

Анализ противоэрозионной эффективности лесных полос на опыте по контурно-мелиоративному земледелию*

А. В. ПРУЩИК, С. А. ТАРАСОВ, Ю. О. РУБАНИК, И. В. ПОДЛЕСНЫХ, В. А. ВЫТОВТОВ

Курский Федеральный аграрный научный центр, ул. Карла Маркса, 70б, Курск, 305021, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью анализа противоэрозионной эффективности лесных полос на основе многолетнего опыта по контурно-мелиоративному земледелию (Курская область). Почвенный покров – чернозем типичный (Chernozems typical) миграционно-мицелиарный среднесуглинистый в сочетании с черноземом выщелоченным (Chernozems leached) среднесуглинистым. Изучали противоэрозионные линейные рубежи, представленные двухрядной лесополосой с канавой в междурядье и валом, на водосборе со склонами северной, южной и западной экспозиций. Контроль – водосбор без лесных полос на склонах тех же экспозиций. Породный состав лесополосы – тополь евроамериканский Робуста (*Populus euramericana Robusta*) и тополь черный (*Populus nigra* L.). Анализ таксономических характеристик древостоя не выявил достоверных различий по высоте и диаметру растений в зависимости от экспозиции произрастания. Высота деревьев в возрасте 40 лет составила в среднем для всех экспозиций $31,7 \pm 0,3$ м. Отмечена достоверная разница в сохранности деревьев в зависимости от экспозиции произрастания. В последний год исследования наименьшая сохранность был отмечена для деревьев, расположенных на южной экспозиции – 38 %, что меньше, чем на западной – на 8,2 %, а на северной – на 19,3 %. За весь период эксплуатации линейных рубежей физический объем канавы снизился со 180 м^3 до 112 м^3 . При этом зафиксировано уменьшение ее глубины на 57 % и увеличение ширины в 2,4 раза от первоначальных размеров. Максимальная разница по величине стока между водосборами с лесными полосами и контролем достигала 4 раза: для склона с лесными полосами – 29 мм, для контроля – 120 мм, потери почвы при смыве составляли соответственно 0,2 т/га и 11,3 т/га. Урожайности озимой пшеницы на водосборе с лесополосами увеличивалась, по сравнению с контрольным вариантом, независимо от погодных условий агрономического года, до 30 %.

Ключевые слова: полевой эксперимент, противоэрозионные меры, прогноз, эрозия почвы, лесные полосы, контурно-мелиоративное земледелие.

Сведения об авторах: А. В. Прущик, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник (e-mail: model-erosion@mail.ru); С. А. Тарасов кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник (e-mail: sergejtarasov1989@mail.ru); Ю. О. Рубаник, аспирант, инженер-исследователь (e-mail: j.r.97@mail.ru); И. В. Подлесных кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник (e-mail: podlesnich_igor@rambler.ru); В. А. Вытовтов, старший научный сотрудник (e-mail: v.a.vitovtov@mail.ru).

Для цитирования: Анализ противоэрозионной эффективности лесных полос на опыте по контурно-мелиоративному земледелию / А.В. Прущик, С.А. Тарасов, Ю.О. Рубаник и др. // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 3. С. 27–31. doi: 10.53859/02352451_2024_38_3_27

*работа выполнена по теме Государственного задания № FGZU-2022-0002.

Analysis of the anti-erosion efficiency of forest belts based on an experiment in contour-reclamation agriculture

A. V. Prushchik, S. A. Tarasov, Yu. O. Rubanik, I. V. Podlesnykh, V. A. Vytovtov

Federal Agricultural Kursk Research Center, ul. Karla Marksa, 70b, Kursk, 305021, Russian Federation

