

Научная статья

УДК 634.0.26:551.579

DOI: 10.37482/0536-1036-2025-1-115-133

## Водный режим защитных лесных полос в сухой степи Алтайского края

А.С. Манаенков<sup>1</sup>✉, *д-р с.-х. наук*; *ResearcherID*: [Y-8283-2018](https://orcid.org/0000-0002-2084-2147),

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-2084-2147>

П.М. Подгаецкая<sup>2</sup>, *науч. сопр.*; *ORCID*: <https://orcid.org/0009-0002-5709-7096>

<sup>1</sup>Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, просп. Университетский, д. 97, г. Волгоград, Россия, 400062; [manaenkov1@yandex.ru](mailto:manaenkov1@yandex.ru)✉

<sup>2</sup>Западно-Сибирская агролесомелиоративная станция – филиал ФНЦ агроэкологии РАН, ул. Лесная, д. 12, пос. Октябрьский, Кулундинский р-н, Алтайский край, Россия, 658915; [agloswnialmi@mail.ru](mailto:agloswnialmi@mail.ru)

Поступила в редакцию 19.07.23 / Одобрена после рецензирования 13.10.23 / Принята к печати 15.10.23

**Аннотация.** Юг Западной Сибири – крупный зерноводческий регион, где безопасное земледелие невозможно без защиты полей лесными полосами. Но с усилением засушливости территории снижается их долговечность, что сдерживает работы по облесению пахотных земель. Цель исследования – установить закономерности водного режима древостоев полезащитных лесных полос и обосновать их модели, наиболее подходящие для сухостепных районов. Изучена система средневозрастных полезащитных лесных полос из *Pinus sylvestris*, *Ulmus laevis*, *Betula pendula* высотой 7–10 м, *Ribes aureum* – 1,5–2,0 м на автоморфной каштановой почве. Установлено, что снегоотложение в полезащитных лесных полосах обусловлено многими факторами: количеством твердых осадков, ветровым и температурным режимом воздуха, ветропроницаемостью древостоя. Наслаиваясь, они нивелируют или усиливают общее воздействие на метелевый поток. Средняя высота и запас снега в зоне питания древостоя в основном зависят от количества твердых осадков, а в бескустарниковых полосах – повышаются также с густотой, высотой древостоя и шириной междурядий. В полезащитных лесных полосах с опушенными рядами кустарника запас снега уменьшается при увеличении числа и высоты рядов деревьев, ширины междурядий и расстояния между рядом кустарника и рядом деревьев. Эффективнее накапливают снег и работают «на себя» кустарниковые кулисы и плотные 1-рядные лесные полосы, а также 2–3-рядные древостои при наличии ряда кустарника с наветренной стороны. За ними по результативности удержания твердых осадков следуют 2–3-рядные бескустарниковые полезащитные лесные полосы с междурядьями 2,0–3,5 м и густотой древостоя 0,6–2,0 тыс. дер./га. Среди 2-рядных лесополос лучше накапливают снег более широкорядные и густые насаждения. Увеличение числа (выше 3) и густоты рядов деревьев снижает их наполнение твердыми осадками. В полезащитных лесных полосах из биогрупп деревьев эффективнее запасают снег умеренно густые (до 1000–1100 дер./га) биогруппы. Кустарниковые прерывистые кулисы образуют снежные холмики и могут использоваться как хорошее средство аккумуляции снега на межполосных полях. Стабильнее по годам весенние и летние запасы почвенной влаги формируются в бескустарниковых 2–3-рядных полезащитных лесных полосах с умеренно широкими междурядьями, а экономнее расходуют влагу умеренно густые насаждения сосны и березы.

© Манаенков А.С., Подгаецкая П.М., 2025

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

**Ключевые слова:** каштановые почвы, полезащитные лесные полосы, снегоотложение, весенние запасы почвенной влаги, интенсивность использования влаги древостоем, Алтайский край

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках государственного задания FNFE-2022-0001.

**Для цитирования:** Манаенков А.С., Подгаецкая П.М. Водный режим защитных лесных полос в сухой степи Алтайского края // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 1. С. 115–133. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-115-133>

Original article

## The Water Regime of Forest Shelterbelts in the Dry Steppe of the Altai Territory

**Aleksandr S. Manaenkov**<sup>1</sup>✉, *Doctor of Agriculture; ResearcherID: [Y-8283-2018](https://orcid.org/0000-0002-2084-2147)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2084-2147>

**Polina M. Podgaetskaya**<sup>2</sup>, *Research Scientist; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5709-7096>*

<sup>1</sup>Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, prosp. Universitetskij, 97, Volgograd, 400062, Russian Federation; [manaenkov1@yandex.ru](mailto:manaenkov1@yandex.ru)✉

<sup>2</sup>West Siberian Agroforestry Ameliorative Station – Branch of the Federal Scientific Centre for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, ul. Lesnaya, 12, Oktyabrskij Settlement, Kulunda District, Altai Territory, 658915, Russian Federation; [agloswnialmi@mail.ru](mailto:agloswnialmi@mail.ru)

Received on July 19, 2023 / Approved after reviewing on October 13, 2023 / Accepted on October 15, 2023

**Abstract.** The south of Western Siberia is a large grain-growing region, where safe farming is impossible without protecting fields with forest belts. But as the aridity of the territory increases, their durability decreases, which hinders the afforestation of arable lands. The aim of this study has been to establish the patterns of the stands of forest shelterbelts and to substantiate their models that are most stable in dry-steppe areas. A system of middle-aged forest shelterbelts of *Pinus sylvestris*, *Ulmus laevis* and *Betula pendula* 7–10 m high and *Ribes aureum* 1.5–2.0 m high on automorphic chestnut soil has been studied. It has been established that snow deposition in the forest shelterbelts is determined by many factors: the amount of solid precipitation, wind and air temperature conditions, as well as wind permeability of the stand. By layering, they neutralize or enhance the overall effect on the snowstorm flow. The average snow depth and snow reserve in the stand nutrition zone mainly depend on the amount of solid precipitation, and in shrubless belts they also increase with density, stand height and row-spacing. In forest shelterbelts with edge rows of shrubs, the snow reserve decreases with an increase in the number and height of rows of trees, the width of the row-spacings and the distance between the row of shrubs and the row of trees. Shrubby curtains and dense 1-row forest belts, as well as 2–3-row stands in the presence of a row of shrubs on the windward side, accumulate snow more efficiently and work “for themselves”. According to the effectiveness of solid precipitation retention, they are followed by 2–3-row shrubless forest shelterbelts with row-spacing of 2.0–3.5 m and a stand density of 0.6–2.0 thousand trees/ha. Among the 2-row forest belts, more wide-row and dense plantations accumulate snow better. Increasing the number (above 3) and density of tree rows reduces their filling with solid precipitation. In forest shelterbelts, moderately dense (up to 1,000–1,100 trees/ha)



biogroups of trees accumulate snow more effectively. Shrubby intermittent curtains form snow mounds and can be used as a good means of accumulating snow on inter-belt fields. More stable spring and summer soil moisture reserves are formed over the years in shrubless 2–3-row shelterbelts with moderately wide row-spacings, while moderately dense stands of pine and birch use moisture more economically.

