DOI 10.21178/2079–6080.2020.3.33
УДК 630.265 (574)

Изменение скоростей ветрового потока в системе «защитная полоса – автодорога» в условиях Северного Казахстана

© И.А. Здорнов, З.Я. Нагимов, А.В. Капралов

Change of wind flow speed in the protective belt-road system in the conditions of North Kazakhstan

I.A. Zdornov, Z.Ya. Nagimov, A.V. Kapralov (Ural State Forest Engineering University)

The study results show the influence of roadside protective forest belts on the speed of the wind flow in the conditions of Northern Kazakhstan. The measurements of the wind flow speed took place on 15 trial plots over three periods of observations: leafless (winter), semi-foliated (spring) and foliated (summer) state of trees. On each trial plot, a profile located perpendicularly to the protective belt on both sides. The profile measurements were with access to the roadway, and in some cases crossing the highway. Measurements of wind speed at observation points (reclamation heights) located along the profile and at the control (open field) carried out synchronously using portable ATT-1002 anemometers. Measurement height for each point was equal to 0.5-1 m from the ground. The results of research were patterns of changes in wind flow velocities depending on seasons of the year in the “road-protective belt(s)” system. All examined belts perform their wind protection functions and have a significant impact on the wind mode in the “road-protective belt(s)” system, as well as territories adjacent to highway. This influence is closely dependent on the seasons of the year and reclamation-taxation characteristics of the studied stands. The range of wind-sheltering influence of forest strips reaches its greatest value in winds with approach angle as close as possible to 90° (heading perpendicularly to the belts). With change in the approach angle of the wind flow to the belts, their range of reclamation influence noticeably changes. With parallel arrangement of protective belts (on both sides of the road), a decrease in the average wind speed within the highway in winter period was from 57,0 to 96,5 %, in summer – from 59,0 to 75,0 %, in spring – from 31,0 to 86,0 %. With the decrease in the distance between protective belts and the road, the efficiency of reducing of the wind flow speed directly in the right-of-way of the highway road significantly rises.

Keywords: roadside protective forest strips, windproof function of forest strips, Northern Kazakhstan, wind conditions, distance of reclamation influence

Изменение скоростей ветрового потока в системе «защитная полоса —автодорога в условиях Северного Казахстана

И.А. Здорнов, З.Я. Нагимов, А.В. Капралов

Приведены результаты исследований по влиянию придорожных защитных лесных полос на скорость ветрового потока в условиях Северного Казахстана. Измерения скорости ветрового потока проводились на 15 пробных площадях в течение трех периодов наблюдений (зима, весна, лето) с учетом облиственности деревьев. На каждой пробной площади был заложен профиль, расположенный перпендикулярно к защитной полосе, по обе её стороны. Замеры по профилю проводились на высоте 0,5–1 м от земли с выходом на дорожное полотно, а в некоторых случаях и с пересечением автодороги. Определение скорости ветра на пунктах наблюдений, расположенных по профилю, и на контроле проводилось синхронно с помощью портативных анемометров АТТ-1002. В результате проведенных исследований выявлены закономерности изменения скоростей ветрового потока в зависимости от сезонов года в системе «автодорога—защитная полоса (полосы)». Все исследуемые полосы выполняют свои ветрозащитные функции и оказывают существенное влияние на ветровой режим не только в изучаемой системе, но и на прилегающих к автодорогам территориях. Эффективность полос находится в тесной зависимости от сезонов года и мелиоративно-таксационных характеристик исследуемых насаждений. Дальность ветрозащитного влияния достигает наибольшей величины при ветрах, угол подхода которых максимально приближен к 90°. С изменением угла подхода ветрового потока к полосам заметно меняется расстояние, на которое распространяется их мелиоративный эффект. При параллельном расположении защитных полос (по обе стороны автодороги), снижение средней скорости ветра в пределах защищаемого объекта в зимний период составило от 57,0 до 96,5 %, в летний — от 59,0 до 75,0 %, в весенний — от 31,0 до 86,0 %. С уменьшением расстояния между защитными полосами и автодорогой существенно повышается эффективность снижения скорости ветрового потока непосредственно в полосе отвода автомобильной дороги.

Ключевые слова: придорожные защитные лесные полосы, ветрозащитная функция лесных полос, ветровой режим, расстояние мелиоративного влияния, Северный Казахстан.

Здорнов Игорь Александрович — аспирант кафедры лесной таксации и лесоустройства

E-mail: Zdornov_Igor@mail.ru

Нагимов Зуфар Ягфарович — д-р с.-х. наук, директор института леса и природопользования, заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства, профессор

Капралов Анатолий Витальевич — канд. с.-х. наук, доцент кафедры экологии и природопользования

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет»

620100, Россия, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37

Телефон: (343) 254-65-06

Введение

Основная задача, которую призваны выполнять придорожные защитные лесные полосы в зимний период в условиях Северного Казахстана — защита автодорог и обочин от отложений на них снега, приносимого ветром с окружающей местности. Отмечается, что придорожные лесополосы могут выполнять двойную функцию — быть одновременно и полезными [8, 16]. Полезная функция прежде всего заключается в снижении скорости ветра и в существенном изменении микроклимата прилегающих территорий [2–4, 23]. Защитные полосы вдоль дорог со временем могут существенно снизить свои мелиоративные функции. Это в первую очередь связано с отсутствием на протяжении длительного времени лесоводственных уходов и мероприятий по реконструкции [7, 9, 21], которое приводит к формированию излишне загущенных насаждений плотной конструкции и вследствие этого — к изменению аэродинамических свойств ветрозащитных полос

[13, 25]. Известно, что изменение конструкции полос существенно влияет на их снего-распределительную функцию. В некоторых случаях это может привести к излишнему накоплению снежных масс внутри полос и к снеголому насаждений, вызывающему впоследствии ухудшение устойчивости [17] и санитарного состояния насаждений [12, 26].