Abstract. The research aimed to analyse the anti-erosion effectiveness of forest belts based on long-term experiment in contour-reclamation farming (Kursk region). The soil cover was typical chernozem, migratory-mycelial, medium-deep, heavy loamy, combined with leached chernozem, medium-deep, heavy-loamy. We studied anti-erosion linear boundaries, represented by a two-row forest belt with a ditch between the rows and a bank, on a catchment with slopes of northern, southern, and western exposures. Control was a catchment without forest belts on the slopes of the same exposures. The species composition of the forest belt was Euro-American Robusta poplar (*Populus euramericana Robusta*) and black poplar (*Populus nigra* L.). Analysis of the taxonomic characteristics of the tree stand did not reveal significant differences in the height and diameter of plants depending on the exposure of growth. The height of trees at the age of 40 years averaged 31.7 ± 0.3 m for all exposures. A significant difference in the preservation of trees was observed depending on the exposure of growth. In the last year of the study, the least preservation was observed for trees located on the southern exposure – 38%, which was less than on the western by 8.2%, and on the northern by 19.3%. Over the entire period of operation of the linear boundaries, the physical volume of the ditch decreased from 180 m^3 to 112 m^3 . At the same time, a decrease in its depth by 57% and an increase in width by an average of 2.4 times from the original dimensions was recorded. The maximum difference in runoff between watersheds with forest belts and the control reached 4 times: for a slope with forest belts – 29 mm, for the control – 120 mm, soil loss during flushing was 0.2 t/ha and 11.3 t/ha, respectively. The yield of winter wheat in the catchment with forest belts increased, compared to the control options, regardless of the weather conditions of the agronomic year, up to 30%.

Keywords: field experiment; anti-erosion measures; forecast; soil erosion; forest belts; contour reclamation farming.

Author Details: A. V. Prushchik, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow (e-mail: model-erosion@mail.ru); S. A. Tarasov, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow (e-mail: sergejtarasov1989@mail.ru); Yu. O. Rubanik, post graduate student, research engineer (e-mail: j.r.97@mail.ru); I. V. Podlesnykh, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow (e-mail: podlesnich_igor@rambler.ru); V. A. Vytovtov, senior research fellow (e-mail: v.a.vitovtov@mail.ru).

For citation: Prushchik AV, Tarasov SA, Rubanik YuO, et al. [Analysis of the anti-erosion efficiency of forest belts based on an experiment in contour-reclamation agriculture]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(3):27–31. Russian. doi: 10.53859/02352451_2024_38_3_27

Ежегодно в мире потери почвы от эрозии достигают 23 млрд т [1], в Российской Федерации – в среднем теряется более 4 т/га плодородной пахотной почвы в год [2, 3]. В Центрально-Черноземном регионе эрозия почв склонов сельскохозяйственных угодий вызвана нерегулируемым стоком талых или ливневых вод [4, 5]. В результате проявления ускоренной эрозии на пашне происходит уничтожение плодородного слоя почвы, нарушение экологического баланса и снижение урожай-

ности сельскохозяйственных культур, потери которой коррелируют со степенью эродированности почвы [6].

Энергия стекающей по склону воды оказывает существенное влияние на развитие эрозии, особенно сильно этот процесс выражен на длинных склонах. При этом важную роль играют условия снеготаяния: скорость и экспозиция водосборов [7, 8].

В современных условиях при планировании способов борьбы с эрозией почвы критически важно учитывать

экономические показатели и понимать, какой эффект оказывает тот или иной метод. Решение проблемы рационального использования земельных ресурсов Российской Федерации, в значительной мере подвергшихся различным процессам деградации, стало одним из приоритетных направлений Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации № 145 от 28 февраля 2024 г. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402280003?index=2>).

Для оценки деградации почв в Российской Федерации в течение последних десятилетий применяли различные подходы: полевые обследования, дистанционные методы, использование цифровых технологий (геоинформационные системы, спутниковые снимки и др.) [9]. Однако отечественные методы, согласуясь в целом с зарубежными аналогами, имеют свою специфику, которая связана с особенностями природных условий и землепользования страны.

Землеустройство сельскохозяйственных угодий, базирующееся на адаптивно-ландшафтной системе земледелия, представляет собой эффективный способ борьбы с водной эрозией почв и косвенно повышает продуктивность возделываемых культур [10].

Одним из наиболее эффективных приемов, влияющих на формирование водного режима почвенного профиля, считают агролесомелиорацию [11, 12]. Благодаря накоплению снега прибалочные лесные массивы обеспечивают значительное повышение запасов доступной влаги в почве, в сравнении с безлесными участками.

Лесная подстилка и затенение почвы древесной растительностью обеспечивает лучшее сохранение влаги в почве. В свою очередь, почва под покровом лесной полосы обладает лучшей влагоемкостью и водопроницаемостью, в сравнении с безлесными участками, при этом практически исключено образование поверхностного стока на склоновых землях и интенсивное проявление водно-эрозионных процессов, способствующих смыву почвы с полей [13, 14]. Водорегулирующие лесные полосы обеспечивают создание микроклимата, благоприятно влияющего на рост и развитие сельскохозяйственных культур, по сравнению с открытыми полями и полями вне зоны действия лесных полос [15, 16].