**Keywords:** chestnut soils, forest shelterbelts, snow deposition, spring soil moisture reserves, intensity of moisture use by the stand, the Altai Territory

**Acknowledgements:** The work was carried out within the framework of the state assignment FNFE-2022-0001.

**For citation:** Manaenkov A.S., Podgaetskaya P.M. The Water Regime of Forest Shelterbelts in the Dry Steppe of the Altai Territory. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 1, pp. 115–133. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-115-133>

### *Введение*

Несмотря на непрерывное совершенствование систем земледелия и агро-технологий, в России и во многих странах мира ускоряются процессы деградации пахотных угодий. Особенно быстро они развиваются на территории засушливых регионов и могут приводить к масштабному опустыниванию земель [11, 12, 14, 20, 29, 30, 33]. В связи с этим не теряет актуальности концепция В.В. Докучаева о необходимости восстановления водного режима почв и грунтов степных районов, существовавшего в доземледельческий период, посредством защитного лесоразведения, строительства прудов, совершенствования приемов обработки почвы, установления географических норм соотношения площади пашни, лугов, леса, вод, посевов и т. п. [3, 8, 18, 19, 28, 31, 32].

В нашей стране эта концепция наиболее полно реализована в программе Особой экспедиции лесного департамента по испытанию и учету лесного и водного хозяйства в степях России (1892–1897) и в постановлении Совета министров СССР и ЦК ВКП(б) от 20 октября 1948 г. «О плане полезащитного лесоразведения, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР». В комплексе предусмотренных ими согласованных облесительных и других мер большое внимание уделялось созданию на пахотных землях «поперек господствующих ветров» преимущественно полосных насаждений. В ряде аграрных районов страны оно стало неотъемлемой частью противоэрозионной системы земледелия [19], самостоятельным и основным видом лесной мелиорации – полезащитным лесоразведением [12, 22].

Постепенно полезащитное лесоразведение трансформировалось в создание узких (6–12...15 м) малорядных полезащитных лесных полос (ПЗЛП), в случае неблагоприятного водного режима ризосферы и плохой влагообеспеченности древостоя оказавшихся недостаточно устойчивыми и долговечными [4, 13–15, 20, 21, 26].

В публикациях [2, 5–7, 17] основное внимание уделяется оценке влияния ПЗЛП на снегоотложение, сток талых вод, микроклимат и водно-минеральный режим почвы на полях, урожайность и требуемые приемы возделывания культур. В меньшей мере изучен водный баланс самих насаждений. Вместе с тем считается, что их жизнеспособность в наибольшей степени зависит от количе-

ства выпадающих твердых осадков и объема аккумулируемого снега [1, 23–25, 27]. В наиболее засушливых районах на жизнеспособность заметно влияет увлажняющая эффективность осадков теплого периода, влажность почвы прилегающих полей, а также интенсивность десукции почвенной влаги древостоем, продолжительность вегетационного периода [15]. Из этого следует, что в одинаковых условиях потенциальная долговечность ПЗЛП является в основном результирующей строения насаждений, биологии древесных пород, системы земледелия, а повышения устойчивости и долговечности ПЗЛП можно достигать хозяйственными приемами. Это особенно актуально для молодых агролесомелиоративных районов, к которым относится и юг Западной Сибири [9].

Цель исследования – установить закономерности водного режима древостоев малорядных ПЗЛП и обосновать их модели, обеспечивающие устойчивость насаждения в сухостепных районах Алтайского края.

#### Объекты и методы исследования

Исследование проводилось в системе 26–36-летних 2–4-рядных ПЗЛП из *Pinus sylvestris* L., *Ulmus laevis* Pall., *Betula pendula* Roth. средней высотой 7–10 м и *Ribes aureum* Pursh высотой 1,5–2,0 м в 2013–2020 гг. Территория расположена на плоской равнине Западно-Кулундинского сухостепного агролесомелиоративного района (Кулундинский район Алтайского края) с супесчано-легкосуглинистыми слабо комплексными автоморфными каштановыми почвами, промытыми от токсичных солей до глубины 1,0–1,2 м [21]. По данным Кулундинской метеостанции, за последние 50 лет среднегодовая температура воздуха региона составила 2,8 °С, января – –16,2, июля – 21,5 °С. Норма атмосферных осадков – 305 мм/год, испаряемости – 560–600 мм/год, продолжительности периода вегетации – 110–130 дней с суммой осадков 160–180 мм. За холодный период, в основном в виде снега, выпадает 28 % (86 мм) их годовой нормы. Различия в суммах осадков по годам достигают 260 %, за теплый период – 350 %, за холодный – 450 %. Весной–летом и ранней осенью бывают дни с низкой относительной влажностью воздуха и атмосферной засухой. Преобладают юго-западные ветра. Их средняя скорость зимой – 7,0–7,5 м/с, летом – 5–6 м/с. Число дней с сильными ветрами (более 15 м/с) в течение года – от 51 до 100.

В работе использованы положения [16]. Динамику снежного покрова и влажность почвогрунта изучали на полях с непрерывным циклом севооборота в основных лесных полосах, расположенных поперек преобладающих метелевых и дефляционноопасных ветров. Подбирали насаждения с типичным строением ветроломного профиля на участках с глубиной залегания грунтовой воды более 5 м. Характер снегоотложения наблюдали в конце зимы – перед снеготаянием. Высоту снежного покрова устанавливали снегомерной рейкой с точностью до 1 см на 3 параллельных трансектах. Измерения проводили в типичных точках рельефа и в середине лесной полосы, в 5 м от крайних рядов и поперек снежного шлейфа через 5–10 м, а в межшлейфовой зоне – через 25 м с последующим осреднением данных. Плотность и запасы воды в снеге определяли на основных участках шлейфа с помощью весового снегомера.

Влажность почвы фиксировали через каждые 10 см до глубины 120 см, в отдельных случаях – до 150 см, в 3-кратной повторности после схода снега,

в середине и в конце вегетации (апрель–май, июль, август–сентябрь) методом бурового зондирования и термостатно-весовой обработки образцов. Буровые скважины закладывали в середине лесной полосы, в 5 м от опушечных рядов (в зоне основного питания древостоя) и в поле вне шлейфа (контроль).

Статистический анализ данных полевых и лабораторных работ проводили с использованием программы Statgraphics 5/0 +/. Уровни связи изучаемых факторов оценивали по Б.А. Доспехову [10].

### *Результаты исследования и их обсуждение*

За 7 лет наиболее малоснежной была зима 2018/2019 гидрологического года (г/г). Твердых осадков выпало около 90 % от нормы. Зимы 2013/2014, 2015/2016 и 2017/2018 г/г по запасам снега (116–107 %) оказались близки к средним. Наиболее частыми и обильными снегопадами отличалась зима 2016/2017 г/г, когда твердых осадков выпало в 2 раза больше нормы при относительно низкой температуре воздуха, и 2019/2020 г/г – осадки на 66 % превысили норму. Резкой засушливостью отличались теплые периоды 2014 и 2020 гг. (осадков меньше на 32 и 21 % соответственно). 2015 г. по сумме осадков лежал в границах нормы, а 2016 и 2018 гг., 2017 и 2019 гг. оказались на 16 и 30 % влажнее соответственно. Теплый период в 2018 г. был на 0,5 °С прохладнее, в остальные годы – на 0,5–2,5 °С теплее среднего. Среднегодовая температура воздуха в 2017/2018 г/г. – на 0,5 °С ниже, в остальные – на 0,1–3,2 °С выше нормы. Средняя скорость ветра зимой составила 5,2–5,4 м/с (на 2 м/с меньше нормы), максимальная – 21–23 м/с при небольшом количестве дней с сильными ветрами.

