УДК 631.8:634.2(470.4)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ И УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ПАСТБИЩ В СТЕПИ ПОВОЛЖЬЯ

Проездов П.Н., Есков Д.В., Дормидонтова Н.В., Розанов А.В., Маштаков Д.А.

Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова,

Саратов, e-mail: dormidontovavenera@mail.ru

Целью исследования явилось установление закономерностей увеличения продуктивности эродированных пастбищ посредством использования защитных лесных насаждений и минеральных удобрений. Объект исследования расположен на склоне северной экспозиции крутизной 5° в степной зоне Приволжской возвышенности, создан для защиты почв от эрозии. Полевые наблюдения, обработка опытных данных проводились согласно методике ВНИАЛМИ (1985), Б.А. Доспехова (1985) с использованием типовых компьютерных программ MS Excel. В среднесухие 2018 и 2019 гг. влияние азотно-фосфорных удобрений на продуктивность трав уступает по значимости воздействию защитных лесных насаждений, что связано с дефицитом влаги в почве. Урожай трав пастбищ составил в среднем за 2018–2019 гг. 1,65 т/га, а с применением защитных насаждений и удобрений – 2,42 т/га, или больше на 46,7%. Обоим среднесухим годам исследования предшествовали многоснежные зимы с высотой снега более 70 см, что предопределило относительно высокую продуктивность трав пастбищ 1-го укоса. В среднесухие годы (ГТК = 0,35–0,40) наибольшая прибавка продуктивности трав формируется под влиянием лесных полос и кустарниковых кулис – до 69,0%, удобрений – до 11,9%. В годы с дефицитом влаги роль осадков в водопотреблении трав не превышала 10,8%. При совместном воздействии лесных полос, кустарниковых кулис и удобрений коэффициент водопотребления уменьшился на 33,3% по сравнению с открытыми ландшафтами. Для среднесухих вегетационных периодов водопотребление и продуктивность трав пастбищ на 83–97% связаны с лесомелиоративными и агрохимическими приемами. В результате проведенной работы определено, что на эродированных склонах крутизной 5° целесообразны применение лесных полос ажурной конструкции через 300 м, кустарниковых кулис через 50 м и применение азотных и фосфорных удобрений дозой по 60 кг/га.

Ключевые слова: Поволжье, степь, пастбище, урожайность, лесные насаждения, удобрения, регрессия

IMPACT PATTERNS OF PROTECTED FOREST PLANTATIONS AND FERTILIZERS ON PRODUCTIVITY OF PASTURES IN THE VOLGA STEPPE

Proezdov P.N., Eskov D.V., Dormidontova N.V., Rozanov A.V., Mashtakov D.A.

Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov,

e-mail: dormidontovavenera@mail.ru

The establishment of laws to increase the productivity of eroded pastures with protective forest plantations and mineral fertilizers was the goal of the study. The research object is located on the slope of the northern exposition with a slope of 5° in the steppe zone of the Volga Upland, created to protect soils from erosion. Field observations, processing of experimental data were carried out according to the methodology of VNIALMI (1985), B.A. Dospekhov (1985), standard computer programs MS Excel. In the middle ears of 2018 and 2019, the effect of nitrogen-phosphorus fertilizers on grass productivity is inferior to protective forest plantations, which is associated with moisture deficiency in the soil. The harvest of grasses of pastures averaged for 2018–2019. 1.65 t/ha, and with the use of protective plantations and fertilizers – 2.42 t/ha, or more by 46.7%. Both average ear years of the study were preceded by snowy winters with a snow height of more than 70 cm, which predetermined the relatively high productivity of grasses of pastures of the 1st bite. In the middle dry years (GTK = 0.35–0.40), the largest increase in grass productivity is formed under the influence of forest strips and bush crops up to 69.0%, fertilizers – up to 11.9%. In years with a lack of moisture, the role of precipitation in the water consumption of grasses did not exceed 10.8%. With the combined effects of forest strips, shrubs and fertilizers, the water consumption rate decreased by 33.3% compared to open landscapes. For the average dry growing season, the water consumption and productivity of pasture grasses are 83–97% associated with forestry and agrochemical techniques. On eroded slopes with a steepness of 5° , forest strips of openwork structure are offered through 300 m, shrub links through 50 m and the use of nitrogen and phosphorus fertilizers with a dose of 60 kg/ha.