Цель исследований – анализ противозерозионной эффективности лесных полос, усиленных продольной канавой в междурядье и валом по нижней опушке, в разном возрасте древостоя.

Условия, материалы и методы. Анализировали данные, полученные в 1985–2023 гг., на стационарном многолетнем полевом опыте по контурно-мелиоративному земледелию ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (Курская область).

На экспериментальных водосборах лесные полосы размещены контурно-параллельно поперек склона тремя линейными рубежами. Расстояние между лесными полосами, которое рассчитывали от центров канав, составило 216 м. Верхняя лесная полоса расположена по границе с приводораздельным плато (уклон до 1°), средняя – на склоне с уклоном 2...3°, нижняя – при переходе на уклон в 3...4° между балочными ответвлениями.

Для усиления противозерозионной эффективности лесных полос через год после посадки деревьев в междурядьях были сформированы канава и вал по нижней опушке (простые гидротехнические сооружения). Простые гидротехнические сооружения выполнены с использованием экскаватора ЭТЦ-252. Глубина канав при формировании в среднем составляла 1,5 м, ширина – 2,1 м. В качестве контроля был выбран водосбор без

лесных полос, имеющий склоны северной, южной и западной экспозиций.

Основная порода лесных полос – евроамериканский тополь гибрида Робуста (*Populus euramericana Robusta*) и тополь черный (*Populus nigra* L.), характеризующиеся быстрым ростом в начале вегетации (1...1,5 м ежегодно) с постепенным его снижением с возрастом (0,5 м в год) и конусообразной закрытой кроной. Таксацию лесных полос проводили на 9 постоянных пробных площадках длиной 100 м на всю ширину полосы для южной, западной и северной экспозиций.

Сохранность деревьев на пробных площадках определяли сплошным учетом с разделением деревьев на здоровые, усыхающие и усохшие. Величину этого показателя определяли делением учтенного количества живых деревьев на первоначальное число посадочных мест.

Высоту деревьев определяли высотомером-эклиметром. Для замера на каждой площадке выбирали 10 средних по размерам деревьев, равномерно размещенных по всей длине пробы. Диаметры стволов в первые годы роста измеряли штангенциркулем, затем мерной вилкой на высоте 1,3 м на 50 деревьях: 25 шт. в верхнем ряду, 25 шт. – в нижнем. Параметры валов-канав определяли мерными линейками.

На опытном участке преобладали два подтипа чернозёма: чернозём типичный (*Chernozems typical*) миграционно-мицелярный среднемощный тяжелосуглинистый на лёссовидных суглинках с формулой профиля PU-PU1-A-ABca-Bca-BCca-Cca в сочетании с черноземом выщелоченным (*Chernozems leached*) среднемощным тяжелосуглинистым на лёссовидных суглинках с формулой профиля PU-PU1-A-AB-B-BCca-Cca. До проведения контурно-мелиоративных мероприятий почва опыта находилась под интенсивной сельскохозяйственной нагрузкой.

Для измерения стока и смыва почвы были построены специальные гидротехнические сооружения (лотки). С их использованием до 1997 г. определяли расход воды и содержание в ней почвенных агрегатов и частиц только для весеннего снеготаяния, на основании которых рассчитывали эрозионные потери почвы с водосбора. В последние годы потери почвы определяли методом водороинов.

На всей площади опыта проводили одинаковые агротехнические мероприятия и вели единый севооборот: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – гречиха (*Fagopyrum esculentum*) – яровой ячмень (*Hordeum distichon* L.) – гречиха (*Fagopyrum esculentum*). Технология возделывания сельскохозяйственных культур, выращиваемых в севообороте, общепринятая для Курской области РФ. Учёт урожайности проводили методом сплошного учета на пробных площадках согласно ГОСТ 27548-97. Полученные экспериментальные данные обрабатывали методом дисперсного анализа.

Также была проведена оценка урожайности озимой пшеницы на водосборах с противозерозионными линейными рубежами, в сравнении с контрольным. Данные по озимой пшенице взяты за годы наиболее близкие к оцениваемым периодам по лесным полосам (интервал в среднем 10 лет). При этом подробный анализ погодных условий не приводили, так как их влияние на сельскохозяйственные культуры было одинаковым.