Анализ многочисленных кривых снегоотложения свидетельствует о том, что у одних и тех же моделей ПЗЛП в разные годы формировались схожие по форме снежные шлейфы. Различия заключались в их высоте и протяженности, а также размещении вершин относительно продольной оси лесной полосы. В метелистые зимы высота и длина шлейфа увеличивались, а вершина сугроба смещалась в подветренную сторону (табл. 1, см. рисунок).

Наиболее эффективно задерживал снег кустарник. Так, 3-рядные (3×1–2 м) кулисы смородины во все годы наблюдений почти полностью покрывались снегом с наибольшей высотой сугроба над средним рядом или с незначительным (5–8 м) смещением его вершины в подветренную сторону. Протяженность снежного шлейфа (высота снега  $\geq 40$  см) составляла 10–15 м в обе стороны от крайних рядов. Средняя высота снега в зоне водного питания кулисы (здесь и далее – в самой кулисе (полосе) и на 5-метровых закрайках) – 1,1–1,5 м.

Наличие ряда кустарника на расстоянии 1,2–1,5 м с наветренной стороны 1-рядной сосновой ПЗЛП, сформированной из смородины и сосны, приводило к образованию 2-вершинного сугроба. В средние по условиям погоды зимы вершина 60–90 см образовывалась с наветренной стороны – над рядом кустарника или в 5–6 м от него, вторая – с подветренной стороны на опушке или в 10–12 м от ряда деревьев. В метелистую зиму (2016/2017 г/г.) в такой ПЗЛП отмечен высокий (до 3 м) 1-вершинный сугроб на расстоянии 15–20 м от подветренного ряда. Он имел пологий наветренный и крутой подветренный склоны, протяженность шлейфовой зоны составила более 100 м. Средняя высота снежного шлейфа в зоне питания древостоя за годы наблюдения – 80–130 см.

Таблица 1

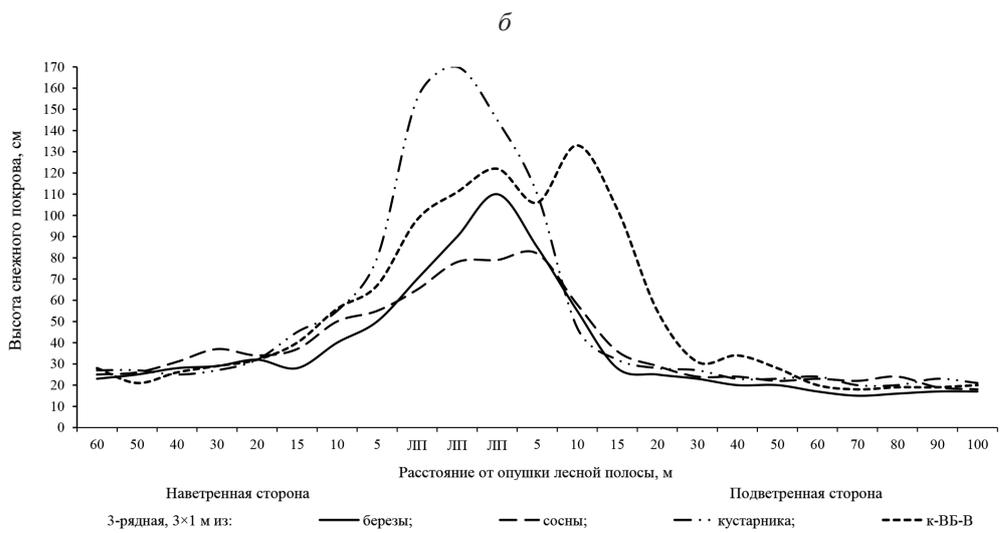
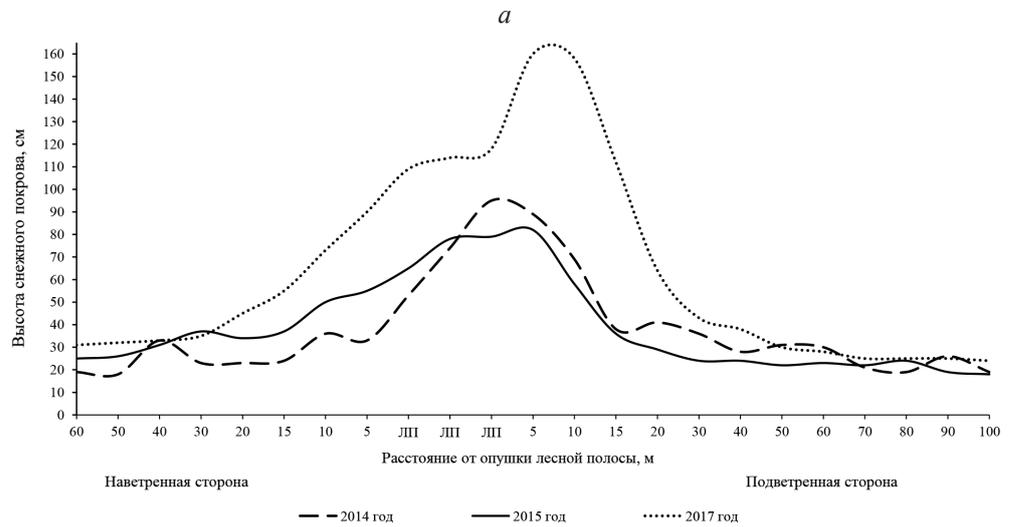
**Высота снежного покрова и запасы воды в снеге в малорядных ПЗЛП на каштановой почве в Кулундинской степи**  
**The snow depth and snow water reserves in low-row forest shelterbelts on chestnut soil in the Kulunda steppe**

Модель ПЗЛП, схема посадки, м	Густота, тыс. дер./ га	Гидрологический год (Сумма осадков, мм, за холодный период)												Среднее			
		2013/2014 (99)		2014/2015 (113)		2015/2016 (100)		2016/2017 (241)		2018/2019 (78)		2019/2020 (148)		За период наблюдения		За 2014, 2015 и 2017 г.	
		Сп	Зв	Сп	Зв	Сп	Зв	Сп	Зв	Сп	Зв	Сп	Зв	Сп	Зв	Сп	Зв
В <sub>п</sub> , через 1 м	3000	94	245	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
В–В, 1×2	630	–	–	86	224	47	122	121	321	–	–	–	–	85	221	–	–
В–В, 3,5×2,0	990	57	151	69	179	39	101	163	424	47	122	97	252	87	226	96	250
В–В, 6×2	315	–	–	–	–	–	–	108	281	–	–	–	–	–	–	–	–
В–В–В, 3×1	1940	48	129	59	153	–	–	128	333	51	133	83	216	78	202	82	213
К–ВБ–В, 3×1	1130	38	104	82	213	–	–	162	421	–	–	–	–	94	247	94	247
К–ВБ–ВБ–К, 1,5×1,0	1460	65	172	59	153	–	–	115	299	–	–	–	–	80	208	80	208
Б–Б, 1×2	280	–	–	–	–	–	–	120	312	–	–	–	–	–	–	–	–
Б–Б, 3,5×2,0	960	52	138	62	161	31	81	121	321	41	107	84	218	73	190	78	203
Б–Б–Б, 3×1	940	55	144	57	148	–	–	110	286	46	120	85	220	76	196	74	192
К–С, 1,5×1,0	1066	60	162	94	247	–	–	170	442	–	–	–	–	108	280	108	280
С–С, 1,2×0,5	1740	44	119	57	148	37	96	96	250	–	–	–	–	59	153	66	172
С–С, 1,2×1,0	980	46	125	61	159	33	86	70	182	–	–	–	–	53	138	59	153
С–С, 1,2×1,5	475	42	113	46	120	33	86	42	109	–	–	–	–	41	107	43	112
С–С, 3,5×1,0	1700	57	152	79	205	34	88	155	403	54	140	113	294	95	246	97	252

