УДК 634.958

ВЛИЯНИЕ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА РАЗВИТИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ПРИОПУШЕЧНОЙ ЗОНЕ ПОСЕВОВ

А.С. Манаенков[1], П.М. Подгаецкая[2], В.С. Попов[3]

[1–3] *Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН*

[1] *Зав. лабораторией защитного лесоразведения и фитомелиорации низкопродуктивных земель, гл. науч. сотр., д-р с.-х. наук; e-mail: manaenkov1@yandex.ru*
[2] *Директор Западно-Сибирской агролесомелиоративной опытной станции; e-mail: agloswnialmi@mail.ru*
[3] *Лаборатория защитного лесоразведения и фитомелиорации низкопродуктивных земель, мл. науч. сотр.; e-mail: vladispov@yandex.ru*

Система полезащитных лесных полос – долгодействующий экологический каркас аграрной территории. Их основная функция – предупреждение деградации почвенного покрова пахотных земель, улучшение микроклимата полей, сохранение устойчивости и биологического разнообразия ландшафта. Однако присутствие лесных полос осложняет полевые работы, а по границам с ними могут формироваться зоны (полосы) депрессии в развитии посевов, снижающие продуктивность угодий. Это сдерживает практику полезащитного лесоразведения, а следовательно, и решение проблемы обеспечения надежной охраны земельных ресурсов. Цель работы – установить причины и закономерности формирования зон депрессии в агроценозах, определить возможность и приемы подавления их развития. Исследования проводились на протяжении восьми лет в опытно-производственной системе 30–53-летних 2–4-рядных лесных полос из *Betula pendula ROTH*, *Pinus silvestris L.*, *Ulmus laevis PALL.* и других пород на автоморфной каштановой почве Кулундинской степи Алтайского края общепринятыми методами.

Установлено, что наименьшая ширина зоны депрессии в агроценозах характерна для относительно редких лесных полос из березы и сосны, а также для лесных полос с опушечными рядами из ксерофитного кустарника (3–7 м – в сумме с наветренной и подветренной стороны), наибольшая (до 25–30 м) – вяза и тополя (*Populus laurifolia LEDEB.*), т. е. для насаждений из влаголюбивых рослых пород с плотной кроной. Она на 1–3 м шире с подветренной стороны лесных полос, где больше откладывается снега и лучше весенняя влагозарядка почвы. Увеличение высоты и густоты древостоя (протяженности и плотности дневного отенения почвы) стимулирует расширение этой зоны. Угнетение посевов сильнее выражено во влажные годы. Способствует этому повышенная сумма атмосферных осадков холодного, а также начала вегетационного периода и пожнивного сезона – до наступления устойчивых холодов. Ингибируют развитие зон депрессии обильные осадки, выпадающие в период активного роста полевых культур.

Таким образом, формирование зоны депрессии в агроценозах у полезащитных лесных полос имеет многофакторную обусловленность. В засушливых условиях наиболее действенными факторами являются потребность в почвенной влаге и влагообеспеченность древостоя. Наиболее активно экспансия корневой системы древостоя в поле и угнетение посевов происходят во влажные годы и в периоды с повышенной влажностью почвы при отсутствии или ослабленной конкуренции полевых культур. Для снижения ущерба их продуктивности необходимо осуществлять комплекс согласованных организационных, лесокультурных, лесоводственных и агротехнологических мер, направленных на повышение влагообеспеченности и ограничение распространения корневой системы древостоя лесных полос в поле.

Ключевые слова: засушливая зона, полезащитные лесные полосы, погодные условия, биометрические показатели древостоя, ширина зоны депрессии в агроценозах

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.9

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на высокую почвозащитную и в целом природоохранно-хозяйственную эффективность полезащитного лесоразведения [Кулик и др., 2012; Манаенков, Корнеева, 2021; Borelli et al., 2017; Elevitch et al., 2018], диверсификацию собственности на землю, заинтересованность землепользователей в охране и улучшении состояния полезащитных лесных полос (ПЗЛП) в России существенно не повышается, а объемы работ по их созданию носят волнообразный характер [Стратегия…, 2008; Кулик и др., 2012]. Кроме необходимости нести затраты на посадку, выращивание и содержание лесных полос, они создают очевидные неудобства при выполнении полевых работ. Во многих случаях по границе с древостоем формируется зона депрессии в развитии агроценозов (ЗДА). Она может занимать 5–10% площади поля, где урожайность сельскохозяйственных культур на 40–60% ниже средней величины [Захаров, 1971, 1982; Захаров, Кретинин, 1979, 2005; Годунов, Годунова, 2008]. Нетруд-

но посчитать, что при средней урожайности пшеницы в Алтайском крае около 4 т/га потери зерна с 1000 га посевной площади могут составлять 100–200 т. Полезная же роль ПЗЛП наглядно проявляется лишь в острозасушливые и эрозионно-опасные годы [Энциклопедия..., 2004], что делает актуальным дальнейший поиск решения проблемы оптимизации их взаимодействия с системой земледелия на облесенных полях [Захаров, Кретинин, 2005].

Формирование ЗДА у лесных полос имеет сложную природу, а ее ширина с каждой стороны может достигать 1,5–12 м и, по-видимому, зависит от многих причин [Ящерицына, Бондаренко, 1988; Захаров, Кретинин, 2005], обусловленных как климатом, биолого-лесоводственными особенностями ПЗЛП, так и биологией, спецификой возделывания сельскохозяйственной культуры. На каштановой почве Волго-Донского междуречья ширина ЗДА с каждой стороны малорядных лесных полос достигает: у вяза приземистого 9–11 м, робинии 6–7 м, дуба черешчатого и ясеня обыкновенного с опушечными рядами кустарника 4,5–5 м. Насыщенность слоя почвы 0–50 см корнями древесных пород в этой зоне почти в шесть раз выше, а их масса в пять раз больше, чем у озимой пшеницы и сорных трав [Манаенков, Абакумова, 2015].