Цель исследований — изучение закономерностей изменения скоростей ветрового потока в зависимости от сезонов года в системе «автодорога—защитная полоса (полосы)» в условиях Северного Казахстана

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на 15 пробных площадях (далее — ПП), заложенных в придорожных защитных лесных полосах на территории Кызылжарского и Мамлютского административных районов Северо-Казахстанской области (рис. 1). Эта территория относится к Северо-Казахстанскому лесомелиоративному району [5].

Рис. 1. Карта-схема расположения опытных участков

Конструкция полос в облественном состоянии определялась с учетом требований ГОСТ 26462-85 и данных таблицы Е.С. Павловского [20]. Насаждения различались по породному составу, конструкции и мелиоративно-таксационным характеристикам. Они представлены как чистыми по составу древесными, так и древесно-кустарниковым типом смешения (в опушечных рядах). Исследуемые лесные полосы состоят из следующих древесных пород: тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), берёза повислая (*Betula pendula* Roth), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), вяз обыкновенный (крупнолистный), (*Ulmus laevis* Pall.) и клён ясенелистный (*Acer negundo* L.).

Помимо определения традиционных таксационных показателей, на каждой ПП устанавливались количество рядов, расстояния между ними и шаг посадки.

В ходе полевых работ на каждой ПП был заложен профиль, проходивший перпендикулярно по отношению к защитной полосе по обе её стороны. На данном профиле при помощи мерной ленты определялись пункты для последующих замеров скорости ветра. Пункты соответствовали расстояниям, кратным мелиоративной высоте (Н) исследуемой полосы – 1Н, 2Н, 3Н ... 10Н. Согласно ГОСТ 26462-85 под мелиоративной (защитной) высотой понимается «высота лесной полосы, определяемая по средней высоте верхнего яруса крон лесного насаждения». На всех исследуемых пробных площадях замеры по профилю проводились с выходом на дорожное полотно, а в некоторых случаях и с пересечением автодороги. В соответствии с направлением ветра в конкретный период наблюдений, заветренная и наветренная стороны менялись, но пункты замеров скорости ветра всегда оставались неизменными (за исключением зимнего периода на ПП 10). Для изучения закономерностей изменения скорости ветрового потока в зависимости от его направления дополнительно определялся угол подхода ветрового потока к исследуемым полосам.

Замеры скорости ветра в пунктах (V_i), кратных мелиоративным высотам, и на контроле (V_k), расположенном в открытом поле, проводились синхронно с помощью портативных анемометров АТТ-1002 (диапазон скоростей воздушного потока 0,8–30 м/с; погрешность $\pm 0,04V + 0,2$). Высота замеров на каждом пункте равнялась 0,5–1 м от поверхности земли (снежного покрова в зимний период). Измерение параметров ветра осуществлялось по апробированной методике [3, 24], с учетом методических рекомендаций при выполнении измерений ручными анемометрами [18].

При математико-статистической обработке экспериментальных материалов, описании зависимостей между исследуемыми показателями использовались средства Microsoft Office Excel 2013 и программного пакета Statistica 10.

По полученным данным были построены графики изменения скоростей ветрового потока. Графические данные в дальнейшем выравнивались аналитически. Выбор наилучшего уравнения производился с учетом статистических показателей, в частности, коэффициента детерминации (R^2) [14]. В результате табулирования уравнений были получены данные, по которым построены графики, и табличные материалы, иллюстрирующие различие скоростей ветра на открытом поле (V_k) и i -м пункте наблюдений (V_i). Графики изменения скорости ветрового потока (V_i) были построены в % от его скорости в открытом поле (V_k). Известно, что ветрозащитная функция лесной полосы соблюдается в том случае, если эффективное снижение скорости ветра в зоне «ветровой тени» составляет более 10 %. Согласно ГОСТ 26462-85 под «ветровой тенью» понимается «расстояние от лесного насаждения с наветренной и заветренной сторон, в пределах которого наблюдается снижение скорости ветра».

На основе сравнения скорости ветра на контрольном участке и в зоне влияния лесных

полос определялась степень влияния последних на ветровой режим территории. Достоверность различий скоростей ветрового потока оценивалась при помощи *t*-критерия Стьюдента на 5 %-ном уровне значимости [6, 22].

В общей сложности на заложенных профилях было произведено 1254 измерения скорости ветрового потока в течение трех периодов наблюдений: в безлистном (зима), полуболиственном (весна) и облиственном (лето) состоянии деревьев.

Результаты и их обсуждение

Полученный нами экспериментальный материал позволяет оценить влияние полос различных конструкций на изменение скорости ветрового потока. На характер и степень этого изменения могут оказывать влияние различные факторы. В первую очередь ветровой режим вблизи лесной полосы будет зависеть от её мелиоративно-таксационных характеристик. Таксационные показатели древостоев исследуемых защитных полос представлены в таблице 1.