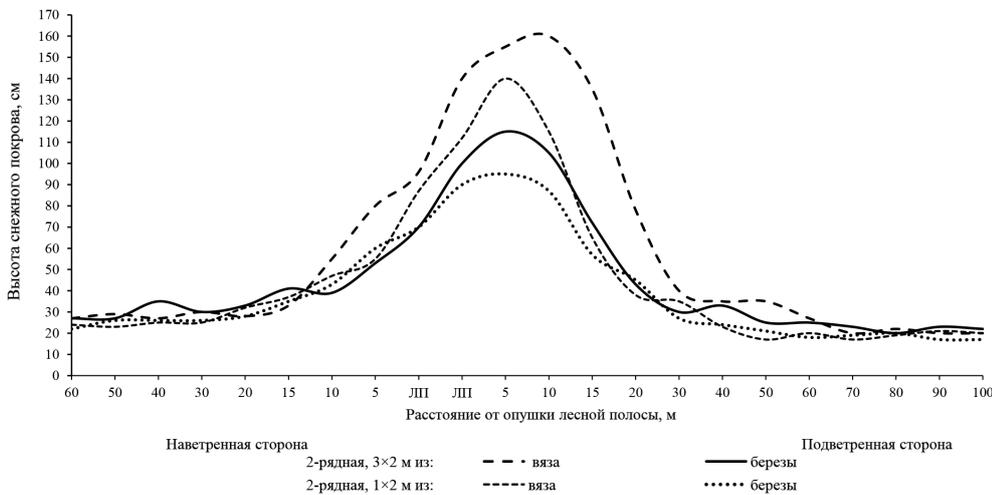
Окончание табл. 1

Модель ПЗЛП, схема посадки, м	Густота, тыс. дер./ га	Гидрологический год (Сумма осадков, мм, за холодный период)												Среднее				
		2013/2014 (99)		2014/2015 (113)		2015/2016 (100)		2016/2017 (241)		2018/2019 (78)		2019/2020 (148)		За период наблюдения		За 2014, 2015 и 2017 г.		
		Сп	Зв	Сп	Зв	Сп	Зв	Сп	Зв	Сп	Зв	Сп	Зв	Сп	Зв	Сп	Зв	
С-С-С, 3,0×0,3	4775	-	-	59	153	37	96	125	325	-	-	-	-	-	74	192	-	-
С-С-С, 1,2×1,0	1470	41	101	74	192	43	112	130	338	-	-	-	-	-	72	187	82	213
С-С-С, 3×1	1800	59	153	56	146	-	-	120	312	-	-	82	214	79	208	76	202	-
С-С-С, 4,0×0,5	2860	46	126	65	169	41	101	102	265	-	-	-	-	64	166	71	185	-
С-С-С, 4×1	1710	44	119	64	166	38	104	89	231	-	-	-	-	59	153	66	172	-
С-С-С, 4,0×1,5	990	44	116	57	148	37	96	64	166	-	-	-	-	51	133	55	144	-
К-С-С-К, 1,2×0,4	2160	-	-	105	273	41	101	127	330	-	-	-	-	91	237	-	-	-
К-К-К, 3×1	2500	81	211	93	242	-	-	147	382	-	-	-	-	107	278	107	278	-
В-В-В-В, 2×7	1120	-	-	-	-	-	-	146	380	44	114	85	220	92	238	-	-	-
Б-Б-Б-Б, 2×7	370	-	-	-	-	-	-	107	278	35	91	73	190	72	147	-	-	-
С-С-С-С, 2×7	1060	54	144	60	156	36	94	123	320	50	130	90	234	65	169	79	205	-
В-С-С-В, 2×7	600	35	92	43	112	38	104	93	242	42	109	63	164	50	130	57	148	-

Примечание: В<sub>н</sub> – вяз приземистый, В – вяз гладкий, Б – береза, С – сосна, К – кустарник (смородина); Сп и Зв – средняя высота снежного шлейфа в зоне питания древостоя в лесной полосе и на ее 5-метровых закрайках (см) и запас воды в снеге (мм) соответственно.



Окончание рисунка



2

Отложение снега под влиянием малорядных ПЗЛП на каштановой почве в Кулундинской степи: *a, б* – в разные годы в 2- и 3-рядных бескустарниковых из сосны; *в, г* – разных моделей в 2015 г.

The snow deposition under the influence of low-row forest shelterbelts on chestnut soil in the Kulunda steppe: *a, б* – in different years in 2- and 3-row shrubless pine forests; *в, г* – of different models in 2015

При увеличении ширины междурядий до 3 м и количества рядов деревьев характер снегоотложения существенно меняется. Так, в 3-рядной лесной полосе (смородина – вяз гладкий и береза – вяз гладкий) основная масса снега накапливалась на занятой древостоем площади и на расстоянии до 10 м от него в подветренную сторону с небольшой депрессией в рельефе сугроба в 5 м от крайнего подветренного ряда. Совокупная длина снежного шлейфа по обе стороны от ПЗЛП не превышала 40–45 м, а его средняя высота в зоне питания древостоя – 1 м.

В ПЗЛП «смородина–сосна–сосна–смородина» с междурядьями 1,2 м в средние по погодным условиям зимы основной объем снега аккумулировался на опушках и в рядах кустарника (высота вершин сугроба – 110–240 см) с глубоким (0,5–0,6 м) прогибом поверхности сугроба между рядами сосны. В такой же, но менее ветропроницаемой ПЗЛП из смородины и вяза с березой (смородина – вяз гладкий и береза – вяз гладкий и береза – смородина) 2-вершинный сугроб имел наибольшую высоту (115–130 см) в наветренном ряду деревьев и незначительную депрессию в рельефе склона между 2-м рядом деревьев и рядом кустарника. Вторая вершина образовывалась над подветренным рядом кустарника или на небольшом удалении от него со стороны поля. В метелистые зимы вершина с подветренной стороны становилась выше (до 160 см) вершины с наветренной части, а снежный шлейф смещался в направлении преобладающих ветров.