В засушливой зоне с экологической точки зрения наиболее очевидная причина формирования ЗДА – недостаток почвенной влаги [Торохтун, 1987; Портянко, 1987], распространение корней деревьев крайних рядов в сторону поля. В районах с большой нормой твердых осадков – образование у лесных полос снежных сугробов, длительное переувлажнение почвы и выщелачивание питательных соединений [Павловский и др., 1998; Степанов, Васильев, 2001, 2006; Сарычев и др., 2021], а также отенение посевов [Ящерицина, Бондаренко, 1988]. Вероятно, определенное влияние на ширину этой зоны имеет и фенология, энергия роста и конкурентоспособность сельскохозяйственной культуры [Манаенков, Абакумова, 2015].

Цель исследования – установить закономерности влияния погодных условий, лесокультурных, лесоводственных и биологических факторов на ширину зоны депрессии развития в посевах яровой пшеницы у малорядных лесных полос на каштановой почве сухой степи и определить способы ее уменьшения.

ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на полях в опытно-производственной системе 2–4-рядных 27–54-летних ветроломных лесных полос из сосны (*Pinus sylvestris L.*), березы (*Betula pendula*) и вяза (*Ulmus laevis*), расположенных в Кулундинском районе Алтайского края, где актуальность повышения эффективности ПЗЛП особенно актуально [Манаенков и др., 2021; Создание долговечных..., 2022]. Среднегодовая температура воздуха составляет 2,8°С, июля – 19–21°, января – –17…–19°С, с быстрым нарастанием ее весной и снижением осенью. Норма атмосферных осадков около 300 мм/год с большим колебанием их суммы по годам (на 60–90%) при испаряемости 560–600 мм/год. Вегетационный период короткий – 110–130 дней, за которые выпадает 160–180 мм. Около 30% осадков приходится на вторую половину лета и в большей части теряется на физическое испарение. Основную влагозарядку почвы обеспечивают осенние осадки, выпадающие в период после окончания вегетации растений и до наступления устойчивых холодов (25%), и осадки весеннего периода (20%). Твердые осадки нередко выдуваются с полей и, в среднем, пополняют весенние запасы почвенной влаги на 30–40 мм.

Для весеннее-летнего периода и ранней осени характерны дни с низкой относительной влажностью воздуха и проявлением атмосферной засухи. Суховейно-засушливая погода чаще всего наблюдается в мае–июне и сочетается с почвенной засухой.

Система лесных полос создана в пределах одной водораздельной равнины со слабоволнистым рельефом, каштановыми супесчано-легкосуглинистыми незасоленными почвами на легких аллювиальных отложениях и пресной грунтовой водой на глубине 3,0–6 м.

Яровую пшеницу (базовую культуру на юге Западной Сибири) обычно высевают во второй декаде мая, убирают во второй декаде августа. Это наиболее требовательная к влаге культура из яровых хлебов I группы. От всходов до молочной спелости (в июне – июле) она расходует 70–80% необходимой ей за вегетацию влаги. В фазе кущения первичные корни проникают до 50 см вглубь, в фазе колошения – до 130 см [Коломейченко, 2007].

Строение и таксационные характеристики лесных полос изучали на пробных площадях общепринятыми в лесной таксации и защитном лесоразведении методами [Анучин, 1982; Методика…, 1985]. Погодные условия приведены по данным Кулундинской метеостанции.

Границу депрессионной зоны в посевах определяли у продольных лесных полос, расположенных через 300–350 м с ССЗ на ЮЮВ (поперек преобладающих ветров, визуально, по явным признакам угнетения растений в фазе колошения и созревания – более светлой окраске, 1,5–2-кратному уменьшению высоты, густоты и биомассы растений). Ширину этой зоны измеряли с помощью рулетки методом 25–30 рендомизированных повторений с последующей статистической обработкой данных.

Статистический анализ данных полевых наблюдений и материалов лабораторных исследований проводили на ЭВМ с использованием типовой программы STATGRAPHICS 5.0; оценку уровня связи ширины ЗДА с изучаемыми факторами – по [Доспехов, 1965].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За период наблюдения (последние восемь лет) наибольшей засушливостью отличался 2013/14 гидрологический год (г. г.). Осадков за г. г. выпало на 18%, а за теплый период – на 31% меньше нормы при заметно более высокой средней температуре воздуха как в холодный, так и теплый период. Засушливым был и 2021 г., осадков за г. г. выпало на 6%, за теплый период – на 21% меньше нормы при более теплой погоде. Влажнее обычных лет оказались 2015/16, 2016/17 и 2018/19 г. г. – атмосферных осадков выпало соответственно на 17, 71 и 18% больше нормы. Наиболее частыми и обильными снегопадами отличались зимы 2014/15, 2019/20 и, особенно, 2016/17 г. г., когда твердых осадков выпало примерно вдвое больше нормы (202%). За этот период были влажнее или близки к обычному году: апрель – 5, май – 4, июнь – 2, июль – 5, август – 3, сентябрь – 1 и октябрь – 7 раз.

Пять осенне-зимних сезонов и семь вегетационных периодов были на 1,5–4,2 и 0,3–2,5°С теплее нормы. Среднегодовая температура только в 2014/15, 2016/17 и 2017/18 г. г. оказалась ниже на 0,3–4,3°С, а в остальные – выше нормы на 0,8–2,9°С.

В 2018/19 г. г. повышенная сумма осадков выпала в сентябре–ноябре, в апреле и июне, около нормы – в феврале и июле при очень засушливом мае, а температурный режим воздуха был близок к многолетней норме. Сумма осадков за год составила 130%, холодный период – 91% от нормы.

