lesorazvedeniya [Dependence of the growth and condition of the squat elm on the feeding area in the forest shelter belts in the south of Ergeni], *Modern issues of field protective afforestation: collection of scientific papers*, Volgograd, 1988, iss. 3(95), p. 14–22. (In Russian)
- Doležal J., Mazúrek P., Klimešová J. Oak Decline in Southern Moravia: The Association between Climate Change and Early and Late Wood Formation in Oaks, *Preslia*, 2010, vol. 82, no. 3, p. 289–306.
- Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Field experiment technique], Moscow, Kolos Publ., 1965, 423 p. (In Russian)
- Douglass A.E. Solar Records in Tree Growth, *Science*, 1927, vol. 65, iss. 1679, p. 220–221, DOI: 10.1126/science.65.1679.220.
- Eichhorn J., Roskams P., Potočić N., Timmermann V., Ferretti M., Mues V., Szepesi A. et al. Visual Assessment of Crown Condition and Damaging Agents (part IV), *Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests*, Eberswalde, Germany, UNECE, 2016, 49 p.
- Fajvan M.A., Gottschalk K.W. The Effects of Silvicultural Thinning and Lymantria dispar L. Defoliation on Wood Volume Growth of Quercus spp., *American Journal of Plant Sciences*, 2012, vol. 3, no. 2, p. 276–282, DOI: 10.4236/ajps.2012.32033.
- González G.I., Eckstein D. Climatic Signal of Earlywood Vessels of Oak on a Maritime Site, *Tree Physiology*, 2003, vol. 23, iss. 7, p. 497–504, DOI: 10.1093/treephys/23.7.497.
- Kachinskij N.A. [The main conclusions from the 1967–1968 complex expedition of the Moscow State University on the reasons for drying out of small-leaved elm and some other species in the chestnut zone, and agricultural techniques that ensure the successful cultivation of forest strips in this zone], *Polezashchitnoe lesorazvedenie na kashtanovyh pochvah* [Field protective afforestation on chestnut soils], Moscow, MGU Publ., 1971, p. 218–225. (In Russian)
- Kaplina N.F. Sostavlyayushchie dinamiki prirosta rannej i pozdnej drevesiny stvola duba chereschatogo v nagornoj dubrave yuzhnoj lesostepi [Components of the dynamics of the growth of early and late oak trunk wood in the upland oak forest of the southern forest-steppe], *Izvestiya vuzov, Lesnoj zhurnal*, 2020, no. 5, p. 51–63. (In Russian)
- Kukis S.I., Gorin V.I. [History of protective afforestation in the Altai Territory], *Opyt polezashchitnogo lesorazvedeniya na Altae* [Experience of field protective afforestation in Altai], Barnaul, Altai book publishing house, 1973, p. 13–71. (In Russian)
- Kuz'min S.R. Reakciya shiriny godichnogo kol'ca i doli pozdnej drevesiny u sosny obyknovnoy na pogodnye usloviya v geograficheskikh kul'turah [Response of annual tree ring width and latewood content of Scots pine to weather conditions in provenance trials], *Izvestiya vuzov, Lesnoj zhurnal*, 2020, no. 5, p. 64–80. (In Russian)
- Manaenkov A.S. Razvitiye osnov stepnogo i zashchitnogo lesorazvedeniya: teoreticheskie, prikladnye aspekty i zadachi v sovremennyh usloviyah [Development of the foundations of steppe and protective afforestation: theoretical, applied aspects and tasks under modern conditions], *Vestn. Povolzhskogo gos. tekhnologicheskogo un-ta, Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2016, no. 2(30), p. 5–23. (In Russian)
- Manaenkov A.S., Abakumova L.I., Podgaetskaya P.M. Aktual'nye zadachi polezashchitnogo lesorazvedeniya na yuge Zapadnoj Sibiri [Actual tasks of field-protective afforestation in the south of Western Siberia], *Lesnoe hozyajstvo*, 2014, no. 6, p. 27–29. (In Russian)
- Manaenkov A.S. *Lesomelioraciya aren zasushlivoj zony*, 2-e izd., pererab. i dop. [Reclamation of arenas in arid zones, 2nd edition revised and enlarged], FNC agroekologii RAN Publ., 2018, 428 p. (In Russian)
- Mattis G.YA., Stepanov A.M., Zyuz' N.S. Rost i sostoyanie zashchitnyh lesonasazh-denij pri razlichnoj tekhnologii vyrashchivaniya [Growth and state of protective afforestation under different growing technologies], *Byulleten' VNIILMI*, 1974, iss. 16(70), p. 22–27. (In Russian)
- Matveev S., Milenin A., Timashchuk D. The Effects of Limiting Climate Factors on the Increment of Native Tree Species (*Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L.) of the Voronezh Region, *Journal of Forest Science*, 2018, vol. 64, no. 10, p. 427–434, DOI: 10.17221/36/2018-jfs.
- Merlin M., Perot T., Perret S., Korboulewsky N., Vallet P. Effects of Stand Composition and Tree Size on Resistance and Resilience to Drought in Sessile Oak and Scots Pine, *Forest Ecology and Management*, 2015, vol. 339, p. 22–33, DOI: 10.1016/j.foreco.2014.11.032.