Keywords: Volga region, steppe, pasture, yield, forest plantations, fertilizers, regression

Лесные насаждения – экологический каркас агроландшафтов, что является одним из ведущих положений концепции защитного лесоразведения [1]. Системы лесных полос благоприятно воздействуют на микроклиматические показатели прилегающих территорий, увеличивая влажность воздуха и снижая дефицит водного баланса с уси-

лением влияния в засушливые годы [1, 2]. Результат воздействия защитных насаждений – повышение продуктивности сельскохозяйственных угодий. Урожайность сельскохозяйственных культур севооборотов увеличивается под защитой лесных полос в зависимости от увлажнения вегетационного периода на 10–50%, причем с большим

Опыты проводились в соответствии с методиками ВНИАЛМИ [7] и Б.А. Доспехова [8]. Для дисперсионного и регрессион-

Рис. 1. Схема трехфакторного опыта с расположением делянок в ФХ «Вязовский»: где фактор А – дозы удобрений, кг/га: A_1 – без удобрений; A_2 – $N_{30}P_{30}$; A_3 – $N_{60}P_{60}$; фактор В – виды защитных лесных насаждений (ЗЛН): B_1 – без ЗЛН – пастбище (Пб) открытое; B_2 – Пб + кустарниковые кулисы (КК); B_3 – Пб + лесные полосы (ЛП); B_4 – Пб + ЛП + КК; фактор С – расстояние от ЛП в единицах Н: C_1 – 3Н (25 м); C_2 – 10Н (75 м); C_3 – 18Н (125 м).

Размер делянок 5x10 (50 м²). Повторность 3-кратная.

H – защитная высота ЛП ($H = 7$ м). 25, 75, 125 – расстояния от ЛП, м

но-корреляционного анализа использовали типовую компьютерную программу Statistica с построением поверхностей откликов.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные данные, приведенные в табл. 1, использованы для построения множественной регрессии, учитывающей воздействие на продуктивность расстояния Н от лесной полосы (ЛП), дозы удобрений U, степени защищенности угодий

защитными насаждениями $B_{л}$, а также степень их взаимного влияния:

$$Y = a_0 + a_1H + a_2U + a_3B_{л} + a_4HU + a_5HB_{л} + a_6UB_{л} + a_7HUB_{л}, \quad (1)$$

$$K = a_0 + a_1H + a_2U + a_3B_{л} + a_4HU + a_5HB_{л} + a_6UB_{л} + a_7HUB_{л}, \quad (2)$$

где Y – продуктивность трав пастбища, т/га; K – коэффициент водопотребления трав, м³/т; H – расстояние от лесной полосы (ЛП), измеряемое в единицах защитной высоты ЛП ($H = 7$ м); U – доза удобрений, кг/га; $B_{л}$ – степень защищенности угодий защитными насаждениями ($B_{л} = 0,1–0,8$); $a_0 – a_7$ – коэффициенты множественной регрессии.

Исследуемые 2018 и 2019 гг. – среднесухие (ГТК: 0,40 и 0,35 соответственно) с констатацией большего существенного влияния на продуктивность трав пастбищ 1-го укоса лесных полос и кустарниковых кулис по сравнению с удобрениями (табл. 1, 2, 3). Самая низкая продуктивность трав получена на вариантах без применения защитных насаждений и удобрений

по обоим годам исследования: в среднем за 2018–2019 гг. 1,65 т/га против 2,17 т/га (табл. 1). По данным табл. 2 можно проследить закономерность меньшего влияния удобрений в среднесухие 2018–2019 гг. без применения защитных лесных насаждений: в зависимости от дозы туков 7,6% и 10,7%. В среднем защитные насаждения увеличивают воздействие удобрений на продуктивность трав соответственно на 10,6% и 15,2% (табл. 2). С усилением засушливости вегетационного периода отрастания растений возрастает роль защитных лесных насаждений в формировании урожая трав по сравнению с удобрениями. Наибольшую прибавку продуктивности трав пастбищ в среднесухие годы обеспечивают защитные насаждения, причем максимально – при сочетании лесных полос и кустарниковых кулис до 69,0%, а в среднем за два года – на 50,8%. Доля участия удобрений при дефиците влаги вегетационного периода отрастания растений в формировании урожая не превышала 11,9% (табл. 3). Интегрирующим показателем использования влаги травами пастбищ является коэффициент водопотребления.