На примере этого года, близкого по метеоусловиям к умеренно влажному, установлено (табл. 1), что наименьшая ширина ЗДА (2,8 м) сформировалась у 2-рядной шириной около 10 м 33-летней распадающейся (густотой 430–440 дер./га) ПЗЛП из березы (№ 6). У 3-рядной (№ 7) – шириной 13–14 м такого же возраста и густоты она составила 7,8 м. Вдоль более высоких и плотных 51-летних полос-куртин (№ 8 и 9) в понижениях рельефа ЗДА в посевах пшеницы имела ширину около 14 м, а в посевах подсолнечника (лесная полоса № 13) на 3 м шире.

У 32–35-летних чистых 2–3-рядных сосновых лесных полос шириной 9–14 м и густотой от 1–5 тыс. дер./га поперечник ЗДА составил 3–14 м. Больше он оказался у более густых лесных полос № 1 и 2 (рис.). Уже (3,0–3,5 м) – вдоль более узкой средней густоты 2-рядной лесной полосы (№ 14) и также густой (2,8–3,0 тыс. дер./га) 2-рядной лесной полосы (№ 5) с опушечными рядами из смородины (*Ribes aureum*).

Более широкие ЗДА характерны для лесных полос из вяза (21–23 м) и тополя (*Populus laurifolia*) (22–25 м), особенно по визуальной оценке, на посевах подсолнечника (см. рис.). Наименьший поперечник (около 15 м) в посевах пшеницы она имела у 2-рядной вязовой полосы (№ 15) шириной 13 м при густоте 600–650 дер./га. Наибольший – у 3- и 4-рядной шириной 14–20 м и густотой 600–1100 дер./га при рядовом (№ 10) и диагонально-групповом (№ 11 и 12) размещении деревьев.

В умеренно засушливом 2020/21 г. г. (осадков за год выпало 94%, за теплый период – 84% от многолетней нормы), но с более снежным холодным периодом (осадков на 31% больше нормы) у 53–54-летних 3-рядных березовых лесных полос шириной около 12 м, высотой 11–14 м и густотой – 800–1000 дер./га средняя величина поперечника ЗДА в посевах пшеницы составила 5,4 ± 1,7, гречихи – 5,9 ± 1,0, подсолнечника 8,5 ± 1,7 м. У более широких (около 14 м) и плотных (за счет разрастания кроны опушечных деревьев) лесных полос высотой 14–17 м в посевах пшеницы она составила около 11 м, т. е. на 8–9 и 3 м меньше, чем в 2019 г. У 3-рядных лесных полос из тополя шириной 12 м и высотой 24–25 м ЗДА в посевах подсолнечника имели поперечник 28–29 м (на 4–6 м больше, чем в 2019 г.), многолетних трав – 26–27 м.

На южном черноземе Барабинской степи (Краснозерский район Новосибирской области, норма атмосферных осадков 318 мм/год) в 2021 г. (за 2020/21 г. г. осадков выпало на 51%, за холодный период – 56% больше нормы) у 44-летних 2–4-рядных березовых лесных полос шириной 12–15 и высотой 16–18 м ширина ЗДА в пшенице составила 20–21 м. У сосновых и лиственничных лесных полос шириной 12 и высотой 14–15 м – 15–17 м.

Ширина ЗДА во всех вариантах опытных систем в большинстве случаев на 1–2 м больше с подветренной стороны лесных полос по сравнению с наветренной стороной, у которой меньше откладывается снега и накапливается почвенной влаги.

Из приведенных данных следует, что ширина ЗДА и при одинаковых погодных условиях имеет многофакторную обусловленность и является результирующей воздействия группы как очевидных, например, породный состав насаждений, так и неочевидных, но значимых факторов.

Анализ регрессионной связи ширины ЗДА с суммой атмосферных осадков разных лет (табл. 2) свидетельствует, что для всех моделей лесных полос из березы и сосны на автоморфных почвогрунтах она носит почти исключительно прямой положительный характер.

Таблица 1

Таксационная характеристика ПЗЛП и ширина ЗДА в посевах пшеницы на каштановой почве Кулундинской степи в 2019 г.

№ ПЗЛП	Модель ПЗЛП	Возраст, лет	Ширина, м	Густота, дер./га	$Н_{ср}$, м	$Д_{ср}$, см	Ширина ЗДА на посевах пшеницы, м		
							Нс	Пс	Общая
14	С–С, 3,0×1,0 м	32	9,0	1320	9,3	10,6	1,4±0,24	2,1±0,46	3,5±0,54
1	С–С, 3,5×1,0 м	33	10,5	1620	11,3	15,8	5,3±0,45	6,3±0,54	11,6±0,76
2	С–С–С, 3,0×0,3 м	33	12,0	4750	2,8	2,5	6,1±1,1	7,4±0,48	13,5±0,54
3	С–С–С, 4,0×0,5 м	35	14,0	2600	0,4	2,6	2,5±0,28	3,6±0,49	6,1±0,73
4	С–С–С, 4,0×1,5 м	35	14,0	971	10,2	17,2	2,4±0,57	3,8±0,64	6,2±0,78
5	см–С–С–см, 1,2×0,4 м	33	12,0	2920	0,0	3,8	1,3±0,74	1,9±0,39	3,2±0,76
$НСР_{05}$							**0,56**	**0,50**	**0,68**
6	Б–Б, 3,5×2,0 м	33	10,0	430	9,8	4,2	1,2±0,20	1,6±0,42	2,8±0,48
7	Б–Б–Б, 3,5–2,0 м	33	13,5	540	9,3	15,5	2,9±0,60	4,9±1,20	7,8±1,46
8	Б–Б, 3,0×1,0 м	51	11,0	1280	16,4	18,4	6,2±0,93	7,4±1,13	13,6±1,53
9	Б–Б–Б, 3,0×1,0 м	51	12,0	880	11,4	18,1	4,9±0,63	9,3±0,80	14,2±1,15
$НСР_{05}$							**0,59**	**0,89**	**1,15**
15	В–В, 2,0×1,0 м	33	13,0	630	9,9	15,1	7,4±0,87	7,8±0,63	15,2±1,13
10	В–В–В, 3,5×2,0 м	33	19,0	960	7,3	10,3	10,3±0,74	11,7±1,26	22,0±1,64
11	В–В–В–В, 2,0´7,0 м	33	14,0	1120	8,3	13,1	11,3±0,60	11,4±1,20	22,7±1,47
$НСР_{05}$							**0,73**	**1,03**	**1,41**
12	В–С–С–В, 2,0´7,0 м	31	14,0	714	10,4	12,7	10,0±2,59	12,5±1,14	22,5±3,38/*
13	Б–Б–Б, 3,0×1,0 м	51	12,0	890	12,1	18,2	9,8±0,87	7,5±1,42	17,3±1,31/*
16	Т–Т–Т, 5,0×2,5 м	51	14,0	340	19,4	38,5	13,0±1,70	11,3±0,82	24,3±1,78/*
$НСР_{05}$							**1,72**	**1,12**	**2,16**
$НСР_{05}$ для всех пород							**0,90**	**0,88**	**1,35**