Таблица 1
Таксационные показатели древостоев исследуемых защитных полос

№ ПП	Порода	Возраст, лет	Средние	
			<i>d</i> , см	<i>h</i> , м
1	Берёза повислая	57	18,6±0,26	17,64±0,9
2	Тополь бальзамический	47	25,0±0,19	18,70±0,8
3	Сосна обыкновенная + ива ломкая	47	24,6±0,33	10,06±0,3
4	Тополь бальзамический + акация жёлтая	47	41,4±1,54	21,82±0,9
5	Клён ясенелистный	47	15,8±0,21	10,08±0,4
6	Тополь бальзамический + акация жёлтая	47	34,9±0,47	22,92±0,9
7	Тополь бальзамический	38	24,7±0,99	16,48±1,1
8	Тополь бальзамический	47	30,6±0,42	19,61±0,9
9	Берёза повислая + яблоня лесная	27	16,9±0,37	13,95±0,7
10	Берёза повислая + яблоня лесная	27	20,1±0,23	16,11±0,8
11	Вяз обыкновенный	47	12,0±0,73	6,49±0,4
12	Берёза повислая	57	18,0±0,28	15,64±1,0
13	Вяз обыкновенный + акация жёлтая	47	12,3±0,48	8,81±0,4
14	Вяз обыкновенный + акация жёлтая	47	11,2±0,54	8,32±0,6
15	Тополь бальзамический	47	39,0±1,43	23,77±1,1

Из приведенных данных видно, что защитные полосы из твердолиственных (клен ясенелистный и вяз обыкновенный) и хвойных (сосна обыкновенная) пород представлены средневозрастными древостоями. Известно, что в этом возрасте насаждения при отсутствии неблагоприятных факторов находятся в фазе активного роста и развития. Защитные полосы из берёзы повислой представлены приспевающими (ПП 1 и ПП 12) и средневозрастными (ПП 9 и ПП 10) насаждениями, а из

тополя бальзамического – спелыми (ПП 2, ПП 4, ПП 6, ПП 8 и ПП 15) и приспевающими (ПП 7).

Распределение исследуемых защитных полос по классам бонитета [19] представлено следующим образом: берёзовые насаждения на ПП 9 и ПП 10 характеризуются Iа классом бонитета, на ПП 1 – II и на ПП 12 – III; тополя на ПП 2, ПП 7 и ПП 8 представлены II и на ПП 4, ПП 6 и ПП 15 – I классами бонитета; вязовые насаждения на

ПП 11 соответствуют V, а на ПП 13 и ПП 14 – IV классу бонитета. Кленовая полоса характеризуется III классом бонитета.

Представление о конструктивных особенностях исследуемых полос можно получить из данных таблицы 2. Большая часть исследуемых придорожных полос имеет ажурную (ПП 1, ПП 6, ПП 7, ПП 8, ПП 12, ПП 15) конструкцию и её переходные формы (ПП 2, ПП 4, ПП 5, ПП 9, ПП 10, ПП 11). Полосы на ПП 13 и ПП 14 имеют плотную конструкцию.

Следует отметить, что в условиях Северного Казахстана на агроландшафтах защитные полосы ажурной и ажурно-продуваемой конструкций зарекомендовали себя, с точки зрения их мелиоративного влияния, наилучшим образом. В исследуемом мелиоративном районе максимальные объемы снегоотложений со стороны господствующих ветров составляют до 300 м³/м, а в отдельные годы – до 400 м³/м. Исследуемые нами полосы располагаются на удалении от 10 до 49,5 м от автодорог.

Таблица 2

Конструктивная характеристика исследуемых защитных полос
(в облиственном состоянии)

№ ПП	Конструкция	Количество рядов	Средние		Ширина полосы, м	Расстояние до автодороги, м
			Расстояние между рядами, м	Шаг посадки, м		
1	Ажурная	13	1,0	0,5(0,7) – 1,0	20,0	20,0
2	Ажурно-продуваемая	8	2,7–4,0	1,0–1,3	25,5	35,0
3	Редкая сверху (крупносетчатая) – плотная снизу	1	–	1,0–1,3	–	43,0
4	Ажурная сверху – плотная снизу	2	2,3	1,4	7,3	10,0
5	Ажурно-плотная	3	3,0	1,1–1,6	10,0	35,0
6	Ажурная	2	3,3	1,7–2,0	7,8	40,0
7	Ажурная	—*	–	–	16,5	38,0
8	Ажурная	1	–	1,0	–	37,0
9	Ажурно-плотная	—*	–	–	21,5	47,5
10	Ажурно-плотная	—*	–	–	20,5	33,0
11	Ажурно-продуваемая	5	3,0–4,0	1,25	17,0	49,5
12	Ажурная	13	1,0	0,5(0,7) – 1,0	19,5	24,0
13	Плотная	3	2,8–3,4	1,0	10,3	26,5
14	Плотная	4	2,8	1,0	13,7	27,0
15	Ажурная	2	3,2	1,9	7,7	41,0

Примечание. * – ряды не просматриваются. Ширина полос приведена с учетом закраек.

Для равнинного Казахстана, по данным А.С. Утешева [15], наблюдается закономерное, последовательное уменьшение скоростей ветра с севера на юг. Общий характер этого уменьшения обуславливается своеобразием сезонных барико-

циркуляционных условий в сочетании с орографическими особенностями местности [15].

В таблице 3 приведена средняя годовая повторяемость скоростей ветра для Северного Казахстана (по А.С. Утешеву).

Таблица 3

Средняя годовая повторяемость скоростей ветра
по данным срочных наблюдений для Северного Казахстана

Значения скорости ветра, м/с	0–1	2–5	6–10	11–15	>15
Количество дней, %	13–23	40–54	22–31	3–9	2–4

Как видим, преобладают скорости ветра двух градаций: 2–5 и 6–10 м/с. Они определяют среднюю годовую повторяемость скоростей ветра для данного региона. Общая тенденция изменения ветрового режима Северо-Казахстанской области следующая: в апреле ветер усиливается, к лету ослабевает и в июле достигает минимальной скорости, далее, к осени ветер усиливается [1].