В средние по условиям погоды зимы с обеих сторон сосновой ПЗЛП протяженность снежного шлейфа составляла около 20 м, в метелистые – с наветренной стороны – 40 м, с подветренной – 60 м. У вязово-березовой ПЗЛП шлейф был укорочен соответственно по годам до 5 м с наветренной и до 15 м с подветренной стороны, до 20 м с обеих сторон. Его средняя мощность в зоне питания древостоя сосны составляла 90–150 см, вяза и березы – 80–115 см, максимальная – 140–160 см. По-видимому, на это расстояние оказывает влияние и высота деревьев. Так, у сосновых полос высотой 7, 9 и 10 м с размещением посадочных мест 1,2×0,5, 1,0, 1,5 м в 2016/2017 г/г образовались невысокие (60–70 см с наветренной и 80–90 см – с подветренной стороны) сугробы с депрессией поверхности снежного шлейфа в наветренном ряду (толщина снега – 50–60 см). Средняя высота снежного покрова в ПЗЛП и на опушках составила 45–65 см. Расстояние от ряда сосны до вершины подветренного сугроба – 10–15 м при уменьшении с увеличением высоты древостоя.

У 1-рядной плотно сомкнутой полосы из вяза приземистого высотой 6,2 м в близкую к средней по условиям погоды зиму также формировался высокий (около 2 м) сугроб с вершиной в 5 м от ее подветренной стороны и коротким шлейфом (до 20 м в наветренную и до 15 м – в подветренную сторону). Средняя высота снежного покрова в зоне питания древостоя достигала 1,5 м и более.

Особенностью 2-рядных бескустарниковых полос являлось относительно большое смещение вершины сугроба в подветренную сторону. С расширением междурядий увеличивалось их наполнение снегом и сокращалась протяженность снежного шлейфа на прилегающих полях. В целом для таких полос характерна его длина 10–20 м с наветренной и 20–30 м – с подветренной стороны, а в малоснежные маловетренные зимы она ограничивается 5-метровыми приопушечными зонами.

На отложение снега в бескустарниковых лесных полосах заметно влияет количество рядов. Так, в 3-рядных ПЗЛП с междурядьями 3 м основная масса снега аккумулировалась под пологом с вершиной сугроба в подветренном ряду или вблизи него. При расширении междурядий и повышении густоты рядов – ближе к наветренной опушке лесной полосы. Сближение рядов деревьев до 1,0–1,5 м нивелировало воздействие их количества. При этом больше снега оседало в 5–15 м с наветренной и подветренной сторон ПЗЛП, а его высота под древостоем уменьшалась на 20–30 см.

В целом средняя высота снега в зоне питания 3-рядных ПЗЛП меньше, чем в 2-рядных, а совокупная длина шлейфа (без учета ширины ПЗЛП) больше – 60–110 м.

Однако отметим, что на южном суглинистом черноземе Новосибирской области у очень плотных 3-рядных сосновых и лиственничных ПЗЛП (при схеме посадки 3,0×1,4 м) высотой 13–14 м в те же зимы основная масса снега оседала с наветренной (высота сугробов – 80–190 см) и подветренной (высота сугробов – 60–150 м) сторон на расстоянии 10–20 м от рядов деревьев. В самих ПЗЛП его было не более 30–50 см. В Кулундинской степи к схожему результату приводило удаление сучьев на деревьях до высоты ствола 1,5–2,0 м в густых

(выше 4 тыс. дер./га) насаждениях сосны. При этом снег не оседал в ПЗЛП, а откладывался на расстоянии 5–20 м в подветренной части, в поле.

В мелко-прерывистых 3-рядных ( $3 \times 1-2$  м) и диагонально-групповых 4-рядных ( $2 \times 7$  м) ПЗЛП без кустарника снег лучше накапливался в умеренно ветропроницаемом древостое. Его высота под пологом биогрупп деревьев достигала 80–150 см, а в 3-рядных прерывистых кулисах из смородины – 220 см. Низкая и чрезмерная густота биогрупп вызывала отложение снега преимущественно на их подветренной стороне. При этом длина снежного шлейфа с наветренной стороны составляла 2,5–12,0 и 7–30 м, с подветренной – 10–20 и 12–40 м. У кустарниковых куртин соответственно – 12–30 и 10–40 м.

По результатам парного регрессионного анализа данных снегомерной съемки у сосновых ПЗЛП, наибольшая высота снежного покрова под древостоем в значительной степени ( $r = 0,64$  и  $0,63$ ) обусловлена количеством выпавшего снега, а в выборке, включающей ПЗЛП с кустарником, – слабо ( $r = -0,16$ ) количеством рядов. Наличие кустарника фиксирует высоту снежного покрова на уровне собственной высоты.

Средняя высота снежного покрова в зоне питания древостоя имела еще более тесную связь ( $r = 0,72$  и  $0,77$ ) с количеством осадков, а в бескустарниковых моделях прямую слабую с густотой, высотой древостоя и шириной междурядий ( $r = 0,23$ ,  $0,18$  и  $0,11$ ). Для 2-ярусных моделей ПЗЛП на высоту снега отрицательно влияло увеличение количества рядов, ширины междурядий и высоты древостоя.

Совместное воздействие погодных условий и строения ПЗЛП на максимальную высоту снега в ней составляло 42–44 %, и несколько больше при включении в анализ моделей с кустарником. Показатель уменьшался с увеличением количества рядов, и больше в бескустарниковых насаждениях. Только строением ПЗЛП высота сугроба обусловлена на 2,5–4,5 %, и больше при наличии кустарника. В ПЗЛП с кустарником прослеживается отрицательное влияние на уровень снега роста количества рядов и высоты древостоя. В бескустарниковых – исключительно числа рядов.

Средняя высота снежного покрова в зоне питания древесных растений всей совокупностью факторов детерминирована на 53–64 %, а лишь строением лесных полос – на 1,6–6,6 %, и больше в бескустарниковых насаждениях. В ПЗЛП с кустарником на нее отрицательно влияло увеличение как количества рядов, высоты древостоя, так и ширины междурядий.

Данные по весеннему запасу продуктивной влаги в слое почвогрунта 0–120 см (табл. 2) не дают однозначного ответа на вопрос о преимуществе того или иного строения ПЗЛП как по причине недостаточности информации, так и вследствие различий водоудерживающей способности этого слоя. Очевидно, что на относительно легких почвогрунтах влага просачивается глубже, но при этом также участвует в питании древостоя. Тем не менее можно заметить сравнительно высокую стабильность запаса влаги по годам в верхнем слое почвогрунта в бескустарниковых 2–3-рядных насаждениях с относительно широкими междурядьями.

Таблица 2

**Весенний запас продуктивной влаги в слое 0–120 см каштановой почвы в ПЗЛП  
Кулундинской степи**

**The spring productive moisture reserve in a 0–120 cm layer of chestnut soil  
in the forest shelterbelts of the Kulunda steppe**

Модель ПЗЛП, схема посадки, м	Год (Сумма осадков, мм, за холодный период)						
	2014 (99)	2015 (113)	2016 (100)	2017 (241)	2018 (93)	2019 (78)	2020 (148)
В–В, 3,5×2,0	74	–	–	–	–	–	–
В–В, 6×2	–	–	–	–	–	–	142
В–В–В, 3×1	–	–	–	–	–	106	
К–ВБ–ВБ, 3×1	–	81	59	–	–	–	56
К–ВБ–ВБ–К, 1,5×1,0	–	–	–	–	–	–	63
Б–Б, 3,5×2,0	70	–	–	–	–	–	–
Б–Б–Б, 3×1	–	–	–	–	–	65	122
К–С, 1,5×1,0	76	61	–	–	–	–	90
С–С, 3,5×1,0	64	97	99	105	51	–	73
С–С–С, 3,0×0,3		103	91	102	52	–	–
С–С–С, 3×1	61	103	–	–	60	60	103
К–С–С–К, 1,2×0,4	–	94	71	89	95	–	–
В–С–С–В, 2×7	–	–	–	–	–	–	91
Поле, посевы овса	35	53	95	103	97	35	–
Поле, травы/посевы многолетних трав	37	107	–	–	–	–	–

На межполосных полях большая динамичность весеннего запаса влаги объясняется как пестротой физических свойств почвы, так и спецификой использования полей в севообороте в предшествующем году.