Примечание. С – сосна обыкновенная, Б – береза повислая, В – вяз обыкновенный, Т – тополь лавролистный, см – смородина золотистая; 3,5×1,0 – схема размещения посадочных мест; Нс – наветренная сторона; Пс – подветренная сторона лесных полос; /* – ширина ЗДА в посевах подсолнечника; ЗДА – зона депрессии агроценоза яровой пшеницы.

У березовой 36-летней 2-рядной лесной полосы (№ 6) ширина ЗДА тесно связана (r = 0,65) с суммой осадков за холодный период, т. е. с накоплением снега и весенней влагозарядкой почвы. Но практически не обусловлена осадками вегетационного периода и г. г. Способствуют расширению ЗДА осадки за апрель–май (r = 0,27), а заметно сдерживают его (r = –0,39) – за июнь и июнь–июль (r = –0,23), т. е.

Рис. Зона депрессии агроценоза в посевах пшеницы у сосновой лесной полосы (№ 3) (А) и подсолнечника у тополевой лесной полосы (№ 16) (Б) на каштановой почве Кулундинской степи. 2019 г.
Фото П.М. Подгаецкой

Fig. Depressive agrocenosis zone in wheat crops near pine forest belt (no 3) and sunflower crops near poplar forest belt (no 16) on chestnut soil in the Kulunda steppe. 2019.
Photo by P.M. Podgaetskaya

осадки, выпадающие до начала вегетации и в период активного развития посевов яровой пшеницы. У 3-рядной березовой полосы (№ 7) повышенные суммы осадков и за холодный, и за теплый период г. г. (особенно пожнивной – за август–октябрь) также способствуют ($r > 0{,}43$ и $r = 0{,}83$) развитию и активной деятельности корневых систем деревьев, угнетению роста пшеницы у лесной полосы. Исключение составляют повышенные осадки за июль. Они ингибируют развитие ЗДА ($r = –0{,}89$). Это вызвано, по-видимому, сдвигом по времени фазы наиболее активного роста посевов и иссушения ими почвы у 3-рядной лесной полосы.

У старовозрастных (относительно высоких) березовых полос (№ 8 и 9) в понижениях рельефа связь ширины ЗДА с атмосферными осадками противоречивая. Она либо очень слабая, либо очень тесная и, по-видимому, определяется особенностями гидрологии понижений и световым режимом приопушечного поля.

Вблизи сосновых лесных полос наибольшее стимулирующее влияние на развитие ДЗА оказываю повышенные суммы осадков за теплый, пожнивной период и весь г. г. Исключения не составляют и осадки в июне и июле, но их влияние изменяется с незначительного до сильного и деформировано другими экологическими факторами. Так, положительно влияет на ее ширину более высокая густота древостоя (потребность его в почвенной влаге и интенсивность отенения почвы). У 3-рядных лесных полос теснота их связи колеблется от 0 до 90%.

В посевах у 3-рядной плотной ПЗЛП из вяза (№ 10) почти прямое влияние ($r = 0{,}99$) на ширину ЗДА оказываю атмосферные осадки холодного периода – в годы, когда на ее опушках формируются высокие сугробы. Повышенные осадки теплого и, особенно, летнего ($r = –0{,}81...–0{,}87$) и пожнивного периодов ($r = –0{,}87…–0{,}94$) сдерживают ее развитие. У диагонально-групповых (прерывистых) ПЗЛП влияние суммы осадков холодного и теплого периодов, а также летних месяцев на формирование ЗДА может быть как положительным, так и отрицательным, а пожнивных месяцев положительным как сильным, так и слабым. Оно, безусловно, изменяется под влиянием других факторов и прежде всего конкурентоспособности корневой системы древостоя и полевой культуры.

Повышенная температура воздуха в период активного роста пшеницы уменьшает ширину ЗДА, но, очевидно, ее влияние сильно детерминировано запасом почвенной влаги, суммой осадков этого периода, влиянием лесных полос на световой режим и другие экологические факторы вблизи их опушек и, в целом, на фенологию растений.

Разница в ширине ДЗА в посевах пшеницы по годам у средневозрастных березовых лесных полос может достигать 1–5, сосновых – 3–8, вязовых – 5–10 м. У старовозрастных березовых – 1–8 м, а в более поздних по срокам посева подсолнечниках она составляет около 10 м.