В таблице 4 приведена информация об

определении скорости ветрового потока на контрольных для ПП участках в разные времена года. Выявляется, что в исследуемом районе на открытых пространствах скорость ветра изменяется от 3 до 8 м/с. Она в весенний и зимний периоды заметно выше, чем в летний. Таким образом, изменение ветрового режима в исследуемом районе соответствует общей тенденции, свойственной для Северного Казахстана.

Таблица 4

Скорость ветрового потока на контрольных участках (открытое поле)

Номера пробных площадей, на которых проводились замеры	Период наблюдений	Средняя скорость ветрового потока (V_k) в момент измерений, м/с
1, 2, 3, 4, 5, 12, 13, 14	Весна	6
6, 7, 8, 9, 10, 11, 15		7
1, 3, 4, 5, 12, 13, 14	Лето	3
2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15		5
1, 3, 4, 5, 12, 13, 14	Зима	4
2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15		8

Анализ данных ветрового режима в 2017 и 2018 годах по Мамлютскому и Кызылжарскому районам Северо-Казахстанской области показал, что преобладающими являются ветры западных (З) и юго-западных (ЮЗ) румбов. В процентном соотношении их повторяемость составляет более 22 %. Среднегодовая роза ветров (по данным www.gismeteo.kz) приведена на рисунке 2.

Для удобства сопоставления полученных результатов по влиянию лесных полос на скорость ветрового потока все придорожные защитные полосы были разделены на две категории: к первой отнесены одиночно расположенные полосы, они рассматривались как система «автодорога–защитная полоса», а ко второй – полосы, параллельно расположенные по обе стороны автодороги, они рассматрива-

лись как система «автодорога–защитные полосы». Результаты исследований по влиянию придорожных полос на изменение скорости ветрового потока в системе «автодорога–защитная полоса» представлены в таблице 5.

Рис. 2. Среднегодовая роза ветров по исследуемым районам, %

Таблица 5
Влияние придорожных полос на изменение скорости ветрового потока в системе «автодорога—защитная полоса»

№ ПП	Период исследо- ваний	Направление ветра		Скорость ве- трового пото- ка (V_k), м/с	Стандартное от- клонение скоро- сти ветрового по- тока (V_k), м/с	Мелиоративное влияние, Н		t -критерий Стьюдента $t_{0,05}$	Снижение скоро- сти ветра в зоне «ветровой тени», %
		Румб	По отношению к полосе, градус			навстр.*	заветр.**		
2	Весна	3 →	7°	6	0,05	10/5	2/2a	4,06	2,09
	Лето	3 →	7°	5	0,62	2/2a	10/10	6,54	2,06
	Зима	Ю-3 ↗	52°	8	0,05	2/2a	10/10	13,74	2,06
4	Весна	3 →	20°	6	0,37	6/6	4/4a	10,72	2,09
	Лето	Ю-3 ↗	25°	3	1,23	4/4a	6/6	2,84	2,09
	Зима	Ю-3 ↗	25°	4	0,36	4/4a	6/6	14,18	2,09
6	Весна	3 →	90°	7	0,78	4/1	3/3a	3,90	2,14
	Лето	3 →	90°	5	0,49	4/4	3/3a	6,02	2,14
	Зима	Ю-3 ↗	45°	8	0,26	4/4	3/3a	13,88	2,14
8	Весна	3 →	90°	7	0,56	10/10	4/4a	8,34	2,05
	Лето	3 →	90°	5	0,60	10/10	4/4a	6,30	2,05
	Зима	Ю-3 ↗	45°	8	0,36	10/10	4/4a	6,55	2,05
9	Весна	3 →	85°	7	0,28	10/10	4/4a	6,11	2,05
	Лето	3 →	85°	5	0,29	10/7	4/4a	6,60	2,06
	Зима	Ю-3 ↗	40°	8	0,55	10/10	4/4a	8,56	2,05
10	Весна	3 →	85°	7	0,42	3/3a	10/7	8,12	2,07
	Лето	3 →	85°	5	0,81	3/2a	10/10	14,97	2,06
	Зима	Ю-3 ↗	40°	8	0,38	10/7a	3/3	4,74	2,09
11	Весна	3 →	45°	7	0,18	10/8a	10/10	16,41	2,02
	Лето	3 →	45°	5	0,74	10/10a	10/10	17,89	2,02
	Зима	Ю-3 ↗	0°	8	0,28	10/10a	10/10	26,5	2,02
13	Весна	3 →	80°	6	0,20	4/4a	10/10	14,55	2,05
	Лето	Ю-3 ↗	35°	3	0,31	4/4a	10/9	6,46	2,05
	Зима	Ю-3 ↗	35°	4	0,29	4/2a	10/10	8,72	2,06
14	Весна	3 →	80°	6	0,67	6/6a	10/10	14,05	2,04
	Лето	Ю-3 ↗	50°	3	0,18	6/4a	10/9	7,85	2,05
	Зима	Ю-3 ↗	50°	4	0,11	6/6a	10/10	24,88	2,04

Примечания. * — навстречная сторона, ** — заветренная сторона. Мелиоративное влияние: в числителе — пределы измерений (в высотах насаждений, Н), в знаменателе — фактическое влияние полос на снижение скорости ветрового потока (Н); литер «а» — обозначение замеров в сторону автодороги.

