

ПОВЫШЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОПОЛОС В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ

© 2023 г. А.В. Кулик, А.Т. Барабанов, О.А. Гордиенко, М.Р. Шайфуллин

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук*

Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 97. E-mail: kulik-a@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.10.2022. После доработки 23.11.2022. Принята к публикации 11.12.2022.

Протекающая аридизация климата в зоне степей вынуждает разрабатывать и внедрять более устойчивые лесомелиоративные насаждения. Изучаемая комбинированная конструкция лесополос отличается от существующих степенью ажурности вертикального профиля, чередуясь от плотного, продуваемого до ажурного. Ее исследование осуществлялось в степных условиях г. Волгограда и Клетского района Волгоградской области. Показателями мелиоративной эффективности являлись характер распределения снега, влажность почвы и глубина промерзания. Изучение параметров осуществлялось по профилям, перпендикулярно к лесной полосе. Установлено, что снегоотложение в агролесоландшафте под ее влиянием происходило наиболее оптимально. Снег сохранялся в насаждении без образования высоких сугробов в зоне нижнего шлейфа. Низкорослый кустарник препятствовал выдуванию снега из лесополосы и сохранял снег в поле. Комбинированная конструкция лесополосы обеспечила дополнительное накопление почвенной влаги в слое 0–50 см в среднем за пять лет за зимний период в поле 52 мм, в лесополосе – 90 мм. Под ее влиянием происходило сокращение глубины промерзания почвы. Проведенные исследования доказывают мелиоративную эффективность лесополос комбинированной конструкции в степных условиях.

Ключевые слова: лесополоса, низкорослый кустарник, промерзание почв, снежный покров, снеготпасы.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-105-112

EDN: MYFYWO

В настоящее время при усилении интенсификации земледелия и развитии деградационных процессов, связанных с эрозией и дефляцией почв, необходимость в сохранении и повышении их плодородия путем применения лесомелиоративных мероприятий приобретает все большую актуальность. В течение последних лет прослеживается тренд к снижению осадков, учащению засух и суховеев (Оценочный доклад об изменениях климата ..., 2008; Пугачёва, 2020). Нарастают темпы аридизации. В таких условиях необходима разработка новых конструкций лесонасаждений, устойчивых к стрессовым факторам окружающей среды.

Мелиоративная роль лесных полос хорошо изучена (Барабанов, 2017; Бодров, 1951; Комиссаров, Габбасова, 2014; Лисенков, 1971). Они позволяют зарегулировать сток, способствуя дополнительному увлажнению почвы в весенний период, снижают риск развития дефляции, а также защищают от пыльных бурь (Беляков и др., 2019; Рулев и др., 2016). Наибольшее мелиорирующее влияние проявляется при системном пространственном размещении лесополос. Они способствуют расчленению склонов на гидрологически короткие отрезки, что обеспечивает поглощение талой воды, распыление и распределение больших масс вод поверхностного стока на этих рубежах. Насаждения также уменьшают скорость ветра, снижая количество переносимых почвенных частиц (Васильев, 2003). Влияя на характер снегоотложения, лесополосы обеспечивают не только оптимальное его накопление на межполосном пространстве, но и дополнительное отложение снега в самих насаждениях, что обуславливает хороший рост и развитие древесной растительности в засушливых условиях.

Перераспределение снега по Дюнину А.К. (Дюнин, 1963) происходит путем его сдувания с наветренной части склона и отложения на подветренном. Ширина зоны осадения меньше, так как в ней происходит снижение скорости ветрового потока. Наличие системы стокорегулирующих

защитных лесонасаждений меняет характер его перераспределения, снижая скорость ветрового потока с наветренной стороны в пределах 5 высот лесополос (H) и с подветренной до $10H$ в зависимости от их конструкции. Чем шире и плотнее лесополоса, тем мощнее сугробы. Так в лесополосе плотной конструкции с наветренной стороны накопление снега происходит более интенсивно в отличие от продуваемой, в которой снижение скорости ветра не способствует осаждению снежных частиц. Переотложение его с подветренной стороны тоже имеет свои особенности. После лесополосы образуется зона разгона, где скорость ветра постепенно увеличивается и в зависимости от силы способствует выдуванию снега (местами до почвы, а иногда и вместе с ней). Дальность влияния лесополос на снижение скорости ветрового потока простирается на величину до $14-15H$, при этом скорость ветра снижается на $25-30\%$, что достаточно для снижения интенсивности переноса снега в несколько раз (Дюнин, 1963).