В целом можно утверждать, что при дефиците влагообеспеченности древостоя лесных полос экспансия его корневой системы в поле происходит активнее во влажные годы и в периоды с повышенным содержанием почвенной влаги на полях (до и после ее активной десукции посевами). Это не казалось очевидным, поскольку во влажные годы влагообеспеченность насаждений повышается за счет ресурсов занимаемой площади. Напрашивается вывод о том, что в сухой степи она оказывается недостаточной и в эти годы, и не «гасит» стимулирующего влияния на рост корней деревьев влажной почвы, питательности почвенного раствора полей.

Таблица 2

Зависимость ширины зоны депрессии агроценозов яровой пшеницы (ЗДА) у ПЗЛП от погодных условий

№ ПЗЛП	Модель ПЗЛП	Средняя ширина ЗДА, м	Сумма атмосферных осадков, мм								Средняя температура воздуха, °С			
			Х. п.	Т. п.	г. г.	IV–V	VI	VII	VI–VII	VIII–X	V	VI	VII	VI–VII
1	С–С, 3,5×1,0	8,9	0,40	0,28	0,40	0,12	–0,07	–0,08	–0,09	0,53	0,16	–0,43	–0,03	–0,47
2	С–С–С, 3,0×0,3	9,3	0,30	0,88	0,77	0,14	0,92	0,59	0,95	0,78	0,06	–0,53	0,01	–0,57
3	С–С–С, 4,0×0,5	6,5	0,65	0,64	0,72	0,58	0,14	0,15	0,16	0,79	0,74	0,32	–0,17	0,30
4	С–С–С, 4,0×1,5	6,1	0,26	0,80	0,76	0,88	0,52	0,01	0,38	0,42	–0,46	–0,12	–0,66	–0,46
5	см–С–С–см, 1,2×0,4	3,7	0,80	0,85	0,94	0,47	0,31	0,28	0,34	0,78	0,18	0,18	–0,53	–0,01
6	Б–Б, 3,5×2,0	6,2	0,65	0,02	0,26	0,27	–0,39	0,11	–0,23	0,06	0,28	0,89	–0,57	0,73
7	Б–Б–Б, 3,5×2,0	7,8	0,43	0,44	0,64	0,27	0,04	–0,89	–0,07	0,83	0,72	0,22	0,76	0,37
8	Б–Б, 3,0×1,0	12,9	–0,89	0,99	0,81	0,98	0,95	–0,72	0,98	0,96	–0,98	–0,95	–0,44	–0,87
9	Б–Б–Б, 3,0×1,0	9,3	0,08	0,01	0,06	–0,40	0,05	0,05	0,06	0,37	0,35	–0,86	0,58	–0,64
10	В–В–В, 3,5×2,0	26,6	0,99	–0,51	–0,29	–0,66	–0,81	–0,86	–0,87	–0,94	0,97	0,93	–0,13	0,98
11	В–В–В–В, 2,0´7,0	25,0	0,94	0,92	0,96	0,25	–0,35	0,30	0,06	0,75	0,46	0,64	–0,78	0,43
12	В–С–С–В, 2,0´7,0/*	19,9	–0,46	–0,09	–0,23	–0,37	0,23	–0,29	0,03	0,11	0,29	–0,70	0,83	–0,44
13	Б–Б–Б, 3,0×1,0/*	10,7	0,17	–0,03	0,05	–0,45	0,02	0,08	0,05	0,36	0,44	–0,83	0,63	–0,60

Примечание. С, Б, В, см, 3,5×1,0 – обозначения те же, что и в табл. 1; Х. п., Т. п., г. г. – холодный (XI–III), теплый (IV–X) период, гидрологический год (XI–X); IV, V… – апрель, май…; */ – в посевах подсолнечника.

Регрессионный анализ связи биометрических параметров ПЗЛП с шириной ЗДА в посевах пшеницы свидетельствует об устойчивом прямом влиянии на нее высоты и густоты древостоя. При этом оно усиливается от сосновых лесных полос (r = 0,50 и 0,27) к березовым (r = 0,71) и вязовым (r = 0,82 и 0,96) и, по-видимому, вызвано отенением почвы и посевов. Более интенсивно отеняются участки полей вдоль лесных полос из деревьев лиственных пород, имеющих в среднем возрасте притупленные призмовидные кроны. Конусовидные кроны сосны в этом возрасте в верхней ¼–⅓ части не сомкнуты, что снижает их тенеобразующую эффективность. Повышение густоты древостоя снижает светопроницаемость малорядных лесных полос, но существенно сказывается на ширине ЗДА только вдоль насаждений из вяза. По-видимому, основное влияние притенение оказывает на снижение интенсивности физического испарения, сохранение почвенной влаги, что усиливает экспансию корневых систем деревьев в поле и угнетает рост агроценозов.

Увеличение ширины лесных полос (ширины междурядий в 2–4-рядных лесных полосах с 1–2 до 3,5–4,0 м) из сосны и вяза подавляет развитие ЗДА (r = –0,42 и –0,96), а березовых – не сказывается на ее формировании (r = 0,14). В первом случае, очевидно, что это обусловлено улучшением влагообеспеченности древостоя, во втором – снижением того же эффекта вследствие зарастания широких междурядий под ажурной кроной березы степными травами и усилением их конкуренции за почвенную влагу.

Ширину ЗДА (Y, м) в зависимости от параметров лесных полос в первом приближении можно определить с помощью следующих уравнений:

– у сосновых ПЗЛП $Y = 1{,}77x_1 - 0{,}0006x_2 - 0{,}53x_3 - 2{,}33$; r^2 = 43%; s = 2,33;

– у березовых ПЗЛП $Y = 0{,}86x_1 - 0{,}00006x_2 + 0{,}58x_3 - 7{,}50$; r^2 = 56%; s = 2,34;

– у вязовых ПЗЛП $Y = -13{,}57x_1 + 27{,}36x_2 - 881{,}69x_3 + 43121{,}20$; r^2 = 97%; s = 2,54,

где x_1, x_2 и x_3 – средняя высота (м), густота древостоя (тыс. дер./га), количество рядов; s – стандартное отклонение.