Помимо рассматриваемых категорий, одиночные полосы были распределены по конструкциям. К ажурным были отнесены ПП 6 и ПП 8; к плотным – ПП 13 и ПП 14; к ажурно-плотным – ПП 4, ПП 9 и ПП 10; к ажурно-продуваемым – ПП 2 и ПП 11.

У полос ажурной конструкции дальность мелиоративного влияния наблюдалась в рассматриваемых пределах от 4 до 10Н с наветренной стороны (поле) и от 3 до 4Н – с заветренной (табл. 5). Отмечается, что с заветренной стороны было ограничение по дальности замеров по пунктам наблюдений. Снижение скорости ветра в зоне эффективной «ветровой тени» в среднем составило у рассматриваемых полос в зимний период от 27,9 до 64,3 %, в летний период – от 43,3 до 67,6 %, в весенний период – от 28,9 до 32,9 %.

Защитные полосы плотной конструкции снижают скорость ветрового потока в рассматриваемых пределах на удалении от 2 до 4Н с наветренной стороны и до 10Н с заветренной стороны. Отличительной особенностью полос данной конструкции являлось то, что сразу за полосами наблюдалась зона выраженного затишья – (от 1 до 3Н с заветренной стороны). Данный эффект, видимо, объясняется тем, что вследствие большого давления ветрового потока с наветренной стороны на полосы, он вынужден обтекать их. В зимний период наблюдений, из-за повышения продуваемости полос, с наветренной опушки наблюдалось более плавное снижение скорости ветра при его подходе к полосам, а с заветренной – более плавное его повышение по мере удаления от полос. Снижение скорости ветра в зоне эффективной «ветровой тени» в среднем составило у рассматриваемых полос в зимний период от 48,9 до 78,5 %, в летний период – от 56,9 до 64,1 %, в весенний период – от 43,4 до 71,0 %.

Придорожные полосы ажурно-плотной конструкции снижают скорость ветрового потока в рассматриваемых пределах на удалении от 6 до 10Н с наветренной стороны и от 3 до 4Н – с заветренной стороны. Снижение скорости ветра в зоне эффективной «ветровой

тени» в среднем составило у рассматриваемых полос в зимний период от 36,2 до 71,7 %, в летний период – от 26,2 до 69,5 %, в весенний период – от 39,2 до 54,5 %.

Полосы ажурно-продуваемой конструкции снижают скорость ветрового потока в рассматриваемых пределах на удалении от 2 до 10Н с заветренной стороны и от 2 до 10Н – с наветренной. Снижение скорости ветра в зоне эффективной «ветровой тени» в среднем составило у рассматриваемых полос в зимний период – от 63,0 до 72,6 %; в летний период – от 63,5 до 67,2 %; в весенний период – от 38,5 до 45,1 %.

По преодолении ветровым потоком рассматриваемого расстояния (в связи с ограничениями по пунктам наблюдений) на всех участках исследования и по всем периодам наблюдений, его скорость под действием защитных полос могла продолжать меняться.

Более подробно воздействие на скорость ветрового потока показано на примере полосы ажурно-плотной конструкции из березы повислой (рис. 3).

Полученные данные свидетельствуют, что эффективное снижение скорости ветрового потока в рассматриваемых пределах от насаждения с пересечением автодороги (на удалении до 4Н) и от насаждения в сторону открытого поля (на удалении до 10Н) у полосы данной конструкции наблюдается:

- в весенний период – 10Н с наветренной, и 4Н с заветренной;
- в летний период – 7Н с наветренной и 4Н с заветренной;
- в зимний период – 10Н с наветренной и 4Н с заветренной стороны.

Более существенное влияние данная полоса оказывает в зимний период на расстоянии, равном 10Н с наветренной стороны. Ветровой поток на удалении 3Н с наветренной стороны начинает плавно снижать свою скорость и, преодолев полосу, его скорость на заветренной стороне в среднем была снижена в 1,8 раза по сравнению с зоной мелиоративного влияния на наветренной стороне.

Рис. 3. Изменение скорости ветра под влиянием берёзовой полосы ажурно-плотной конструкции (ПП 9)

Практически идентично зимнему периоду рассматриваемая полоса влияет на ветровой поток с заветренной стороны (в полосе отвода автодороги) в весенний период, разница наблюдается лишь под влиянием полосы с наветренной стороны с расстояния, равного 1Н в сторону поля.

Проходя через полосу в летний период, ветровой поток с наветренной стороны резко начинает снижать свою скорость на удалении 9Н. Далее на подходе к полосе, на удалении, равном 4Н, скорость ветрового потока изменяется практически идентично летнему и весеннему периодам.

Снижение скорости ветра в зоне эффективной «ветровой тени» в среднем составило у рассматриваемой полосы в зимний период 53,3 %, в летний период — 54,0 %, в весенний период — 39,2 %.

Отмечается, что по всем периодам наблюдений на заветренной стороне скорость ветрового потока на удалении 4Н от полосы практически совпадала и была снижена в среднем на 90 % от скорости ветра на контро-

ле. Наблюдения показали, что даже с изменением угла подхода ветра к полосе в зимний период, данная конструкция успешно выполняла ветроослабляющую функцию.

При расположении защитных лесных полос по обе стороны от автодороги можно условно рассматривать это как систему — «автодорога—защитные полосы». Главным преимуществом параллельного расположения защитных полос по обе стороны автодороги является то, что они способны эффективно снижать скорость ветра в пределах дороги, независимо от частой смены направления господствующих ветров. При системе «автодорога—защитные полосы» увеличивается также дальность защитного действия каждой из них. Изменение скорости ветрового потока в зависимости от периода исследований на примере системы «автодорога—защитные полосы» графически представлено на рисунке 4. В сторону автодороги, расположенной между защитными полосами, был проведен замер скорости ветрового потока от каждой полосы, кратно её высоте (Н).