Большое влияние на характер снегоотложения оказывает конструкция лесополосы. В лесомелиоративной практике существует три главных конструкции: продуваемая, ажурная и плотная, которые в зависимости от аэродинамических особенностей по-разному влияют на снегоотложение.

Лесополосы плотной конструкции способствуют накоплению снега (высотой до 200 см) в самих лесополосах и в их приопушечных частях (шлейфах), предотвращая промерзание почвы и снижая сток, а в поле его откладывается мало. Из-за позднего схода снежного покрова в весенний период на полях создаются трудности в проведении полевых работ.

Лесополосы продуваемой конструкции не способствуют накоплению снега внутри насаждения, а обуславливают его выдувание. При этом почва не предохраняется от глубокого промерзания, что может повлиять на уменьшение впитывающей способности и увеличение поверхностного стока и эрозии.

Лесополосы ажурной конструкции занимают промежуточное положение: иногда они накапливают снег в шлейфах, а иногда он может из них выдуться. В целом такие насаждения обеспечивают предохранение почвы от глубокого промерзания, но не способствуют оптимальному снегоотложению в поле.

Системы лесополос играют важную роль в накоплении и сбережении влаги, ее рациональном сохранении и использовании, переводе поверхностного стока во внутрпочвенный, так как в условиях пересеченного эрозионного рельефа на сельскохозяйственных землях (приводораздельные и присетевые земли) они размещаются контурно (по горизонталям). Однако потенциал их еще полностью не реализован, в частности необходимо исследование их конструктивных особенностей, поскольку они определяют не только эффективность влияния на прилегающие мелиорируемые земли, но и устойчивость самих насаждений, их долговечность и способность адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды. То есть ставится задача – создать такую конструкцию лесополос, которая способствовала бы равномерному распределению снега на межполосном пространстве и накоплению его в лесополосе в таком количестве, которое необходимо для предотвращения глубокого промерзания почвы и обеспечения деревьев дополнительными влагозапасами за счет накопления зимних осадков.

Согласно литературным данным (Барабанов, 2017; Рихтер, 1953; Сурмач, 1976; Iwataetal., 2008, 2018), для снижения глубины промерзания почвы достаточно сформировать снежный покров мощностью не менее 30–50 см. Если путем регулирования снегоотложения удастся накопить его в насаждении, а остальной распределить по межполосному пространству, то это приведет к снижению потери талой воды и сокращению стока талых вод.

Целью работы являлось определение мелиоративной эффективности новой конструкции защитных лесных полос.

Материалы и методы

Исследования проводились на территории г. Волгограда и в Клетском районе Волгоградской области. В пределах города изучаемая лесополоса располагалась на территории стоково-эрозионного стационара Федерального научного центра агроэкологии Российской академии наук «Амфитеатр» на склоне восточной экспозиции крутизной $3-4^\circ$. Базис эрозии 58 м. Здесь получили развитие светлокаштановые почвы разной степени смытости. По международной классификации почвы относятся к реферативно-почвенным группам *Kastanozems*, *Cambisols*, *Regosols*. Насаждения состоят из ясеня ланцетного (*Fraxinus lanceolata*) и смородины золотистой (*Ribes aureum*) в верхнем опушечном ряду. Лесная полоса четырехрядная с размещением посадочных мест у древесной породы 3×1 м, у

кустарника шаг посадки 0.5 м. Средняя высота древостоя – 6.8 м, средний диаметр ствола – 9.8 см. Возраст насаждения 41 год.