Сумма осадков для изучаемых лет в среднем несущественно отличалась от среднемноголетней, значительно варьируя в отдельные месяцы. От температуры и осадков в осенне-зимний период зависит глубина промерзания почвы. Наибольшей на обоих водосборах она была в 1986 г. (88,3±1,3 см). В этом случае отсутствие разницы

в глубине промерзания на водосборе с противозрозионным комплексом и контроле связано с малой высотой молодых деревьев в лесной полосе, что не позволило создать благоприятные микроклиматические условия для всего водосбора. В остальные годы прослеживалась положительная тенденция к снижению промерзания почвы на водосборе с лесными полосами, по сравнению с контролем.

Результаты и обсуждение. Высота деревьев в зависимости от экспозиции склона, на которой расположена лесная полоса, на протяжении 40 лет произрастания варьировала незначительно (рис. 1). В первые 30 лет в лесных полосах, растущих на склоне северной экспозиции она была больше, чем в лесополосах, расположенных на склонах южной и западной экспозиций,

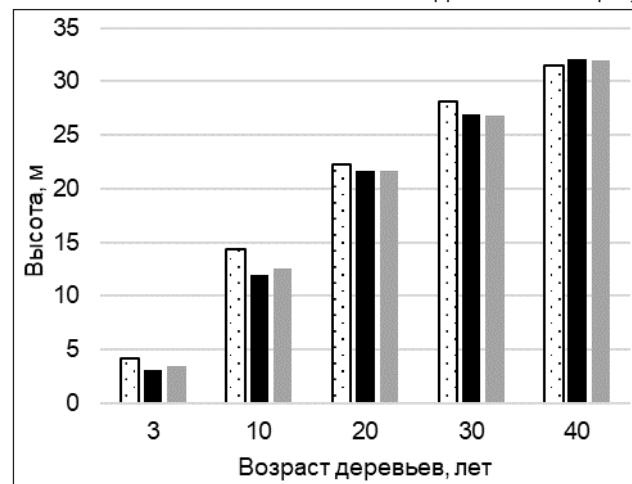


Рис. 1. Ход роста тополей на склонах разных экспозиций: □ – северная, ■ – южная, ▒ – западная.

на 6,3...14,2 %. При достижении древостоем возраста 40 лет высота деревьев по всем экспозициям выровнялась и составляла в среднем $31,7 \pm 0,3$ м.

Достоверной разницы между диаметрами деревьев в лесных полосах разных экспозиций не выявлено. Рост величины этого показателя по годам был характерным для рассматриваемых видов тополей: 0,03, 0,14, 0,23, 0,30, 0,39 м ($\pm 0,03$ м).

При учете сохранности деревьев в лесных полосах установлены достоверные различия в зависимости от места произрастания (экспозиции). В возрасте 10 лет на склонах западной экспозиции она была на 8,3 % ниже, по сравнению с южной и северной (рис. 2). Сохранность древостоя имела обратно пропорциональную зависимость с их возрастом для всех линейных рубежей, независимо от экспозиций и места расположения по площади склона. Так, при учете древостоя на постоянных пробных площадках через 30 лет в лесных полосах, расположенных на склоне северной экспозиции, осталось 62 % деревьев от количества первоначальных посадочных мест, на склонах западной и южной экспозиций величина этого показателя была на 10 % меньше. В последний год исследования наименьшая сохранность отмечена для лесополос, расположенных на южной экспозиции. Снижение, по сравнению с западной экспозицией, составило 8,2 %, с северной – 19,3 %.

В лесных полосах склона южной экспозиции зафиксировано резкое снижение количества деревьев в возрасте 20 лет. На участках северной и западной экспозиций наблюдали постепенное снижение сохранности древостоя. В целом склоны северной экспозиции при прочих равных условиях произрастания оказались более комфортными для роста и развития тополя.

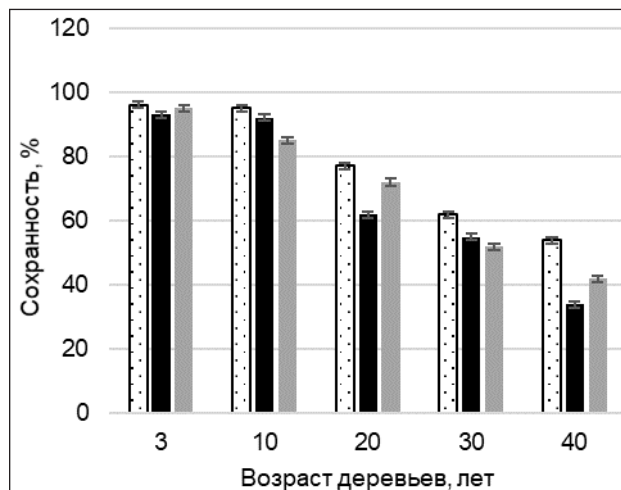


Рис. 2. Сохранность деревьев в лесных полосах, расположенных на склонах разных экспозиций: □ – северная, ■ – южная, ▒ – западная.