ВЫВОДЫ

Таким образом, формирование ЗДА у полезащитных лесных полос имеет многофакторную обусловленность и нуждается в разностороннем изучении. В засушливых условиях наиболее действенными факторами являются потребность в почвенной влаге и дефицит влагообеспеченности насаждений.

Повышенное негативное влияние на развитие агроценозов в пограничной полосе оказывают лесные полосы из влаголюбивых быстрорастущих пород, образующих плотную раскидистую крону. Меньше оно у относительно засухоустойчивых, светолюбивых хвойных деревьев и кустарников.

Высокая густота сосновых лесных полос приводит к уплотнению крон древостоя и усилению стимулирующего влияния на ЗДА атмосферных осадков, особенно за теплый период.

Наиболее активно экспансия корневой системы древостоя в поле происходит во влажные годы и в периоды с повышенной влажностью почвы при отсутствии или ослабленной конкуренции агроценозов.

Взаимодействие малорядных ПЗЛП с агроценозами, по-видимому, аналогично взаимодействию опушки леса и прилегающей степи. Чем благоприятнее условия для роста леса и лучше развиты лесные экосистемы, тем сильнее их негативное воздействие и активнее наступление на степные фитоценозы, и наоборот.

Эффективным средством снижения ущерба полевым культурам в пограничной зоне посевов и лесных полос следует считать осуществление комплекса согласованных организационных, лесокультурных, лесоводственных и агротехнологических мер. В зоне недостаточного атмосферного увлажнения они должны включать:

– увеличение ширины опушек (разрывов между крайними рядами деревьев и посевами полевых культур) и междурядий до 2,5–3,0 м при проектировании полезащитных лесных полос;

– физическую мелиорацию зоны аэрации почвогрунта на отведенной под лесные полосы площади с целью повышения его корнепроницаемости и доступности грунтовой влаги;

– создание малорядных лесных полос из относительно ксерофитных пород деревьев;

– проектирование лесных полос с изменяющимся по продольной оси породным составом насаждений в зависимости от микрорельефа местности;

– расширение практики создания опушечных рядов лесных полос из ксерофитного кустарника, а также лесных полос из кустарника;

– своевременное проведение лесоводственных уходов, направленных на оптимизацию густоты, ветро- и светопроницаемости вертикального профиля лесных полос без снижения их устойчивости и жизнеспособности;

– дифференцированное возделывание полевых культур на межполосных полях, направленное на усиление конкурентоспособности агроценозов по границе с лесными полосами (посев озимых зерновых, многолетних трав, других рано вегетирующих культур).

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. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.

Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1965. 423 с.

Годунов С.И., Годунова Е.И. Состояние зоны депрессии защитных лесных полос в зависимости от их конструкции // Вестник Ставропольского госуниверситета. 2008. № 57. С. 55–60.

Захаров В.В. Урожай вблизи и вдали от лесных полос // Земледелие. 1971. № 3. С. 64–66.

Захаров В.В. Рекомендации по агротехнике выращивания сельскохозяйственных культур в системе полезащитных лесных полос Поволжья и Западной Сибири. Волгоград, 1982. 17 с.

Захаров В.В., Кретинин В.М. Приемы повышения плодородия почвы и урожая сельскохозяйственных культур на межполосном поле // Пути повышения эффективности полезащитного лесоразведения. М.: Колос, 1979. С. 78–82.

Захаров В.В., Кретинин В.М. Агролесомелиоративное земледелие. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2005. 217 с.

Коломейченко В.В. Растениеводство: учебник. М.: Агробизнесцентр, 2007. 600 с.

Кулик К.Н., Манаенков А.С., Раков А.Ю. и др. Полезащитное лесоразведение: значение, состояние, пути выхода из кризиса // Вестн. Российской академии сельскохозяйственных наук, 2012. № 1. С. 24–27.

Манаенков А.С., Корнеева Е.С. Биогеографические аспекты оценки эффективности защиты пахотных земель лесными полосами // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 3. С. 48–54.

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

Манаенков А.С., Абакумова Л.И. Повышение эффективности полезащитного лесоразведения в острозасушливых районах России // Вестн. Поволжского гос. технологического ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 4(28). С. 73–83.

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

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

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

Сарычев А.Н., Костин М.В., Плескачев Ю.Н. Влияние защитных лесных насаждений и приемов обработки почвы на агрофизические свойства каштановых почв и урожайность сельскохозяйственных культур // Лесной вестник. 2021. Т. 25. № 6. С. 63–70. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-6-63-70.

Создание долговечных полезащитных лесных полос на юге Западной Сибири (методические рекомендации) / А.И. Беляев, А.С. Манаенков, А.М. Пугачева [и др.]. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2022. 36 с.

Степанов А.М., Васильев Ю.И. Полезащитное лесоразведение – фактор повышения продуктивности пашни и интенсификации земледелия // Агролесомелиоративная наука в XX в. / А.Н. Каштанов, Е.С. Павловский, К.Н. Кулик и др. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2001. С. 67–113.

Степанов А.М., Васильев Ю.И. Полезащитное лесоразведение // Агролесомелиорация / под ред. академиков РАСХН А.Л. Иванова и К.Н. Кулика. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. С. 323–415.

Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2020 года / К.Н. Кулик [и др.]; Волгоград: ВНИАЛМИ, 2008. 34 с.

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

Энциклопедия агролесомелиорации / сост. и гл. ред. Е.С. Павловский. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. 675 с.

Ящерицына Л.А., Бондаренко И.В. Пространственное размещение корневых систем древостоя в полезащитных лесных полосах сухой степи // Современные вопросы полезащитного лесоразведения: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. Вып. 3(95). Волгоград, 1988. С. 69–77.