слева – ПП 12; справа – ПП 1; наветренная сторона в зимний и летний периоды – справа от ПП 1

Рис. 4. Изменение скорости ветра в системе «автодорога–защитные полосы» под влиянием 13-рядных берёзовых полос ажурной конструкции, при направлении ветра к полосам: весна – 30° , лето – ЮЗ 45° , зима – ЮЗ 45° .

Как видим, эффективное снижение скорости ветра в системе полос (более 10 %) в рассматриваемых пределах по профилю от 10Н со стороны открытого поля, с пересечением автодороги, и от противоположной полосы в сторону открытого поля (на удалении до 10Н) наблюдается на следующих расстояниях:

- в весенний период – 10Н с наветренной, и 6Н с заветренной стороны;
- в летний период – 5Н с наветренной и 9Н с заветренной стороны;
- в зимний период – 10Н с наветренной и 10Н с заветренной стороны.

Более существенное влияние данные полосы оказывают в зимний период на расстоянии, равном 10Н, как с наветренной, так и с заветренной стороны. Скорость ветрового потока при подходе к защитной полосе (ПП 1) на удалении, равном 10Н с наветренной стороны, была существенно снижена. По графику видно, что с приближением к наветренной опушке ветер, с расстояния, равного

6Н, стал плавно снижать свою скорость и за полосой, в пределах автодороги она была минимальной. Далее ветровой поток начал увеличивать скорость на заветренной опушке противоположной полосы (ПП 12) начиная с расстояния, равного 1Н.

Влияние рассматриваемой системы полос на скорость ветрового потока в летний период характеризуется снижением скорости ветра с наветренной стороны (ПП 1) на удалении, равном 5Н, с заветренной стороны противоположной полосы (ПП 12) – 9Н. При подходе ветра к полосе с наветренной стороны отмечается более резкое снижение скорости ветрового потока, а после преодоления им системы полос наблюдается плавное повышение его скорости на заветренной стороне.

Влияние на скорость ветрового потока системы полос весной заметно отличается от зимнего периода. Зависит это в первую очередь от угла подхода ветра к полосам. В данном случае ветровой поток направлен

параллельно рассматриваемой системе, тем не менее по полученным результатам видно, что при приближении к системе полос его скорость начинает снижаться, и в пределах автодороги она уменьшилась более чем на 80 %.

Снижение скорости ветра в пределах автодороги в среднем составило у рассматриваемой системы полос в зимний период 96,5 %; в

летний период – 75,0 %; в весенний период – 86,0 %.

Достоверность различий в скоростях ветрового потока в открытом поле (V_k) и под влиянием защитной полосы на соответствующих высотах (V_l) подтверждается с вероятностью 95 %.

Вычисленные значения t -критерия Стьюдента по периодам наблюдений:

ПП 1 – (весна: $t_{\text{факт.}} = 6,99 > t_{0,05} = 2,07$; лето: $t_{\text{факт.}} = 3,26 > t_{0,05} = 2,07$; зима: $t_{\text{факт.}} = 18,10 > t_{0,05} = 2,07$);

ПП 12 – (весна: $t_{\text{факт.}} = 5,44 > t_{0,05} = 2,10$; лето: $t_{\text{факт.}} = 8,33 > t_{0,05} = 2,07$; зима: $t_{\text{факт.}} = 18,64 > t_{0,05} = 2,07$).

В целом полученные результаты по изменению скоростей ветра соответствуют классическим представлениям о «работе» лесных полос определенных конструкций и подтверждаются ранее проведенными исследованиями [10, 11], но характер этих изменений имеет свои особенности в зависимости от ветрового режима территории, ширины полос, количества просветов в продольном профиле, угла подхода ветрового потока к полосам и др.

Снижение скорости ветрового потока в зоне мелиоративного влияния придорожных полос позволяет сделать заключение о том, что в зависимости от сезонов наблюдений полосы, имея визуально одинаковую конструкцию, по-разному влияют на снижение скорости ветра в полосе отвода автодороги и на прилегающих территориях.

Выводы

1. Все рассматриваемые придорожные полосы эффективно снижают скорость ветрового потока в пределах полосы отвода автодороги и в рассматриваемых пределах на прилегающих территориях.

2. Параметры снижения находятся в зависимости от сезонов года и мелиоративно-таксационных характеристик исследуемых насаждений.

3. Дальность ветрозащитного влияния лесных полос достигает наибольшей величины при ветрах, угол подхода которых максимально приближен к 90° (направлен перпендикулярно к полосам). С изменением угла подхода ветрового потока заметно меняется ветрозащитная функция полос.

4. Влияние на ветровой поток системы «автодорога–защитные полосы» в пределах автодороги значительно выше, чем одиночных полос (система «автодорога–защитная полоса»).

5. С уменьшением расстояния между защитными полосами, расположенными в системе, и автодорогой наблюдается более эффективное снижение скорости ветрового потока непосредственно в полосе отвода автомобильной дороги.

6. Полосы ажурной и ажурно-продуваемой конструкции лучше снижают скорость ветрового потока в зимний период, по сравнению с другими сезонами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агроклиматические ресурсы Северо-Казахстанской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова. – Астана, 2017. – 125 с.
2. Агроресомелиорация и плодородие почв / Е.С. Павловский, Ю.И. Васильев, К.И. Зайченко, И.Г. Зыков, Н.С. Зюзь; под ред. Е.С. Павловского. – М.: Агропромиздат, 1991. – 288 с.