В сформировавшемся древостое расстояние между деревьями должно составлять не менее 3 м [17]. Следовательно, на протяжении 100 м в двухрядных лесных полосах необходимо оставить не более 66 деревьев. В нашем опыте при проведении учета на пробной площадке насчитывалось в среднем 100 растений на 100 м учетной площадки, что значительно уменьшает площадь питания дерева и влияет на сохранность лесной полосы и древостоя. При сильном его выпадении происходит образование незащищенных деревьями пространств и ухудшает выполнение лесными полосами противозрозионных функций.

Важную роль в задержании стока талых вод играют простые гидротехнические сооружения: канава в междурядье и вал по нижней опушке лесной полосы. На следующий год после их создания, в процессе снеготаяния и прохождения стока, глубина канав верхних лесных полос всех экспозиций уменьшилась до 35...45 % от первоначальной. На второй и третьей лесных полосах, расположенных на северной и южной экспозициях, интенсивность этого процесса была в 2 раза меньше. На склонах западной экспозиции в аналогичных лесных полосах снижение глубины канав было более выражено и составляло 27...33 %.

Деформация стенок канав вызвала увеличение их ширины. Поперечный профиль канав трансформировался из прямоугольного в трапециевидный. Физическая вместимость канав в первые годы после их закладки снизилась незначительно: на склонах северной и южной экспозиции – до 90,5 % от первоначального объема, западной – до 84,5 %.

За весь период эксплуатации линейных рубежей, физический объем канав на учетных площадках снизился со 180 м³ до 112 м³. При этом зафиксировано уменьшение их глубины в результате заиливания и обсыпки стенок на 57 % и увеличение ширины в среднем в 2,4 раза, по сравнению с первоначальными размерами.

Наибольшие изменения по глубине и ширине отмечены в местах максимального заполнения канав талыми водами. Лесные насаждения, выполняя агрономически ценные позахватные функции, в то же время скрепляли стенки канав механически корневой системой, придавая гидротехническому сооружению дополнительную устойчивость и предохраняя ее от размыва и разрушения.

Состояние деревьев в насаждениях и их жизнеспособность во многом зависела от их расстояния до бровки канав. Это определяет их площадь питания, способность

формировать годичный прирост, давать корневые отпрыски. После формирования канав ряды лесных полос на склонах всех экспозиций были расположены на расстоянии 1 м от бровки. Но в результате деформации канав (увеличение ширины) расстояния деревьев до бровки уменьшилось. В результате на верхних лесных полосах всех экспозиций водосборов отмечали наименьшее расстояние от деревьев до бровки – в среднем 0,56...0,72 м. Для остальных линейных рубежей, расположенных ниже по склону, оно достигало 0,78...0,91 м.

Сейчас деревья в рядах лесных полос растут у самых кромок канав, корневыми системами сдерживая дальнейшее их увеличение расширение. В течение последнего десятилетия физический объем канав достоверно не изменился.

При проектировании противоэрозионных линейных рубежей в опыте по контурно-мелиоративному земледелию прогнозировали снижение стока 10 %-ной обеспеченности до 80 % благодаря его удержанию в канавах лесных полосах и снижению потерь почвы в результате эрозии до допустимых значений. Такой эффект был достигнут благодаря разделению склона на короткие отрезки и повышенной впитывающей и фильтрационной способности почвы в лесных полосах, усиленных канавой в междурядье и валом по нижней опушке. Это указывает на высокий стокорегулирующий эффект лесных полос, по сравнению, например, с агротехническими мероприятиями.

При возрасте деревьев лесных полос 3 года сток талых вод составлял 18...12 мм, в контроле – 26...32 мм, смыв почвы – 0,9...5,7 т/га и 5,0...11,0 т/га соответственно. Учет проводили с водосбора в целом, не разделяя по отдельным экспозициям. Таким образом, противоэрозионный рубеж выполнял защитные функции даже на начальном этапе развития деревьев.