В Клетском районе исследования проводились в стокорегулирующей лесополосе на северо-восточном склоне крутизной 2–3° в 3 км на юго-восток от ст. Клетская. Базис эрозии 47 м. Почвенный покров представлен темно-каштановыми почвами средней степени смытости средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава. По международной классификации они относятся к реферативно-почвенной группе *Kastanozems*. Лесополоса трехрядная, в породном составе преобладают робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia*) и ясень зеленый (*Fraxinus pennsylvanica*) со смородиной золотистой в верхнем опушечном ряду. Схема посадки 3×1 м. Средняя высота древостоя – 8.5 м, средний диаметр ствола – 15.0 см. Возраст насаждения 46 лет.

На обоих объектах в лесополосе были заложены опытные участки шириной 20 м, на которых представлены разные типы конструкций. Наличие схожих геоморфологических, почвенных и микроклиматических условий в рамках одного объекта позволили сопоставить полученные данные.

Влияние на природные факторы эрозионно-гидрологического процесса изучалось с использованием методических разработок Всесоюзного научно-исследовательского института агролесомелиорации, Всесоюзного научно-исследовательского института земледелия и защиты почв от эрозии, Государственного гидрологического института и др. Полученные данные статистически обработаны с помощью XLstat. В опытах определялись следующие показатели: высота снега, снеготолщина, глубина промерзания и влажность почвы. Высота снега измерялась при помощи снегомерной рейки в трехкратной повторности. На поле она фиксировалась каждые 4 м, в шлейфовых зонах – 2 м, в лесной полосе через 1 м. Особое внимание уделялось распределению снега внутри насаждения. Промерзание почв изучалось с использованием мерзлотометров Данилина, установленных в поле и в лесной полосе. Мониторинг изменения показателей осуществлялся с периодичностью 1–2 раза в неделю. Влажность почв определялась термостатно-весовым методом в три периода: до формирования снежного покрова, после снегомерных исследований перед снеготаянием, после полного схода снега. Образцы отбирали в полевой и лесной части опытных участков.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что если снег рыхлый, то низовая метель может начаться и без снегопада при скорости ветра 3–4 м/с. Подавляющая часть снега при ней переносится в приземном слое (Бодров, 1951). На этом принципе А.Т. Барабанов, Е.А. Гаршинев и М.М. Кочкарь разработали комбинированную конструкцию лесополосы (Способ регулирования снегоотложения для защиты почв от эрозии на склонах: пат. 2248116 Рос.Федерация, 2005). Особенность ее в формировании особого вертикального профиля, отличающегося различиями в ветропроницаемости на разной высоте. В нижней части лесополосы (до 0.3–0.5 м) она соответствует плотной конструкции, от 0.5 до 1.5–2.0 м – продуваемой, выше – ажурной. Плотная часть создается методом подбора низкорослого кустарника при посадке или путем его подрезки в существующих лесополосах. Продуваемая формируется подбором пород при посадке или путем обрезки сучьев. Выше 2 м ажурность формируется кроной деревьев. При этом продуваемость лесополос должна быть в нижней части 10–30%, в средней – свыше 60%, в верхней до 15–35%. Насаждение рекомендуется создавать из 2–3 рядов деревьев и 1–2 рядов низкорослых кустарников (рис. 1).

Представленная конструкция способствует делению ветрового потока пополам: первый – обтекает кроны деревьев сверху; второй – проходит между верхушками кустарника через продуваемый участок (по вертикальному профилю) насаждения. Максимальная высота снега в зоне верхнего шлейфа ограничивается высотой кустарника. Скорость нижнего потока в зоне лесополосы снижается, что приводит к дополнительному накоплению снега. Остальной снег переносится через преграду и перераспределяется в лесополосе, обеспечивая дополнительный запас влаги. Исследование характера снегоотложения под влиянием лесополосы комбинированной конструкции показало, что он отличается оптимальным снегоотложением, как в самом насаждении, так и в поле (табл. 1).