Таблица 1

Продуктивность (т/га) трав пастбищ под влиянием защитных лесных насаждений и удобрений в среднем (2018–2019 гг.)

Доза удобрений (фактор А), кг/га	Защитные лесные насаждения (ЗЛН) (фактор В)				ЗЛН в среднем за два года
	Без ЗЛН Вл = 0,1	Кустарниковые кулисы (КК) Вл = 0,4	Лесные полосы (ЛП) Вл = 0,6	ЛП + КК Вл = 0,8	
2018 г. Среднесухой; ГТК = 0,40; НСР ₀₅ = 0,05 т/га					
0	2,30	2,71	2,84	2,98	2,84
60	2,45	2,88	3,04	3,28	3,07
120	2,50	3,04	3,23	3,40	3,22
Среднее по дозе	2,48	2,96	3,14	3,34	3,15
2019 г. Сухой; ГТК = 0,35; НСР ₀₅ = 0,03 т/га					
0	0,99	1,33	1,50	1,60	1,48
60	1,08	1,48	1,70	1,84	1,68
120	1,12	1,53	1,74	1,89	1,72
Среднее по дозе	1,10	1,51	1,72	1,87	1,70
В среднем за 2018–2019 гг. НСР ₀₅ = 0,04 т/га					
0	1,65	2,02	2,17	2,29	2,16
60	1,77	2,18	2,37	2,56	2,37
120	1,81	2,29	2,49	2,65	2,48
Среднее по дозе	1,79	2,23	2,43	2,60	2,42

ЗН* – защитная высота лесной полосы (ЛП);

ЗН – 18Н – расстояние от ЛП, измеряемое в единицах Н (фактор С);

Р – вероятность превышения увлажнения вегетационного периода, %;

ГТК – гидротермический коэффициент.

В среднесухие годы водопотребление растений из-за дефицита осадков определяется преимущественно использованием влаги из почвы до 89,2 %, в том числе из слоя более активного (>0,8 м) – до 12,5 %. Необходимо отметить, что 2018 и 2019 гг. предшествовали очень многоснежные зимы с запасами воды в снегу до 240 мм, которые способствовали накоплению влаги в почве на начало отрастания трав до 93,5 % наименьшей влагоемкости. Коэффициент

водопотребления под влиянием защитных лесных насаждений снизился до 33,3 % (табл. 4).

Поверхности откликов для предложенных регрессионных моделей (1, 2) представляют собой сложные многомерные многообразия. Соответствующие поверхности на плоскости изобразить невозможно. Поэтому для отображения их основных особенностей построены отдельные трехмерные сечения (рис. 2, 3, 4).

Таблица 2

Влияние удобрений (%) в системе защитных лесных насаждений на продуктивность трав пастбищ (2018–2019 гг.)

Годы исследования	Доза удобрений (фактор А), кг/га	Защитные лесные насаждения (ЗЛН) (фактор В)				ЗЛН в среднем
		В среднем без ЗЛН	Кустарниковые кулисы (КК)	Лесные полосы (ЛП)	ЛП + КК	
2018 г. – среднесухой, Р = 80 %, ГТК = 0,40	60	6,8	6,5	7,2	10	7,9
	120	8,7	12,3	13,8	14,9	13,7
	среднее	7,8	9,4	10,5	12,4	10,8
2019 г. – сухой, Р = 85 %, ГТК = 0,35	60	8,4	11	13,8	15,4	13,4
	120	12,7	15,3	16,2	18,3	16,6
	среднее	10,6	13,1	15	16,9	15,0
В среднем за 2018–2019 гг.	60	7,6	8,8	10,5	12,7	10,7
	120	10,7	13,8	15	16,6	15,1
	среднее	9,2	11,3	12,8	14,7	12,9

Н* – защитная высота лесной полосы (ЛП);

ЗН – 18Н – расстояние от ЛП, измеряемое в единицах Н (фактор С);

Р – вероятность превышения увлажнения вегетационного периода, %;

ГТК – гидротермический коэффициент.