По мере роста древостоя на участке противоэрозионного рубежа отмечали увеличение запасов воды в снеге, по сравнению с контрольным водосбором, на 15...30 %, а также уменьшение поверхностного стока даже при самых неблагоприятных погодных условиях (интенсивное снеготаяние при глубоком промерзании почвы) на 30...58 %.

Максимальная разница между величинами стока на водосборах с лесными полосами и в контроле достигала 4 раз (29 и 120 мм соответственно), потери почвы при этом составляли 0,2 т/га и 11,3 т/га. В малоснежные годы и при мягких зимах смыва почвы на водосборе с противоэрозионными линейными рубежами не наблюдали.

В результате анализа урожайности озимой пшеницы (рис. 3) отмечена тенденция к ее увеличению на водосборе с противоэрозионными линейными рубежами на протяжении всего периода изучения. Рост составлял от 18 % до 30 %. Это свидетельствует о положительном влиянии противоэрозионных линейных рубежей не только на защиту почвы, но и на повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Выводы. За многолетний период наблюдений установлено положительное влияние противоэрозионных линейных рубежей в виде лесных полос, усиленных канавой в междурядье и валом по нижней опушке на эрозионно-гидрологические показатели водосборов. Анализ таксономических характеристик древостоя не выявил достоверных различий по высоте и диаметру растений

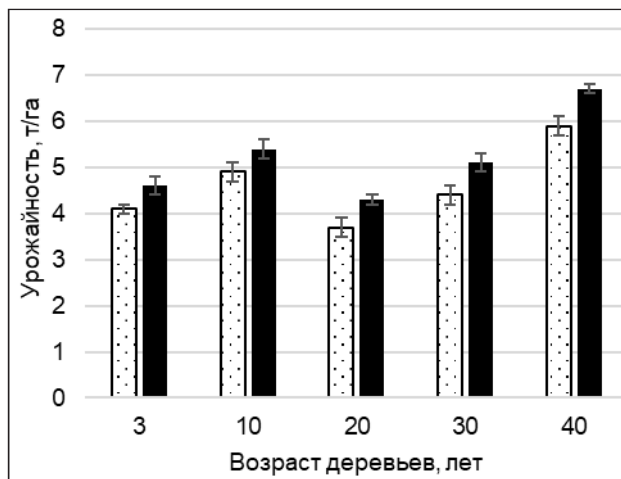


Рис. 3. Урожайность озимой пшеницы на водосборе с лесными полосами (ЛП) и контроле: □ – контроль, ■ – водосбор с ЛП.

в зависимости от экспозиций произрастания. Высота деревьев в возрасте 40 лет составила в среднем для всех экспозиций $31,7 \pm 0,3$ м, диаметр – $0,39 \pm 0,03$ м. Отмечена достоверная разница в сохранности деревьев в зависимости от экспозиций произрастания. Наименьшая величина этого показателя в последний год исследования отмечена для деревьев, расположенных на склоне южной экспозиции – 38 %, что ниже, чем на западной на 8,2 %, на северной – на 19,3 %. За период эксплуатации линейных рубежей физический объем канав снизился со 180 м^3 до 112 м^3 , их глубина уменьшилась до 57 % от первоначальных размеров, а ширина увеличилась в среднем в 2,4 раза.

На склонах с системой лесных полос произошло снижение стока при снеготаянии и смыва почвы. Максимальная разница между значениями стока на водосборах с лесными полосами и в контроле достигала 4 раза (29 мм и 120 мм соответственно) с потерями почвы при смыве – 0,2 т/га и 11,3 т/га.

Урожайность озимой пшеницы на водосборе с лесными полосами возрастала, по сравнению с контролем, независимо от погодных условий агрономического года до 30 %.

По мере роста и развития лесных полос происходит наращивание биомассы, увеличивается их роль в повышении противоэрозионной устойчивости почвы, что оказывает положительное влияние на экологическую устойчивость агроландшафтов. В качестве обязательных элементов почвозащитной системы должны присутствовать такие простейшие гидротехнические сооружения, как валы-канавы. Система почвозащитных мероприятий позволяет максимально аккумулировать твердый сток, предохраняя от заиливания сельскохозяйственные угодья и водные источники.