3. Адрианов, С.Н. Агрометеорологические свойства ветроломных лесных полос в Северо-Восточном Казахстане и степных районах Западной Сибири / С.Н. Адрианов // Труды КазНИИЛХа. – 1970. – Т. VII. – С. 129–139.
4. Бозриков, В.В. Полезащитные лесные полосы – важнейшее звено в системе земледелия Северного и Западного Казахстана / В.В. Бозриков // Труды КазНИИЛХа. – 1970. – Т. VII. – С. 93–100.
5. Бозриков, В.В. Лесомелиоративное районирование лесостепной, степной и полупустынной зон Казахстана / В.В. Бозриков, Б.М. Муканов. – Алматы: РНИ «Бастау», НАЦАИ РК, 1997. – 200 с.
6. Вадзинский, Р.Н. Статистические вычисления в среде Excel / Р.Н. Вадзинский. – СПб.: Питер, 2008. – 602 с.
7. Вислогузов, Ф.С. Первые итоги работы по реконструкции полезащитных лесных полос / Ф.С. Вислогузов // Труды КазНИИЛХа. – 1970. – Т. VII. – С. 148–156.
8. Воробьев, Г.И. Эффективность защитного лесоразведения / Г.И. Воробьев. – М.: Изд-во «Лесная промышленность», 1977. – 320 с.
9. Дарховский, Л.Ш. Совершенствование лесохозяйственных мероприятий в защитных лесных полосах вдоль автомобильных дорог Центральной части зоны хвойно-широколиственных лесов: дис. ... канд. с.-х. наук / Л.Ш. Дарховский. – Екатеринбург, 1992. – 196 с.
10. Здорнов, И.А. Оценка влияния на скорость ветрового потока придорожных защитных лесных полос в условиях Северного Казахстана / И.А. Здорнов, К.Ф. Ижова, А.В. Капралов // Молодой ученый. – 2016. – № 1. – С. 267–271.
11. Здорнов, И.А. Сезонная динамика изменения скоростей ветра в пределах автодороги под влиянием системы защитных лесных полос / И.А. Здорнов // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики: матер. XI Междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. – 2017. – С. 199–203.
12. Здорнов, И.А. Санитарное состояние придорожных защитных лесных полос в условиях Северного Казахстана / И.А. Здорнов, З.Я. Нагимов, А.В. Капралов // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 3. – С. 44–51.
13. Иващенко, Н.Н. Влияние лесных полос различных конструкций на ветровой поток и снегораспределение / Н.Н. Иващенко // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3 (14). – С. 16–19.
14. Исаев, А.А. Статистика в метеорологии и климатологии / А.А. Исаев. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 244 с.
15. Климат Казахстана. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 368 с.
16. Кружилин, С.Н. Региональные особенности создания защитных лесонасаждений вдоль автомобильных дорог / С.Н. Кружилин, Т.Ю. Баранова, М.П. Мишенина, М.А. Зайцева // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. – 2018. – Т. 8. – № 2. – С. 22–32.
17. Манаенков, А.С. Повышение долговечности полезащитных лесных полос на юге Западной Сибири / А.С. Манаенков, Л.И. Абакумова, П.М. Подгаецкая // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 2 (34). – С. 41–47.
18. Морозов, А.Е. Метеорология и климатология: практикум / А.Е. Морозов, Н.И. Стародубцева. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2006. – 101 с.
19. Нормативы для таксации лесов Казахстана. – Алматы: КазНИИЛХа, 2016. – Ч. 1. – 301 с.
20. Основы агролесомелиорации: учебное пособие / Е.Г. Парамонов, А.П. Симоненко. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2007. – 224 с.
21. Рекомендации по технологии выращивания полезащитных лесных полос на землях сельскохозяйственных предприятий Северного и Западного Казахстана. – Алма-Ата: КазНИИЛХа, 1992. – 48 с.

22. Статистические методы обработки экологической информации: методические указания для выполнения практических работ / сост.: А.С. Новосёлов, Т.К. Карандашева. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – 44 с.
23. Танюкевич, В.В. Мелиоративная эффективность и фитомасса лесных полос в условиях степных агролесоландшафтов / В.В. Танюкевич // Научный журнал КубГАУ. – 2011. – № 74 (10). – С. 720–736.
24. Танюкевич, В.В. Надземная фитомасса лесных полос, их влияние на ветровой режим и влагонакопление агроландшафтов / В.В. Танюкевич // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 91 (07). – С. 986–1003.
25. Турко, С.Ю. Использование лесонасаждений для повышения эффективности ветроэнергетических установок / С.Ю. Турко, В.И. Петров, Ю.И. Васильев. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2011. – 162 с.
26. Шишкин, А.М. Обследование и оценка состояния агролесомелиоративных насаждений в Северном и Западном Казахстане / А.М. Шишкин, И.С. Кочегаров // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири: матер. VII междунар. научной интернет-конференции. – Томск: – 2015. – С. 148–153.