Лесополоса плотной конструкции обеспечивает лесонасаждение дополнительной влагой, забирая ее у поля. В свою очередь, комбинированная конструкция позволяет наиболее эффективно распределить снег в зоне своего влияния. За счет наличия низкорослого кустарника в крайнем верхнем ряду она способствовала большому накоплению снега в лесополосе. Скорость метели при подходе к лесополосе плотной конструкции начинает снижаться на расстоянии 3Н, что способствует

увеличению осадения снежных частиц в зоне верхнего шлейфа. С заветренной стороны скорость также снижается, но дополнительно образуются завихрения ветровых потоков, огибающие лесополосу сверху, приводя к усиленному турбулентному перемешиванию частиц и образованию в зоне нижнего шлейфа больших сугробов. Обладая такими аэродинамическими свойствами, лесонасаждение теряет дополнительный запас влаги в виде снега (табл. 2).

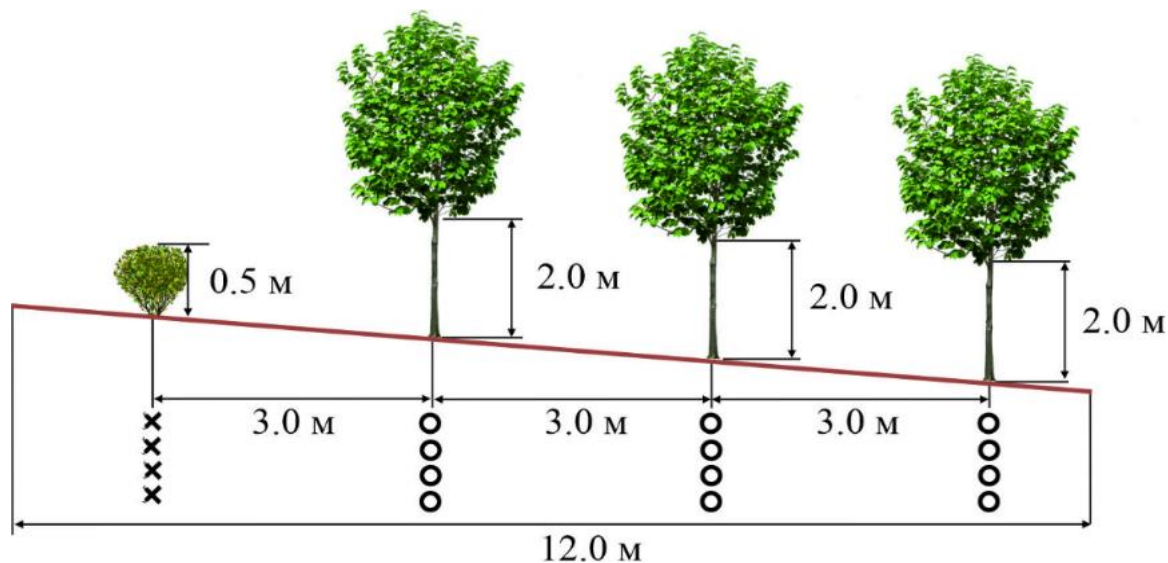


Рис. 1. Общая схема создания лесополос комбинированной конструкции.

Таблица 1. Средняя высота снега в поле/насаждении под влиянием лесополос различных конструкций перед снеготаянием, см.

Конструкция	Год исследования				
	2016	2017	2018	2019	2020
г. Волгоград					
Комбинированная	$\frac{14}{20}$	$\frac{11}{42}$	$\frac{24}{22}$	$\frac{12}{14}$	$\frac{14}{16}$
Продуваемая	$\frac{13}{11}$	$\frac{11}{17}$	$\frac{15}{25}$	$\frac{13}{11}$	$\frac{13}{13}$
Клетский р-н, Волгоградская обл.					
Комбинированная	$\frac{5}{18}$	$\frac{16}{73}$	$\frac{10}{32}$	$\frac{12}{54}$	$\frac{17}{27}$
Продуваемая	$\frac{3}{13}$	$\frac{13}{23}$	$\frac{11}{21}$	$\frac{11}{21}$	$\frac{14}{21}$
Плотная	$\frac{4}{19}$	$\frac{12}{29}$	$\frac{11}{25}$	$\frac{12}{43}$	$\frac{16}{25}$