Благодарности. Коллектив авторов выражает благодарность ведущему научному сотруднику лаборатории моделирования и защиты почв от эрозии доктору сельскохозяйственных наук Ю.П. Сухановскому за консультацию в области эрозионно-гидрологических процессов и кандидату сельскохозяйственных наук Т.Я. Зарудной – за научно-методическую помощь при написании публикации.

Литература.

1. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome: FAO & ITPS, 2015. 650 p. URL: <http://www.fao.org/3/i5199e/i5199E.pdf> (дата обращения 15.02.2024).

2. Dynamics of agricultural soil erosion in European Russia / L. F. Litvin, Z. P. Kiryukhina, S. F. Krasnov, et al. // *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. No. 11. P. 1344–1353. doi: 10.1134/S1064229317110084.
3. Dynamics of agricultural soil erosion in Siberia and Far East / L. F. Litvin, Z. P. Kiryukhina, S. F. Krasnov, et al. // *Eurasian Soil Science*. 2021. Vol. 54. No. 1. P. 150–160. doi: 10.1134/S1064229321010075.
4. Петелько А. И., Барабанов А. Т. Влияние контурных stokoreгулирующих лесных полос из дуба на эрозионно-гидрологические показатели на Среднерусской возвышенности // *Земледелие*. 2018. № 2. С. 26–29. doi: 10.24411/0044-3913-2018-10206.
5. Black soils. Global map. Rome: FAO, 2022. 14 p. URL: <https://soz.bio/wp-content/uploads/2022/12/fao-on-globalnaya-karta-chemozhe-mov-compressed.pdf> (дата обращения: 23.02.2024).
6. Влияние развития эрозионных процессов на содержание и запасы органического вещества, урожайность озимой пшеницы и разнотравно-злаковых ассоциаций, возделываемых на темнокаштановых почвах / В. А. Стукало, Т. Г. Зеленская, Е. Е. Степаненко и др. // *Земледелие*. 2021. № 4. С. 20–23.
7. Impacts of land use land cover and soil property changes on soil erosion in the black soil region, China / S. Ma, L.-J. Wang, H.-Y. Wang, et al. // *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 328. Article 117024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147972202597X> (дата обращения: 19.02.2024). doi: 10.1016/j.jenvman.2022.117024.
8. Sukhanovskii Y. P. Probabilistic approach to the calculation of soil erosion loss // *Eurasian Soil Science*. 2013. Vol. 46. No. 4. P. 431–437. doi: 10.1134/S1064229313040133.
9. Чеплянский И. Я., Турчин Т. Я., Ермолова А. С. Дистанционный мониторинг государственных защитных лесных полос степной зоны европейской части России // *Известия вузов. Лесной журнал*. 2022. № 3. С. 44–59. doi: 10.37482/0536-1036-2022-3-44-59.
10. Кирюшин В. И. Задачи оптимизации землепользования в России // *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева*. 2023. Вып. 116. С. 5–25. doi: 10.19047/0136-1694-2023-116-5-25.
11. Подлесных И. В., Прущик А. В., Зарудная Т. Я. Новый методический подход к оценке влияния агролесоландшафтного комплекса на почву и урожайность сельскохозяйственных культур // *Земледелие*. 2022. № 6. С. 16–21.
12. Противозерозионная мелиорация в Республике Татарстан / М. М. Хисматуллин, А. Р. Валиев, М. М. Хисматуллин и др. // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 17. № 2 (66). С. 47–54.
13. Effect of forest shelter-belt as a regional climate improver along the Old Course of the Yellow River, China / J.-Y. Juang, J.-C. Zhang, Y. Yang, et al. // *Agroforestry Systems*. 2017. Vol. 91. P. 393–401. doi: 10.1007/s10457-016-9928-9.
14. Кравченко А. Н. Запасы влаги в почве и её водопроницаемость на склонах при залесении балок // *Плодородие*. 2009. № 6. С. 47–48.
15. Lawson G., Dupraz C., Watts J. Can silvoarable systems maintain yield, resilience, and diversity in the face of changing environments? // *Agroecosystem Diversity: Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality*. London: Academic Press, 2019. P. 145–168. doi: 10.1016/B978-0-12-811050-8.00009-1.
16. Петелько А. И., Выпова А. В. Влияние stokoreгулирующей лесной полосы комбинированной конструкции с низким кустарником на эрозионно-гидрологические процессы // *Земледелие*. 2019. № 5. С. 57–62. doi: 10.24411/0044-3913-2019-10501.
17. Сучков Д. К. Методы и технологии создания полезащитных лесных полос // *Научно-агрономический журнал*. 2018. № 2 (103). С. 51–53. URL: <https://vanc.ru/wp-content/uploads/nazh/2018/nazh-2018-2.pdf> (дата обращения: 19.02.2024).