- Metodika sistemnyh issledovanij lesoagrarnyh landshaftov* [Methodology for systemic research of forest-agricultural landscapes], E.S. Pavlovskij, M.O. Dolgilevich (eds.), Moscow, VASHNIL Publ., 1985, 112 p. (In Russian)
- Nakvasina E.N., Prozherina N.A., Chuprov A.V., Belyaev V.V. Reakciya rosta sosny obyknovennoj na klimaticheskie izmeneniya v shirotnom gradiente [Growth Response of Scots Pine to Climate Change in the Latitudinal Gradient], *Izvestiya vuzov Lesnoj zhurnal*, 2018, no. 5, p. 82–93. (In Russian)
- Nechita C., Chiriloaei F. Interpreting the Effect of Regional Climate Fluctuations on *Quercus robur* L. Trees under a Temperate Continental Climate (Southern Romania), *Dendrobiology*, 2018, vol. 79, p. 77–89, DOI: 10.12657/denbio.079.007.
- Paramonov E.G. Sovremennoe sostoyanie polezashchitnogo lesorazvedeniya v Altaj-skome krae [The current state of field protective afforestation in the Altai Territory], *Stepnoj byulleten'*, 2014, no. 40, p. 34–39. (In Russian)
- Paramonov E.G., Ishutin YA.N., Simonenko A.P. *Kulundinskaya step': problemy opustynivaniya* [The Kulunda steppe: desertification issues], Barnaul, 2003, 137 p. (In Russian)
- Rehfeldt G.E., Tchebakova N.M., Parfenova Y.I., Wykoff W.R., Kuzmina N.A., Milyutin L.I. Intraspecific Responses to Climate in *Pinus sylvestris*, *Global Change Biology*, 2002, vol. 8, iss. 9, p. 912–929, DOI: 10.1046/j.1365-2486.2002.00516.x.
- Rodin A.R., Merzlenko M.D. *Metodicheskie rekomendacii po izucheniyu lesnyh kul'tur starshih vozrastov* [Methodical recommendations for the study of forest cultures of elder ages], Moscow, 1984, 38 p. (In Russian)
- Simonenko A.P. [The feeding area of tree species in forest belts of the dry-steppe zone of Altai], *Sovremennye voprosy polezashchitnogo lesorazvedeniya: sbornik nauchnyh trudov* [Modern issues of field protective afforestation: collection of scientific papers], Volgograd, VNIALMI Publ., 1988, iss. 3(95), p. 8–14. (In Russian)
- Simonenko A.P., Shoshin V.I. [Water supply of forest belts and their hydrological role in the dry steppe of Western Siberia], *Agrolesomeliyaciya v Zapadnoj Sibiri: sbornik nauchnyh trudov* [Agroforestry in Western Siberia], Novosibirsk, 1982, p. 11–24. (In Russian)
- Torochtun I.M. [Improving the technology of growing forest belts under various soil and climatic conditions], *Agrolesomeliyaciya i intensifikaciya zemledeliya po prirodnym zonam strany: sb. nauch. tr., vyh. 1(90)* [Agroforestry and intensification of agriculture in the natural zones of the country, Collection of scientific papers, vol. 1(90)], Volgograd, VNIALMI Publ., 1987, p. 20–31. (In Russian)
- Zajcev N.M. [Water regime of soils and moisture supply of forest plantations in Ergeny], *Povyshenie ustojchivosti zashchitnyh nasazhdenij v polupustyne* [Improving the resilience of protective plantations in semi-desert], Moscow, Science Publ., 1981, p. 10–32. (In Russian)

Received 25.07.2020

Revised 06.08.2021

Accepted 22.11.2021