Данные по эвапотранспирации ПЗЛП (табл. 3) свидетельствуют о том, что при одинаковых погодных условиях она зависит в основном от густоты насаждения и биологии древесной породы, определяющих эффективность жидких осадков и интенсивность десукции влаги древостоем. Наиболее экономно ее расходовали умеренно густые простые и комбинированные насаждения сосны и березы. При этом потребление влаги этими насаждениями мало отличалось от ее использования посевами полевых культур. На 10–115 мм больше на продуктивное испарение брали относительно густые ПЗЛП из сосны и вяза. При наличии доступной грунтовой воды интенсивность иссушения верхнего слоя почвогрунта древостоем снижалась.



### *Заключение*

Таким образом, многолетние наблюдения в малорядных полезащитных лесных полосах на территории сухостепной подзоны Западной Сибири (Кулундинский район Алтайского края) свидетельствуют о большом разнообразии формы снежного шлейфа под древостоем, на закрайках и примыкающих полях. На этот процесс влияют такие факторы, как количество твердых осадков, ветровой и, по-видимому, температурный режимы воздуха, ветропроницаемость отдельных рядов и всего древостоя лесных полос, т. е. породный состав, количество, высота и густота рядов деревьев, ширина междурядий. При этом отдельные факторы, наслаиваясь, нивелируют или усиливают их общее воздействие на метелевый поток.

Наиболее эффективно накапливают снег и работают «на себя» кустарниковые кулисы и 1-рядные слабо продуваемые лесные полосы из плотнокронных пород. Покрываясь снегом, они играют роль полускрытых механических защит, увеличивая и стабилизируя высоту снега в межкулисном пространстве, и в последующем не препятствуют его переносу. Их следует использовать как долго действующее вспомогательное средство распределения снега на широких межполосных полях. Опушечные ряды кустарника уплотняют нижнюю часть комбинированных полезащитных лесных полос, резко усиливают их ветроломные свойства и меняют форму шлейфа снегоотложения. Наиболее эффективно задерживают снег и распределяют его на полях 2–3-рядные полосы, состоящие из ряда кустарника с наветренной стороны и 1–2 рядов деревьев. Однако высота снега в зоне питания древостоя в таких полосах сильнее зависит от ветропроницаемости рядов деревьев и количества твердых осадков. При высокой проницаемости рядов основная масса снега откладывается на подветренной опушке и в поле. По мере ее снижения сугроб перемещается в лесную полосу, на кустарниковый ряд, затем на наветренную опушку и в поле – за пределы зоны питания древостоя снеговой водой. Лучшей по надежности комбинированной моделью полезащитных лесных полос следует считать 3-рядные, состоящие из ряда кустарника и 2 умеренно ажурных рядов деревьев. Подеревное смешение вяза и березы повышает их ветропроницаемость и стимулирует отложение снега в лесных полосах.

Лесные полосы с рядом кустарника по обе стороны и умеренной проницаемостью ветроломного профиля тоже эффективно накапливают снег под пологом древостоя и на закрайках. Но плотные 2-ярусные опушки вызывают депрессию в снежном покрове во внутренней части лесных полос и в малоснежные зимы создают опасность аккумуляции снега только в рядах кустарника, что осложнит водное питание деревьев. Снижение высоты опушечного кустарника до 1,0–1,5 м при расстоянии между рядами деревьев 2,5–3,5 м будет способствовать повышению их влагообеспеченности.

Условия снегоотложения в 2–3-рядных бескустарниковых лесных полосах, особенно в 2-рядных, улучшаются при расширении междурядий до 3,0–3,5 м и более при густоте средневозрастного древостоя вяза до 600–800 дер./га, березы – 900–1000 дер./га, сосны – более 1000 дер./га. Чрезмерное уплотнение и рост в высоту древостоя этих полос приводят к перераспределению снежной массы в пользу опушек и прилегающего поля. При сокращении числа рядов с 3 до 2 следует расширять междурядья и повышать густоту

рядов. Однако в березовых и сосновых полезащитных лесных полосах с междурядьями шире 3,5 м, вязовых – шире 4 м увеличивается опасность зарастания почвы степными травами. Полезащитные лесные полосы из ильмовых и других плотнокронных пород следует создавать преимущественно 2-рядными, из березы, возможно, лиственницы – 3-рядными. 2- и 3-рядные лесные полосы из сосны эффективны при густоте рядов 1–2 тыс. дер./га. Низко опущенные кроны опушечных деревьев этой породы успешно выполняют функцию рядов кустарника и должны оставаться не нарушенными при выполнении агротехнических и лесоводственных работ.

В лесных полосах из биогрупп деревьев лучшие условия снегоотложения складываются в умеренно густых (1000–1100 дер./га) насаждениях сосны. В разреженных березовых и высоко сомкнутых вязовых – снег накапливается в основном с подветренной стороны биогрупп. Над прерывистыми рядами (куртинами) кустарника формируется цепочка снежных холмиков высотой 1,5–2,5 м с шириной основания в поперечном направлении 30–50 м.

Средняя высота снежного покрова и запас снега в зоне питания древостоя полезащитных лесных полос по большей части обусловлены количеством твердых осадков, а в бескустарниковых – также густотой, высотой древостоя и шириной междурядий. В лесных полосах с кустарником прослеживается отрицательное влияние на отложение снега увеличения количества рядов, высоты деревьев и ширины междурядий. Влияние на накопление снега всей совокупности факторов оценивается в 53–64 %, а только строения лесных полос – в 1,6–6,6 %, и больше в бескустарниковых моделях. Тем не менее при одинаковых погодных условиях изменение модели насаждений существенно отражается на снегоотложении в зоне питания древостоя и является надежным средством регулирования их влагообеспеченности.

Наиболее стабильные по годам весенние запасы почвенной влаги формируются и пополняются за счет дождей в бескустарниковых 2–3-рядных полезащитных лесных полосах с относительно широкими междурядьями, а экономнее всего они расходуются в умеренно густых простых и комбинированных насаждениях сосны и березы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Бабенко Д.К.* Научные основы ведения хозяйства в защитных лесных насаждениях. М.: Агропромиздат, 1985. 222 с.  
Babenko D.K. *Scientific Principles of Management in Protective Forests Plantations*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 222 p. (In Russ.).
2. *Баранов А.Т.* Особенности формирования современного весеннего склонового стока на пахотных землях Нижнего Поволжья // Вестн. МГУ. Сер. 5: Геогр. 2021. № 6. С. 77–86.  
Barabanov A.T. Specific Features of Spring Slope Runoff Formation on Arable Lands of the Lower Volga River Region. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 2021, no. 6, pp. 77–86. (In Russ.).
3. *Баранов В.А.* Оптимизация агролесоландшафтов юго-востока европейской России (к 120-летию Докучаевской экспедиции) // Докучаевское наследие: итоги и перспективы развития научного земледелия в России: сб. науч. докл. Воронеж: Истоки, 2012. С. 238–242.