Borelli A., *Conigliaro M., Olivier A*. Agroforestry for landscape restoration. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2017, p. 22.

Электронный ресурс

Elevitch C.R., Mazaroli D.N., Ragone D. Agroforestry Standards for Regenerative Agriculture, *Sustainability,* 2018, no. 10, p. 33–37, DOI: 10.3390/su10093337, URL: https://www.researchgate.net/publication/326868829_Agroforestry_Standards_for_Regenerative_Agriculture (дата обращения 14.02.2022).

Поступила в редакцию 26.10.2022
После доработки 25.12.2022
Принята к публикации 22.02.2023

IMPACT OF FOREST SHELTER BELTS ON THE DEVELOPMENT OF SPRING WHEAT IN THE NEAR-EDGE ZONE OF CROPS

A.S. Manaenkov[1], **P.M. Podgaetskaya**[2], **V.S. Popov**[3]

[1–3] *Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation of RAS*

[1] *Head of the Laboratory of Protective Afforestation and Phytomelioration of Low Productive Lands, Chief Scientific Researcher, D.Sc. in Agricultural Sciences; e-mail: manaenkov1@yandex.ru*
[2] *West-Siberian agroforestry experimental station, Director; e-mail: agloswnialmi@mail.ru*
[3] *Laboratory of Protective Afforestation and Phytomelioration of Low Productive Lands, Junior Scientific Researcher; e-mail: vladispov@yandex.ru*

The system of shelterbelt forests is a long-lasting ecological framework of an agrarian territory. Their main function is to prevent the degradation of arable soils, improve the microclimate of fields, and preserve the stability and biological diversity of landscape. However, the presence of forest belts complicates field cultivation, and along their borders zones (strips) of depression in crop development could formed, reducing the productivity of lands. This impedes field-protective afforestation, and, consequently, the solution of the problem of reliable protection of land resources. The aim of the work is to establish the causes and regularities of formation of depressive zones in agrocenoses, and to determine the possibility and methods of suppressing their development. The research has been conducted for 8 years in the experimental-production system of 30 to 53-year old 2 to 4-row forest belts of *Betula pendula* ROTH, *Pinus silvestris L*., *Ulmus laevis PALL.* and other species on the automorphic chestnut soil of the Kulunda steppe (the Altai territory) by the generally accepted methods.

It was found that the depressive zone in agrocenoses is the least wide for relatively sparse forest belts of birch and pine, and also for forest belts with marginal rows of xerophytic shrubs (3–7 m in total on windward and leeward sides), and the largest (up to 25–30 m) for elm and poplar (*Populus laurifolia* LEDEB.), i. e. for plantations of hydrophylous tall species with dense crowns. It is 1–3 m wider on the leeward side of forest belts, where more snow is deposited in winter and soil moisture is better in spring. The increase in height and density of stands, influencing the length and intensity of day-time soil shading, stimulates the expansion of the zone. Crop depression is more pronounced in wet years. The increased amount of atmospheric precipitation during the cold season, as well as at the beginning of the growing season and during the reaping season till the onset of stable cold weather also contributes to it. The development of depressive zones is suppressed by abundant precipitation during the period of active growth of field crops.

Thus, the formation of depressive zone in agrocenoses of shelterbelt forests depends on many factors. Under arid conditions, the most effective factors are the need for soil moisture and moisture availability for the stand. The most active expansion of the tree root system in the field and the suppression of crops occur in wet years and during the periods with high soil moisture in the absence or weakened competition of field crops. To reduce damage to their productivity, it is necessary to implement a set of coordinated organizational, silvicultural and agrotechnological measures aimed at increasing moisture availability and limiting the expansion of tree root system of forest belts in the field.

Keywords: arid zone, shelterbelt forests, weather conditions, biometric indicators of the stand, depression zone width in agrocenoses

Acknowledgements. The work was performed under the theme 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, Complex Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences. The CITiS state registration number AAAA-B19-219071190049-7.

REFERENCES

Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya, ucheb. dlya vuzov* [Forest Inventory, textbook for universities,], Moscow, Lesnaya promyshlennost Publ., 1982, 552 p. (In Russian)

Borelli A., Conigliaro M., Olivier A. *Agroforestry for landscape restoration*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2017, p. 22.

Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of the field experience], Moscow, Kolos Publ., 1965, 423 p. (In Russian)

Entsiklopediya agrolesomelioratsii [Encyclopedia of agroforestry], E.S. Pavlovskiy (ed.), Volgograd, VNIALMI Publ., 2004, 675 p. (in Russian)

Godunov S.I. Godunova E.I. Sostoyaniye zony depressii zashchitnykh lesnykh polos v zavisimosti ot ikh konstruktsii [State of the depression zone of protective forest belts depending on their design], *Vestn. Stavropolskogo gos. Un-ta*, 2008, no. 57, p. 55–60. (In Russian)

Kolomeychenko V.V. *Rasteniyevodstvo* [Crop Production], uchebnik, Moscow, Agrobiznestsentr Publ., 2007, 600 p. (In Russian)

Kulik K.N., Manayenkov A.S., Rakov A.Yu. i dr. Polezashchitnoye lesorazvedeniye: znacheniye, sostoyaniye, puti vykhoda iz krizisa [Protective afforestation: importance, condition, ways out of crisis], *Vestn. Rossiyskoy akademii selskokhozyaystvennykh nauk*, 2012, no. 1, p. 24–27. (In Russian)

Manaenkov A.S., Abakumova L.I. Povyshenie effektivnosti polezashhitnogo lesorazvedeniya v ostrozasushlivyx rajonax Rossii [Increasing efficiency of protective afforestation in the extra dry regions of Russia], *Vestn. Povolzhskogo gos. texnologicheskogo un-ta, Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*, 2015, no. 4(28), p. 73–83.