Таблица 3

Прибавка продуктивности трав пастбищ (%) под влиянием защитных лесных насаждений (верхняя строка), удобрений (средняя строка), совместно насаждений и удобрений (нижняя строка) (2018–2019 гг.)

Годы исследования	Защитные лесные насаждения (ЗЛН) (фактор В)			
	Кустарниковые кулисы (КК) ЗН* к «К»	Лесные полосы (ЛП) ЗН к «К»	ЛП + КК ЗН к «К»	ЗЛН в среднем
2018 г. – среднесухой, ГТК = 0,40	19,5	26,0	32,5	26,0
	2,1	2,8	5,5	3,5
	21,6	28,8	38,0	29,5
2019 г. – сухой, ГТК = 0,35	28,0	58,0	69,0	51,7
	2,9	8,4	11,9	7,7
	30,9	66,4	80,9	59,4
В среднем за 2018–2019 гг.	23,8	42,0	50,8	38,8
	2,5	5,6	8,7	5,6
	26,2	47,6	59,4	44,4

Н* – защитная высота лесной полосы ЛП;

ГТК – гидротермический коэффициент;

«К» – контроль (без ЗЛН и удобрений).

Таблица 4

Водопотребление и продуктивность трав пастбищ 1-го укоса (в среднем за 2018–2019 гг.)

Варианты опыта	Запасы воды в снегу, мм	Осадки эффек- тивных, мм	Использование влаги из почвы, мм			Суммарное во- допотребление, мм	Продуктивность, т/га	Коэффициент водопотребле- ния, м³/т
			В слое, м		Всего			
			0,8	>0,8				
Без лесных полос (ЛП), кустарниковых кулис (КК) и удобрений	211	21	124	12	136	157	1,66	946
КК + удобрения	228	21	134	22	156	177	2,27	780
ЛП + удобрения	235	21	142	19	161	182	2,47	737
ЛП + КК + удобрения	240	21	152	22	174	195	2,65	736

Рис. 2. Зависимость продуктивности пастбища от дозы удобрений и расстояния от лесной полосы при степени защищенности угодий $B_{л} = 0,8$ в среднем за 2018–2019 гг. Рис. 3. Зависимость продуктивности пастбища от дозы удобрений и степени защищенности угодий на расстоянии $3H$ от лесной полосы в среднем за 2018–2019 гг.

Рис. 4. Зависимость коэффициента водопотребления трав пастбищ от степени защищенности угодий защитными лесными насаждениями и дозы удобрений (в среднем за 2018–2019 гг.)

Анализ показал, что наибольшее влияние на водопотребление и продуктивность трав Y в рассматриваемых условиях оказывают доза удобрений U и степень защищенности угодий защитными насаждениями $B_{\text{л}}$ (рис. 2, 3). На это указывают уменьшение коэффициента детерминации и значительное увеличение среднего абсолютного отклонения и средней абсолютной ошибки в процентах при исключении соответствующего фактора из модели данных. Третьим по значимости фактором является расстояние от лесной полосы H .

Более детальное исследование позволило установить, что из факторов второго порядка наибольшее влияние на продуктивность Y оказывает произведение $B_{\text{л}}U$, которое характеризует взаимное влияние степени защищенности угодий защитными насаждениями $B_{\text{л}}$ и удобрений U . Влияние произведения $U \cdot B_{\text{л}} \cdot H$, т.е. фактора третьего порядка малости по отношению к параметрам U , $B_{\text{л}}$, H , оказывается на два порядка меньше, чем факторов второго порядка малости, и им можно пренебречь.

Следовательно, для практических применений целесообразно использовать более простую математическую модель:

$$Y = a_0 + a_1 U + a_2 B_{\text{л}} + a_3 B_{\text{л}} U, \quad (3)$$

$$K = a_0 + a_1 U + a_2 B_{\text{л}} + a_3 B_{\text{л}} U, \quad (4)$$

которая с 95 %-ной надежностью описывает влияние защитных лесных насаждений

и удобрений на продуктивность пастбищ в степи Приволжской возвышенности.