Baranov V.A. Optimization of Agroforest Landscapes in the South-East of European Russia (on the 120th anniversary of the Dokuchaev Expedition). *Dokuchaevskoe nasledie: itogi i perspektivy razvitiya nauchnogo zemledeliya v Rossii*: Collection of Scientific Reports. Voronezh, Istoki Publ., 2012, pp. 238–242. (In Russ.).

4. Беляев А.И., Манаенков А.С., Пугачёва А.М., Подгаецкая П.М., Петров В.Н. Создание долговечных полезащитных лесных полос на юге Западной Сибири: метод. рекомендации. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2022. 36 с.

Belyaev A.I., Manaenkov A.S., Pugacheva A.M., Podgaetskays P.M., Petrov V.N. *Creation of Long-Lasting Forest Shelterbelts in the South of Western Siberia*: Methodological Recommendations. Volgograd, Federal Scientific Centre for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2022. 36 p. (In Russ.).

5. Васильев М.Е. О теории снегодинамики в системе лесная полоса – защищенное поле // Пути повышения эффективности полезащитного лесоразведения. М.: Колос, 1979. С. 34–49.

Vasiliev M.E. On the Theory of Snow Dynamics in the Forest Belt – Protected Field System. *Puti povysheniya effektivnosti polezashchitnogo lesorazvedeniya*. Moscow, Kolos Publ., 1979, pp. 34–49. (In Russ.).

6. Васильев Ю.И., Степанов А.М. Полезащитное лесоразведение // Агроресомелиорация. 5-е изд., перераб. и доп. / под ред. академиков РАСХН А.Л. Иванова и К.Н. Кулика; Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. С. 323–415.

Vasiliev Yu.I., Stepanov A.M. Protective Afforestation. *Agroforestry*: 5th ed., revised and enlarged. Ed. by Academicians of the Russian Academy of Agricultural Sciences A.L. Ivanov and K.N. Kulik. Volgograd, All-Russian Research Institute of Agroforestry Melioration Publ., 2006, pp. 323–415. (In Russ.).

7. Гаршинёв Е.А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Экспериментальная оценка и проектирование. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2002. 220 с.

Garshinyov E.A. Erosion-Hydrological Process and Forest Reclamation: Experimental Evaluation and Design. Volgograd, All-Russian Research Institute of Agroforestry Melioration Publ., 2002. 220 p. (In Russ.).

8. Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь // Избр. соч. М.: Сельхозиздат, 1954. С. 450–512.

Dokuchaev V.V. Our Steppes Before and Now. *Selected Works*. Moscow, Selkhozizdat Publ., 1954, pp. 450–512. (In Russ.).

9. Долгилевич М.О., Бялый А.М., Савельев Л.С., Лазарев М.М., Савичев В.Д. Состояние лесных полос и пути их улучшения в сухой степи Алтайского края // Пути повышения эффективности полезащитного лесоразведения. М.: Колос, 1979. С. 177–198.

Dolgilevich M.O., Byalyj A.M., Savel'ev L.S., Lazarev M.M., Savichev V.D. The Condition of Forest Belts and Ways to Improve Them in the Dry Steppe of the Altai Territory. *Puti povysheniya effektivnosti polezashchitnogo lesorazvedeniya*. Moscow, Kolos Publ., 1979, pp. 177–198. (In Russ.).

10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований). 4-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1979. 416 с.

Dospekhov B.A. *Field Experiment Methodology: (With the Basics of Statistical Processing of Research Results)*. 4th ed, revised and enlarged. Moscow, Kolos Publ., 1979. 416 p. (In Russ.).

11. Кулик К.Н., Габунцина Э.Б., Кружилин И.П., Куст Г.С., Манаенков А.С., Павловский Е.С., Савостьянов В.К., Тулухонов А.К., Петров В.И. Опустынивание и комплексная мелиорация агроландшафтов засушливой зоны. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2007. 86 с.

Kulik K.N., Gabunshchina E.B., Kruzhilin I.P., Kust G.S., Manaenkov A.S., Pavlovsky E.S., Savost'yanov V.K., Tulukhonov A.K., Petrov V.I. *Desertification and Complex Reclamation*

of Agricultural Landscapes in Arid Zones. Volgograd, All-Russian Research Institute of Agroforestry Melioration Publ., 2007. 86 p. (In Russ.).

12. Кулик К.Н., Свинцов И.П., Барабанов А.Т., Манаенков А.С., Васильев Ю.И., Жданов Ю.М., Зыков И.Г., Кулик Н.Ф., Крючков С.Н., Маланина З.И., Павловский Е.С., Петров В.И., Рулев А.С., Степанов А.М., Семенютин А.В., Сухоруких Ю.И., Шульга В.Д., Юфев В.Г. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации до 2020: моногр. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. 34 с.

Kulik K.N., Svintsov I.P., Barabanov A.T., Manaenkov A.S., Vasiliev Yu.I., Zhdanov Yu.M., Zykov I.G., Kulik N.F., Kryuchkov S.N., Malanina Z.I., Pavlovsky E.S., Petrov V.I., Rulev A.S., Stepanov A.M., Semenyutina A.V., Sukhorukikh Yu.I., Shulga V.D., Yuferev V.G. *Strategy for the Development of Protective Afforestation in the Russian Federation until 2020*: Monograph. Volgograd, All-Russian Research Institute of Agroforestry Melioration Publ., 2010. 34 p. (In Russ.).

13. Манаенков А.С. Развитие основ степного и защитного лесоразведения: теоретические, прикладные аспекты и задачи в современных условиях // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 2(30). С. 5–23.

Manaenkov A.S. The Formation of Steppe and Protective Afforestation Basement: Theoretical and Applied Aspects in the Contemporary Context. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya "Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie"* = Vestnik of Volga State University of Technology. Series "Forest. Ecology. Nature Management", 2016, no. 2(30), pp. 5–23. (In Russ.). <https://doi.org/10.15350/2306-2827.2016.2.5>

14. Манаенков А.С., Абакумова Л.И., Подгаецкая П.М. Повышение долговечности полезащитных лесных полос на юге Западной Сибири // Изв. Нижневолж. агроунив. комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. Вып. 2(34). С. 41–47.

Manaenkov A.S., Abakumova L.I., Podgaetskaya P.M. Increasing the Durability of Forest Shelterbelts in the South of Western Siberia. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* = Proceedings of Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education, 2014, iss. 2(34), pp. 41–47. (In Russ.).

15. Манаенков А.С., Подгаецкая П.М., Подгаецкий М.Е. Особенности роста малорядных лесных полос на каштановых почвах // Вестн. Московск. ун-та. Сер. 5.: Геогр. 2022. № 3. С. 134–142.