Продуваемая лесополоса благодаря своей конструкции способствует разделению метелевого потока на две части: верхняя обтекает лесонасаждение сверху; нижняя проходит между стволами деревьев, приводя к выдуванию снега из лесной полосы и отложению его в зону нижнего шлейфа. Скорость метелевого потока по направлению к лесополосе постепенно снижается, как и осадение снега. Зона наветренного влияния составляет 2Н. При этом отмечается потеря снеготаяния по всему пространству. Для условий сухой степи подобная конструкция неэффективна и ее применение в агролесоландшафтах нецелесообразно. Наибольшим снегонакопительным эффектом обладает лесополоса комбинированной конструкции. С наветренной стороны зона влияния составляет 5Н. В этой зоне, благодаря наличию в первом ряду низкорослого кустарника, происходит накопление снега.

Лесополоса комбинированной конструкции показывает стабильные результаты, характер

снегоотложения под ее влиянием подчинен определенным закономерностям, согласно которым возможно построить модель распределения снега в агроландшафте. Для наиболее адекватного ее описания выделены четыре основные зоны влияния (рис. 2), и для каждой из них установлена взаимосвязь величины снегонакопления и удаленности от лесополосы. При обобщении полученных ранее данных установлено, что лесополоса такой конструкции обеспечивает дополнительную среднегодовую прибавку влаги в виде снеготопивых запасов в поле 4 мм, в зоне верхнего шлейфа – 12 мм, в самой лесополосе – до 40 мм. В зоне верхнего шлейфа изменения могут носить и отрицательный характер. Снегоотложение в этой зоне зависит от направления метельных ветров, при которых снег может как откладываться, так и выноситься в сторону насаждения.

Таблица 2. Статистические показатели снеготопивых запасов под влиянием лесополос различных конструкций, мм.

Место определения	Статистические показатели							
	max	min	mean	Q1	median	Q3	S	V
Плотная								
Поле	38	19	30	24	31	34	5.6	0.2
Верхний шлейф	148	43	74	48	59	78	35.1	0.5
Лесополоса	128	85	107	101	113	119	14.6	0.1
Нижний шлейф	235	31	121	53	99	196	74.9	0.6
Продуваемая								
Поле	43	17	27	23	26	31	6.6	0.2
Верхний шлейф	54	33	44	41	44	49	6.8	0.1
Лесополоса	61	44	52	47	51	57	6.2	0.1
Нижний шлейф	152	22	75	37	82	100	39.2	0.5
Комбинированная								
Поле	41	17	30	27	29	34	6.4	0.2
Верхний шлейф	116	41	79	65	79	98	23.7	0.3
Лесополоса	189	103	146	132	151	156	26.7	0.2
Нижний шлейф	106	29	77	57	89	94	24.4	0.3

Примечание: max и min – максимум и минимум; mean – среднее арифметическое; Q1 и Q3 – квантили, median – медиана; S – среднее квадратическое отклонение; V – коэффициент вариации.