Заключение

В среднесухие годы важная роль в повышении продуктивности трав пастбищ принадлежит защитным лесным насаждениям по сравнению с применяемыми минеральными удобрениями. В среднем влияние защитных насаждений на прибавку продуктивности трав составляет 38,8 %, удобрений – 5,6 %. Увеличение водопотребления и продуктивности пастбищных угодий на 83–97 % связано с лесомелиоративными противоэрозионными приемами и дозой туков. На пастбищных склонах 5° рекомендуются размещение лесных полос через 300 м с кустарниковыми кулисами через 50 м и внесение минеральных удобрений (азота и фосфора дозой по 60 кг/га).

Список литературы / References

- Кулик К.Н., Дубенок Н.Н., Рулев А.С., Пугачева А.М. ВНИАЛМИ – лидер агролесомелиоративной науки России: современная концепция защитного лесоразведения // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. 2015. № 3 (13). С. 108–114.
- Kulik K.N., Dubenok N.N., Rulev A.S., Pugacheva A.M. VNIALMI – leader of agroforestry science in Russia: modern concept of protective afforestation // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11: Yestestvennyye nauki. 2015. No. 3 (13). P. 108–114 (in Russian).
- Полужтов Е.В., Балакай Г.Т. Влияние защитных лесных полос на урожайность сельскохозяйственных культур // Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности: сб. ст. по материалам

Международной научно-экологической конференции. Краснодар, 2018. С. 504–507.

Poluektov, E. V., Balakai, G. T. Influence of protective forest strips on crop productivity // *Ekologicheskiye problemy razvitiya agrolandshaftov i sposoby povysheniya ikh produktivnosti: sb. st. po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-ekologicheskoy konferentsii*. Krasnodar. 2018. P. 504–507 (in Russian).

3. Проездов П.Н., Маштак Д.А., Розанов А.В., Удалова О.Г. Закономерности водопотребления трав пастбищ под влиянием агротехнических и лесных мелиораций в степи Приволжской возвышенности // *Вестник Саратовского госагроуниверситета им Н.И. Вавилова*. 2014. №4. С. 22–24.

Proezdov, P.N., Mashtakov D.A., Rozanov, A.V., Udalo-va O.G. Regularities of water consumption of grasslands under the influence of agrotechnical and forest reclamation in the steppe of the Volga upland // *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im N.I. Vavilova*. 2014. No. 4. P. 22–24 (in Russian).

4. Дормидонтова Н.В., Есков Д.В., Розанов А.В. Математическое моделирование воздействия защитных лесных насаждений на продуктивность пастбищ в степи Приволжской Возвышенности // *Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения: материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием*. Тольятти. 2019. С. 149–154.

Dormidontova N.V., Eskov D.V., Rozanov A.V. Mathematical modeling of the impact of protective forest stands on pasture productivity in the Volga Upland steppe // *Informat-*

sionnyye tekhnologii v modelirovani i upravlenii: podkhody, metody, resheniya: materialy II Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Tol'yatti. 2019. P. 149–154 (in Russian).

5. Пронько В.В., Чуб М.П., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлёв Д.Ю. Отзывчивость сельскохозяйственных культур на минеральные удобрения в различных гидротермических условиях степного Поволжья // *Аграрный научный журнал*. 2017. № 9. С. 27–32.

Pronko V.V., Chub M.P., Yaroshenko T.M., Klimova N.F., Zhuravlev D.Yu. Responsiveness of agricultural crops to mineral fertilizers in various hydrothermal conditions of the steppe Volga region // *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2017. No. 9. P. 27–32 (in Russian).

6. Liu T.X., Zhang S.W. Agroforestry Systems in Northern Temperate Zone and Productive Perspectives // *Advanced Materials Research*. 2011. Vol. 304. P. 253–258.

7. Павловский Е.С., Долгилевич М.И. Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. М.: ВАСХНИЛ, 1985. 112 с.

Pavlovsky E.C., Dolgilevich M.I. Method of system research of forest-agrarian landscapes. M.: VASHNIL, 1985. 112 p. (in Russian).

8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 416 с.

Dospekhov B.A. Methodology of field experience. M.: Kolos, 1985. 416 p. (in Russian).