REFERENCES

1. Agroklimaticheskie resursy Severo-Kazakhstanskoy oblasti, nauchno-prikladnoy spravochnik. Astana, 2017, 125 p. (In Russian)
2. Agrolesomeliatsiya i plodorodie pochv. Edit. E.S. Pavlovskiy, Moskow, 1991, 288 p. (In Russian)
3. Adrianov S.N. Agrometeorologicheskie svoystva vetrolomnykh lesnykh polos v Severo-Vostochnom Kazakhstane i stepnykh rayonakh Zapadnoy Sibiri. *Trudy KazNIILKha*, 1970, v. VII, pp. 129–139. (In Russian)
4. Bozrikov V.V. Polezashchitnye lesnye polosy – vazhneyshee zveno v sisteme zemledeliya Severnogo i Zapadnogo Kazakhstana. *Trudy KazNIILKha*, 1970, v. VII, pp. 93–100. (In Russian)
5. Bozrikov V.V., Mukanov B.M. Lesomeliativnoe rayonirovanie lesostepnoy, stepnoy i polupustynnoy zon Kazakhstana. Almaty, 1997, 200 p. (In Russian)
6. Vazinskiy R.N. Statisticheskie vychisleniya v srede Excel. Saint Petersburg, 2008, 602 p. (In Russian)
7. Visloguzov F.S. Pervye itogi raboty po rekonstruktsii polezashchitnykh lesnykh polos. *Trudy KazNIILKha*, 1970, v. VII, pp. 148–156. (In Russian)
8. Vorob'ev G.I. Effektivnost' zashchitnogo lesorazvedeniya. Moskow, 1977, 320 p. (In Russian)
9. Darkhovskiy L.Sh. Sovershenstvovanie lesokhozyaystvennykh meropriyatiy v zashchitnykh lesnykh polosakh vdol' avtomobil'nykh dorog Tsentral'noy chasti zony khvoyno-shirokolistvennykh lesov, PhD thesis, Ekaterinburg, 1992, 196 p. (In Russian)
10. Zdornov I.A., Izhova K.F., Kapralov A.V. Otsenka vliyaniya na skorost' vetrovogo potoka pridorozhnykh zashchitnykh lesnykh polos v usloviyakh Severnogo Kazakhstana. *Molodoy uchenyy*, 2016, no. 1, pp. 267–271. (In Russian)
11. Zdornov I.A. Sezonnaya dinamika izmeneniya skorostey vetra v predelakh avtodorogi pod vliyaniem sistemy zashchitnykh lesnykh polos. *Lesnaya nauka v realizatsii kontseptsii ural'skoy inzhenernoy shkoly: sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo sektora ekonomiki, mater. XI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* Ekaterinburg, 2017, pp. 199–203. (In Russian)
12. Zdornov I.A., Nagimov Z.Ya., Kapralov A.V. Sanitarnoe sostoyanie pridorozhnykh zashchitnykh lesnykh polos v usloviyakh Severnogo Kazakhstana. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2018, no. 3, pp. 44–51. (In Russian)
13. Ivashchenko N.N. Vliyanie lesnykh razlichnykh konstruktsey na vetrovoy potok i snegoraspredelnie. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, no. 3 (14), pp. 16–19. (In Russian)

14. Isaev A.A. Statistika v meteorologii i klimatologii. Moscow, 1988, 244 p. (In Russian)
15. Klimat Kazakhstana. Leningrad, 1959, 368 p. (In Russian)
16. Kruzhilin S.N., Baranova T.Yu., Mishenina M.P., Zaytseva M.A. Regional'nye osobennosti sozdaniya zashchitnykh lesonasazhdeniy vdol' avtomobil'nykh dorog. *Nauka. Mysl'*, 2018, v. 8, no. 2, pp. 22–32. (In Russian)
17. Manaenkov A.S., Abakumova L.I., Podgaetskaya P.M. Povyshenie dolgovечnosti polezashchitnykh lesnykh polos na yuge Zapadnoy Sibiri. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa, Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2014, no. 2 (34), pp. 41–47. (In Russian)
18. Morozov A.E., Starodubtseva N.I. Meteorologiya i klimatologiya: praktikum. Ekaterinburg, 2006, 101 p. (In Russian)
19. Normativy dlya taksatsii lesov Kazakhstana. Almaty, 2016, part 1, 301 p. (In Russian)
20. Osnovy agrolesomelioratsii: uchebnoe posobie. Compilers E.G. Paramonov, A.P. Simonenko. Barnaul, 2007, 224 p. (In Russian)
21. Rekomendatsii po tekhnologii vyrashchivaniya polezashchitnykh lesnykh polos na zemlyakh sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy Severnogo i Zapadnogo Kazakhstana. Alma-Ata, 1992, 48 p. (In Russian)
22. Statisticheskie metody obrabotki ekologicheskoy informatsii: metodicheskie ukazaniya dlya vypolneniya prakticheskikh rabot. Compilers A.S. Novoselov, T.K. Karandasheva. Vologda, 2013, 44 p.
23. Tanyukevich V.V. Meliorativnaya effektivnost' i fitomassa lesnykh polos v usloviyakh stepnykh agrolesolandshaftov. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, 2011, no. 74 (10), pp. 720–736. (In Russian)
24. Tanyukevich V.V. Nadzemnaya fitomassa lesnykh polos, ikh vliyanie na vetrovoy rezhim i vlagonakoplenie agrolandshaftov. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, 2013, no. 91 (07), pp. 986–1003. (In Russian)
25. Turko S.Yu., Petrov V.I., Vasil'ev Yu.I.. Ispol'zovanie lesonasazhdeniy dlya povysheniya effektivnosti vetroenergeticheskikh ustanovok. Volgograd, 2011, 162 p. (In Russian)
26. Shishkin A.M., Kochegarov I.S. Obsledovanie i otsenka sostoyaniya agrolesomeliorativnykh nasazhdeniy v Severnom i Zapadnom Kazakhstane. *Lesnoe khozyaystvo i zelenoe stroitel'stvo v Zapadnoy Sibiri, mater. VII mezhdunar. nauchnoy internet-konferentsii*, Tomsk, 2015, pp. 148–153. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 6.05.2020