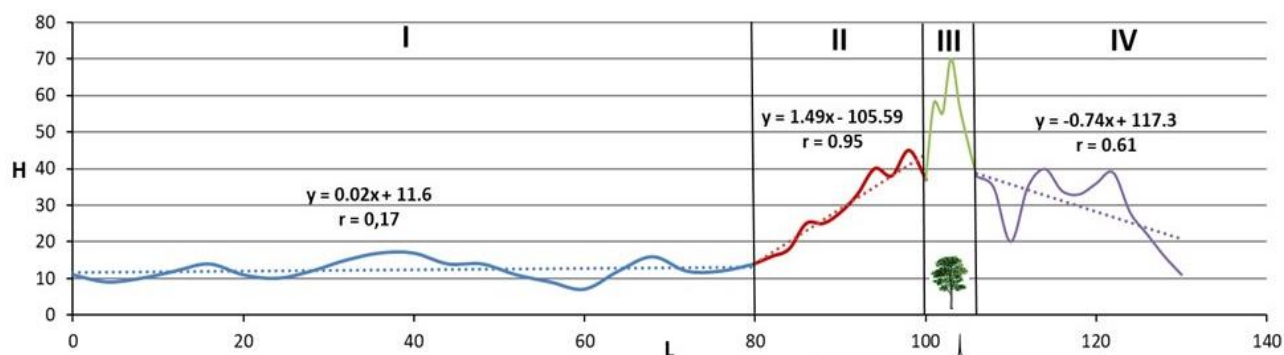


Рис. 2. Характер снеготопивых запасов под влиянием лесополосы комбинированной конструкции. Условные обозначения: Н – средняя высота снежного покрова, см; L – расстояние, м; зоны влияния лесополосы: I – полевая часть, II – верхний шлейф, III – лесополоса, IV – нижний шлейф.

Лесополосы оказывают влияние и на изменение влажности почвы, которая является очень изменчивой величиной, варьируясь в различных пределах. Для оценки эффективности лесополос комбинированной конструкции в накоплении влаги была определена разница значений влажности почв в период до выпадения первого снега (декабрь) до полного его схода на примере объекта, АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2023, том. 29, № 1(94)

расположенного в Клетском районе (табл. 3). При анализе данных установлено, что прибавка влаги в слое 0–50 см в поле в среднем за пять лет составила 52 мм, в самом насаждении 90 мм. Различия в накоплении почвенной влаги по сравнению с другими конструкциями достигает в поле 15–28 мм, в насаждении 27–30 мм. Не в каждый год комбинированная лесополоса имела лучшие показатели. Это объясняется большой изменчивостью показателя влажности и фильтрационной способности почв. Недостаток в накоплении влаги в почве комбинированная лесополоса компенсирует дополнительным снегонакоплением в зоне своего влияния. В периоды зимних оттепелей при снеготаянии талая вода стекает вниз по склону. При этом она не теряется, а аккумулируется в лесополосе, где поглощается снежным покровом и сохраняется до весны.

Таблица 3. Изменение запаса влаги почв в слое 0–50 см за период от начала выпадения снежного покрова до его полного схода (декабрь–март) (%/мм).

Конструкция		Год исследования					В среднем за 5 лет
		2016	2017	2018	2019	2020	
Комбинированная	поле	+2.2 +16	0 0	+7.9 +56	+10.0 +71	+17.0 +119	+7.4 +52.4
	лесополоса	+4.5 +32	+16.0 +112	+12.6 +88	+13.0 +91	+17.9 +126	+12.8 +89.8
Продуваемая	поле	+0.6 +4	-9.0 -63	+7.6 +53	+9.1 +63	+18.3 +128	+5.3 +37.0
	лесополоса	+10.4 +73	+3.0 +21	+3.1 +22	+6.5 +46	+19.8 +139	+8.6 +60.2
Плотная	поле	+1.4 +10	-4.0 -28	-2.0 -14	+6.4 +45	+15.5 +108	+3.5 +24.2
	лесополоса	+8.6 +60	0 0	+15.8 +110	+2.5 +17	+17.8 +125	+8.9 +62.4

Примечание: в числителе – влажность почв, %; в знаменателе – в мм.

Лесополоса комбинированной конструкции влияет на глубину промерзания почвы через снеготложение. Снег обладает хорошими теплоизоляционными свойствами, поэтому, выпадая на талую почву, способствует сохранению тепла и препятствует глубокому ее промерзанию. В Волгоградской области зимы в последнее время отличаются малоснежностью и мягкостью, поэтому в 2016 и 2017 гг. отличий в глубине промерзания по конструкциям не наблюдалось. С 2018 по 2020 гг. прослеживается уменьшение промерзания почв под влиянием лесополосы комбинированной конструкции в поле до 10 см, в самом насаждении – до 15 см. По результатам исследований на территории Клетского р-на за последние пять лет комбинированная конструкция лесополосы способствовала снижению глубины промерзания в полевой части на 2–4 см, в зоне верхнего шлейфа до 4 см, в лесополосе до 9 см (рис. 3). В среднем наибольшее промерзание наблюдается в конце зимы в продуваемой лесополосе, где высота снега также существенно ниже. По своим показателям комбинированная лесная полоса близка к плотной. Уменьшение промерзания в поле и в лесополосе в период снеготаяния повышает впитывание в почву талых вод и снижает потери влаги, препятствуя формированию поверхностного стока.

Выводы

Комбинированная конструкция лесополос по сравнению с плотной и продуваемой обладает наилучшими мелиоративными свойствами. Она позволяет оптимизировать снеготложение в агролесоландшафте, обеспечивая накопление снега в поле и аккумулируя его в самом насаждении, что приводит к предотвращению глубокого промерзания почвы, повышению водопоглощения, уменьшению потерь на поверхностный сток, дополнительно обеспечивая влагой древесную растительность в засушливых условиях степной зоны.

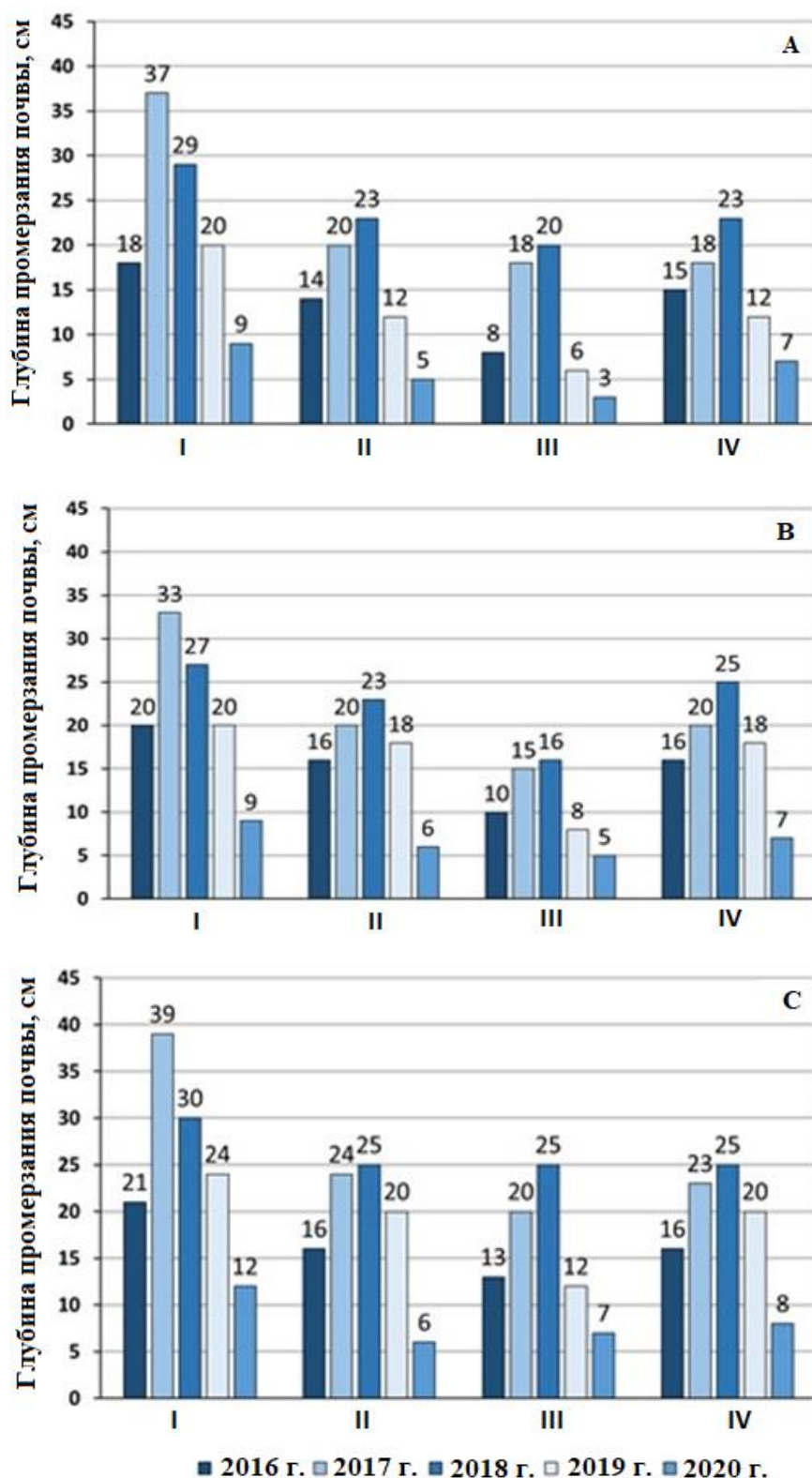


Рис. 3. Изменение глубины промерзания почвы под влиянием лесополос различных конструкций за последние пять лет (Клетский р-н, Волгоградская обл.). Условные обозначения: зоны влияния лесополос: I – поле; II – верхний шлейф; III – лесополоса; IV – нижний шлейф; конструкции лесных полос: А – плотная; В – продуваемая; С – комбинированная.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН № FNFE-2022-0012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барабанов А.Т.* 2017. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 188 с.
- Беляков А.М., Васильев Ю.И., Турко С.Ю.* 2019. Пыльные бури в Волгоградской области. Их проявление и борьба с ними // *Нива Поволжья*. № 2 (51). С. 2-8.
- Бодров В.А.* 1951. Лесная мелиорация. М. – Л.: Гослесбумиздат. 460 с.
- Васильев Ю.И.* Эффективность систем лесных полос в борьбе с дефляцией почв. Волгоград: ВНИАЛМИ. 2003. 176 с.
- Дюнин А.К.* 1963. Механика метелей: вопросы теории проектирования снегорегулирующих средств. Новосибирск: изд-во Сибирского отделения АН СССР. 380 с.
- Комиссаров М.А., Габбасова И.М.* 2014. Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в южном Предуралье // *Почвоведение*. № 6. С. 734-743.
- Лисенков А.Ф.* 1971. Лесные мелиорации. М.: Лесн. пром-сть. 160 с.
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменения климата. 2008. М.: Росгидромет. 228 с.
- Пугачёва А.М.* 2020. Климатические флуктуации сухих степей и их роль в процессе демутиации // *Аридные экосистемы*. Т. 26. № 3 (84). С. 14-22.
- Рихтер Г.Д.* 1953. Использование снега и снежного покрова в целях борьбы за высокий урожай // *Роль снежного покрова в земледелии*. М.: Изд-во АН СССР. С. 6-61.
- Рулев А.С., Беляков А.М., Сарычев А.Н.* 2016. Исследование проявления дефляции почв в условиях Волгоградской области // *Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. № 2 (42). С. 101-107.
- Способ регулирования снегоотложения для защиты почв от эрозии на склонах: пат. 2248116 Рос. Федерация. № 2003122810/12; заявл. 21.07.2003; опубл. 20.03.2005. Бюл. № 8. 3 с.
- Сурмач Г.П.* 1976. Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеиздат. 254 с.
- Iwata Yu., Hayashi M., Hirota T.* 2008. Comparison of snowmelt infiltration under different soil-freezing conditions influenced by snow cover // *Vadose Zone Journal*. № 7.P. 79-86.
- Iwata Yu., Yanai Yo., Yazaki T., Hirota T.* 2018. Effects of a snow-compaction treatment on soil freezing, snowmelt runoff and soil nitrate movement: A field-scale paired-plot experiment // *Journal of Hydrology*. № 567. P. 280-289.