Manayenkov A.S., Korneyeva E.S. Biogeograficheskiye aspekty otsenki effektivnosti zashchity pakhotnykh zemel lesnymi polosami [Biogeographic aspects of estimating the efficiency of arable lands protection with forest belts], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 3, p. 48–54. (In Russian)

Manayenkov A.S., Podgayetskaya P.M., Podgayetskiy M.E. Zakonomernosti rosta maloryadnykh lesnykh polos na kashtanovykh pochvakh [Specific features of the growth of few-row forest belts on chestnut soils], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2022, no. 3, p. 134–142.

Metodika sistemnykh issledovaniy lesoagrarnykh landshaftov [Methodology for systematic studies of forest-agrarian landscapes], E.S. Pavlovskij & M.O. Dolgilevich (eds.), Moscow, VASKHNIL Publ., 1985, 112 p. (In Russian)

Pavlovskij E.S., Garshinev E.A., Barabanov A.T. [On the scientific development of the Dokuchaev concept of ecologically balanced agro-forest landscapes], Zashchitnoe lesorazvedenie: istoriya, dostizheniya, perspektivy [Protective afforestation: history, achievements, prospects], *sb. nauch. tr. VNIALMI*, 1998, vyp. 1(108), p. 96–105. (In Russian)

Portyanko A.F. [Scientific basis for the creation of sustainable long-standing shelterbelt forests in Western Siberia], Agrolesomelioratsiya i intensifikatsiya zemledeliya po prirodnym zonam strany [Agroforest amelioration and intensification of crop farming by natural zones of the country], *sb. nauch. tr. VNIALMI*, 1987, vyp. 1(90), p. 31–46. (In Russian)

Sarychev A.N., Kostin M.V., Pleskachev Yu.N. Vliyaniye zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy i priyemov obrabotki pochvy na agrofizicheskiye svoystva kashtanovykh pochv i urozhaynost selskokhozyaystvennykh kultur [Protective Forest plantations and treatment methods influence on agrophysical properties of chestnut soils and agricultural yields], *Lesnoy vestn.*, 2021, vol. 25, no. 6, p. 63–70, DOI: 10.18698, 2542-1468-2021-6-63-70. (In Russian)

Sozdanie dolgovechnykh polezashchitnykh lesnykh polos na yuge Zapadnoi Sibiri (metodicheskie rekomendatsii) [Creation of long-standing shelterbelt forests in the south of Western Siberia (guidelines)], A.I. Belyaev, A.S. Manaenkov, A.M. Pugacheva i dr. (avt.), Volgograd, FNTS agroekologii RAN Publ., 2022, 36 p. (In Russian)

Stepanov A.M., Vasil'ev Yu.I. [Protective afforestation as a factor to increase productivity of arable lands and intensification of crop farming], *Agrolesomeliorativnaya nauka v XX veke* [Agroforest amelioration science in the 20th century], A.N. Kashtanov, E.S. Pavlovskii, K.N. Kulik i dr. (avt.), Volgograd, VNIALMI Pabl., 2001, p. 67–113.

Stepanov A.M., Vasil'ev Yu.I. [Protective afforestation], Agrolesomelioratsiya [Agroforest amelioration], A.L. Ivanov & K.N. Kulik (eds.), Volgograd, VNIALMI Pabl., 2006. p. 323–415. (In Russian)

Strategiya razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda [Strategy for the development of protective afforestation in the Russian Federation for the period to 2020], K.N. Kulik i dr. (avt.), Volgograd, VNIALMI Pabl., 2008. 34 p. (In Russian)

Torokhtun I.M. [Improvement of cultivation technology of growing shelterbelt forests in different soil and climatic conditions], *Agrolesomelioratsiya i intensifikatsiya zemledeliya po prirodnym zonam strany* [Agroforest amelioration and intensification of crop farming by natural zones of the country], *sb. nauch. tr. VNIALMI*, 1987, vyp. 1(90), p. 20–31. (In Russian)

Yashcheritsyna L.A., Bondarenko I.V. [Spatial distribution of stand root systems in dry steppe shelterbelt forests], *Sovremennyye voprosy polezashchitnogo lesorazvedeniya* [Actual problems of protective afforestation], *sb. nauch. tr. VNIALMI*, 1988, vyp. 3(95), p. 69–77. (In Russian)

Zakharov V.V. *Rekomendatsii po agrotekhnike vyrashchivaniya selskokhozyaystvennykh kultur v sisteme polezashchitnykh lesnykh polos Povolzhia i Zapadnoy Sibiri* [Recommendations on agrotechnics of growing crops in the system of shelterbelt forests of the Volga River region and Western Siberia], Volgograd, 1982, 17 p. (In Russian)

Zakharov V.V. Urozhay vblizi i vdali ot lesnykh polos [Harvest near and far from forest lanes], *Zemledeliye*, 1971, no. 3, p. 64–66. (In Russian)

Zakharov V.V., Kretinin V.M. *Agrolesomeliorativnoye zemledeliye* [Agroforestry], Volgograd, VNIALMI Publ., 2005, 217 p. (In Russian)

Zakharov V.V., Kretinin V.M. [Techniques to improve soil fertility and crop yields in the interstitial field], *Puti povysheniya effektivnosti polezashchitnogo lesorazvedeniya* [Ways to increase the efficiency of protective afforestation], Moscow, Kolos Publ., 1979, p. 78–82. (In Russian)

Web source

Elevitch C.R., Mazaroli D.N., Ragone D. Agroforestry Standards for Regenerative Agriculture, *Sustainability*, 2018, no. 10, p. 33–37. DOI: 10.3390, su10093337, URL https://www.researchgate.net/publication/326868829_Agroforestry_Standards_for_Regenerative_Agriculture (access date 14.02.2022).

Received 26.10.2022
Revised 25.12.2022
Accepted 22.02.2023