References

1. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils [Internet]. Rome: FAO & ITPS; 2015 [cited 2024 Feb 15]. 650 p. Available from: <http://www.fao.org/3/i5199e/i5199E.pdf>.
2. Litvin LF, Kiryukhina ZP, Krasnov SF, et al. Dynamics of agricultural soil erosion in European Russia. *Eurasian Soil Science*. 2017;50(11):1344-53. doi: 10.1134/S1064229317110084.
3. Litvin LF, Kiryukhina ZP, Krasnov SF, et al. Dynamics of agricultural soil erosion in Siberia and Far East. *Eurasian Soil Science*. 2021;54(1):150-60. doi: 10.1134/S1064229321010075.
4. Petel'ko AI, Barabanov AT. [Influence of contour runoff-regulating oak forest belts on erosion and hydrological indicators in the Central Russian Upland]. *Zemledelie*. 2018;(2):26-9. Russian. doi: 10.24411/0044-3913-2018-10206.
5. Black soils. Global map [Internet]. Rome: FAO; 2022 [cited 2024 Feb 23]. 14 p. Available from: <https://soz.bio/wp-content/uploads/2022/12/fao-on-globalnaya-karta-chemozhe-mov-compressed.pdf>.
6. Stukalo VA, Zenskaya TG, Stepanenko EE, et al. [Influence of development of erosion processes on the content and reserves of organic matter, the yield of winter wheat and forb-grass associations cultivated on dark chestnut soils]. *Zemledelie*. 2021;(4):20-3. Russian.
7. Ma S, Wang L-J, Wang H-Y, et al. Impacts of land use land cover and soil property changes on soil erosion in the black soil region, China. *Journal of Environmental Management* [Internet]. 2023 [cited 2024 Feb 19];328: Article 117024. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147972202597X>. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.117024.
8. Sukhanovskii YP. Probabilistic approach to the calculation of soil erosion loss. *Eurasian Soil Science*. 2013;46(4):431-7. doi: 10.1134/S1064229313040133.
9. Cheplyanskii IYa, Turchin TYa, Ermolova AS. [Remote monitoring of state protective forest belts in the steppe zone of the European part of Russia]. *Izvestiya vuzov. Lesnoi zhurnal*. 2022;(3):44-59. Russian. doi: 10.37482/0536-1036-2022-3-44-59.
10. Kiryushin VI. [Problems of land use optimization in Russia]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva*. 2023;(116):5-25. Russian. doi: 10.19047/0136-1694-2023-116-5-25.
11. Podlesnykh IV, Prushchik AV, Zarudnaya TYa. [A new methodological approach to assessing the impact of the agroforestry complex on soil and crop yields]. *Zemledelie*. 2022;(6):16-21. Russian.
12. Khismatullin MM, Valiev AR, Khismatullin MM, et al. [Antierosion conservation in the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;17(2):47-54. Russian.
13. Juang J-Y, Zhang J-C, Yang Y, et al. Effect of forest shelter-belt as a regional climate improver along the Old Course of the Yellow River, China. *Agroforestry Systems*. 2017;91:393-401. doi: 10.1007/s10457-016-9928-9.
14. Kravchenko AN. [Moisture reserves in the soil and its water permeability on slopes during forestation of balkas]. *Plodorodie*. 2009;(6):47-8. Russian.
15. Lawson G, Dupraz C, Watts J. Can silvoarable systems maintain yield, resilience, and diversity in the face of changing environments? In: *Agroecosystem Diversity: Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality*. London: Academic Press; 2019. p. 145-68. doi: 10.1016/B978-0-12-811050-8.00009-1.
16. Petel'ko AI, Vypova AV. [Influence of a runoff-regulating forest belt of a combined design with low shrubs on erosion and hydrological processes]. *Zemledelie*. 2019;(5):57-62. Russian. doi: 10.24411/0044-3913-2019-10501.
17. Suchkov DK. [Methods and technologies for creating shelterbelts]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Internet]. 2018 [cited 2024 Feb 19];(2):51-3. Available from: <https://vanc.ru/wp-content/uploads/nazh/2018/nazh-2018-2.pdf>. Russian.