Manaenkov A.S., Podgaetskaya P.M., Podgaetsky M.E. Specific Features of the Growth of Few-Row Forest Belts on Chestnut Soils. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 2022, no. 3, pp. 134–142. (In Russ.).

16. Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов / под ред. Е.С. Павловского, М.О. Долгилевича. М.: ВАСХНИЛ, 1985. 112 с.

*Methodology of Systematic Research of Forest-Agrarian Landscapes*. Ed. by E.S. Pavlovsky, M.O. Dolgilevich. Moscow, Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences, 1985. 112 p. (In Russ.).

17. Муканов Б.М. Влияние системы лесных полос на гидрологический режим почвогрунтов // Кулундинская степь: прошлое, настоящее, будущее: материалы науч.-практ. конф. / под ред. Е.Г. Парамонова. Алт. ун-т, 2003. С. 209–216.

Mukanov B.M. The Influence of the Forest Belt System on the Hydrological Regime of Soils. *Kulunda Steppe: Past, Present, Future*: Proceedings of the Scientific and Practical Conference. Ed. by E.G. Paramonov. Altai University Publ., 2003, pp. 209–216. (In Russ.).

18. Наумов В.Д. О защитном лесоразведении // Докучаевское наследие: итоги и перспективы развития научного земледелия в России: сб. науч. докл. Воронеж: Истоки, 2012. С. 222–226.

Naumov V.D. About Protective Afforestation. *Dokuchaevskoe nasledie: itogi i perspektivy razvitiya nauchnogo zemledeliya v Rossii*: Collection of Scientific Reports. Voronezh, Istoki Publ., 2012, pp. 222–226. (In Russ.).

19. Павловский Е.С., Гаршинев Е.А., Барабанов А.Т. О научном развитии докучаевской концепции экологически сбалансированных агроландшафтов // Защитное лесоразведение: история, достижения, перспективы. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1998. Вып. 1(108). С. 96–105.

Pavlovsky E.S., Garshinev E.A., Barabanov A.T. On the Scientific Development of the Dokuchaev Concept of Ecologically Balanced Agricultural Landscapes. *Protective Afforestation: History, Achievements, Prospects*. Volgograd, All-Russian Research Institute of Agroforestry Melioration Publ., 1998, no 1(108), pp. 96–105. (In Russ.).

20. Парамонов Е.Г. Современное состояние полезащитного лесоразведения в Алтайском крае // Степной бюл. 2014. № 40. С. 34–39.

Paramonov E.G. *Modern Status of Conservation Afforestation in Altai Krai*. *Stepnoj bulluten'* = Steppe Bulletin, 2014, no. 40, pp. 34–39. (In Russ.).

21. Парамонов Е.Г., Ишутин Я.Н., Симоненко А.П. Кулундинская степь: проблемы опустынивания. Барнаул: Алтайск. ун-т, 2003. 137 с.

Paramonov E.G., Ishutin Ya.N., Simonenko A.P. Kulunda Steppe: Problems of Desertification. Barnaul, Altai University Publ., 2003. 137 p. (In Russ.).

22. Полезащитное лесоразведение – фактор повышения продуктивности пашни и интенсификации земледелия // Агролесомелиорат. наука в XX в. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2001. С. 67–113.

Protective Afforestation – a Factor in Increasing Arable Land Productivity and Intensification of Agriculture. *Agroforestry Science in the XX century*. Volgograd, All-Russian Research Institute of Agroforestry Melioration Publ., 2001, pp. 67–113. (In Russ.).

23. Портянко А.Ф. Водный баланс полезащитных лесных полос и их устойчивость // Пути повышения эффективности полезащитного лесоразведения. М.: Колос, 1979. С. 207–220.

Portyanko A.F. Water Balance of Forest Shelterbelts and Their Stability. *Puti povysheniya effektivnosti polezashchitnogo lesorazvedeniya*. Moscow, Kolos Publ., 1979, pp. 207–220. (In Russ.).

24. Портянко А.Ф. Научные основы создания устойчивых долговечных полезащитных лесополос в Западной Сибири // Агролесомелиорация и интенсификация земледелия по природным зонам страны: сб. науч. тр. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1987. Вып. 1(90). С. 31–46.

Portyanko A.F. Scientific Foundations for the Creation of Sustainable Long-Lasting Protective Forest Belts in Western Siberia. *Agrolesomeliorsiya i intensifikatsiya zemledeliya po prirodnym zonam strany*: Collection of Scientific Works. Volgograd, All-Russian Research Institute of Agroforestry Melioration Publ., 1987, iss. 1(90), pp. 31–46. (In Russ.).

25. Симоненко А.П., Шошин В.И. Водообеспеченность полезащитных лесных полос и их гидрологическая роль в сухой степи Западной Сибири // Агролесомелиорация в Западной Сибири: сб. науч. тр. Новосибирск, 1982. С. 11–24.

Simonenko A.P., Shoshin V.I. Water Availability of Protective Forest Belts and Their Hydrological Role in the Dry Steppe of Western Siberia. *Agrolesomeliorsiya v Zapadnoj Sibiri*: Collection of Scientific Papers. Novosibirsk, 1982, pp. 11–24. (In Russ.).

26. Степанов А.М. Современное состояние полезащитного лесоразведения // Защитное лесоразведение: история, достижения, перспективы. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1998. Вып. 1(108). С. 116–125.

Stepanov A.M. The Current State of Protective Afforestation. *Protective Afforestation: History, Achievements, Prospects*. Volgograd, All-Russian Research Institute of Agroforestry Melioration Publ., 1998, iss. 1(108), pp. 116–125. (In Russ.).

27. 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. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1987. Вып. 1(90). С. 20–31.

Torokhtun I.M. Improving the Technology of Cultivation of Forest Shelterbelts in Various Soil and Climatic Conditions. *Agrosomelioratsiya i intensifikatsiya zemledeliya po prirodnym zonam strany*: Collection of Scientific Works. Volgograd, All-Russian Research Institute of Agroforestry Melioration Publ., 1987, iss. 1(90), pp. 20–31. (In Russ.).

28. Труды экспедиции, снаряженной Лесным департаментом, под руководством проф. Докучаева // Избр. соч. М.: Сельхозиздат, 1954. С. 514–542.

The Works of the Expedition, Equipped by the Forestry Department, under the Leadership of Prof. Dokuchaev. *Selected Works*. Moscow, Selkhozizdat Publ., 1954, pp. 514–542. (In Russ.).

29. Fahad S., Saud S., Nawaz T., Gu L., Ahmad M., Zhou R. *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth*. Springer Nature Switzerland, 2020. 654 p.

30. Li R., Napier T.L., El-Swaify S.A., Sabir M., Rienzi E. *Global Degradation of Soil and Water Resources*. Springer Singapore, 2022. 564 p.

31. Mueller L., Sychev V.G., Dronin N.M., Eulenstein F. Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes. Springer Cham, 2021. 734 p.

32. Naorem A., Machiwal D. Enhancing Resilience of Dryland Agriculture Under Changing Climate: Interdisciplinary and Convergence Approaches. Springer Singapore, 2023. 716 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-9159-2>

33. Sivanpillai R. Chapter 1 – Introduction to Biological and Environmental Hazards, Risks, and Disasters. *Biological and Environmental Hazards, Risks and Disasters*, 2016, pp. 1–3. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394847-2.00001-2>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest