

Bulakhtina Galina Konstantinovna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department of Rational Nature Management, FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences» (RF, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsky district, Saline Zaymishche village, Severny block, 8), tel. 89275532822, ORCID -0000-0001-8949-8666; SPIN code 4070-8492, e-mail: gbulah@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-12

THE FEATURES OF SNOW DEPOSITION IN THE CONTOUR RUNOFF-REGULATING FOREST BELTS SYSTEM

A. V. Kulik

*Federal State Budget Scientific Institution
«Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective
Afforestation of the Russian Academy of Science»
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kulik-a@vfanc.ru

Received 03.07.2023

Submitted 20.08.2023

*This work was performed within the framework of state assignment no. FNFE-2022-0012
Theoretical Foundations of the Erosion-Hydrological Process in Catchment Basins, Conceptual
Directions, Ways and Principles for Creating Efficient Ecological-Friendly Control Systems of
This Process for Complete Prevention of Soil Erosion*

Summary

Improvement of ameliorative efficiency of systems of runoff-regulating forest belts on degraded slopes is based on regulation of snow accumulation in agro-forest landscapes through optimization of forest afforestation designs.

Abstract

Introduction. In areas of exposed to soil erosion with a strongly developed ravine network to ensure the stability of slope agrocenoses it is recommended to create a system of protective forest belts, reinforced along the lower edge by hydraulic structures. The main volume of runoff into river systems is spring melt water. It can be regulated through snow deposition control along the slope profile and its retention in forest belts for accumulation of additional water supply in arid steppe conditions.

The object of the study was a system of contour runoff-regulating forest-strips located on a slope of steepness 1-7° near Kletskaya village, Kletsky district, Volgograd region. The system under study consisted of four paired forest belts reinforced with erosion control mounds along the entire length. The species composition of plantations is represented by *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Ulmus pumila*, *Ribes aureum*. **Materials and methods.** The efficiency of the forest belt system in snow accumulation within the agroforest landscape was established on the basis of statistical processing of meteorological information in XLstat, calculation of the total range of wind-break influence of forest belts, field snow measurement observations and processing of the obtained data. **Results and conclusions.** Weather conditions during the study periods differed, especially in the amount of precipitation, which affected the amount and nature of snow deposition in the forest belt system. The determining influence on snow distribution on the slope surface was the direction of snow transported winds. The territory is characterized by active snow transfer. The location of the forest belt system relative to the prevailing snowstorms is quite optimal (up to 73.3%). In each of the zones of influence of forest belts (field, upper plume, first paired forest belt, mound, second paired forest belt, lower plume) the character of snow accumulation was different. The results obtained allowed us to evaluate the snow-protective function of the considered system of forest stands and to identify the shortcomings of the plantation design. The erosion control berm had a direct impact on snow redistribution.

Key words: contour runoff-regulating forest belts, snowstorms, total wind-break range of influence of forest belts, snow reserves, snow height.

Citation. Kulik A. V. (2023). The features of snow deposition in the contour runoff-regulating forest belts system. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 120-132 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-12.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 630*915

ОСОБЕННОСТИ СНЕГООТЛОЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ КОНТУРНЫХ СТОКОРЕГУЛИРУЮЩИХ ЛЕСОПОЛОС

А. В. Кулик, кандидат сельскохозяйственных наук

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного
лесоразведения Российской академии наук
г. Волгоград, Российская Федерация*

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания № FNFE-2022-0012 Теоретические основы эрозионно-гидрологического процесса на водосборных бассейнах, концептуальные направления, пути и принципы создания высокоэффективных экологических систем управления этим процессом с целью полного предотвращения эрозии почв

Актуальность. В районах, подверженных эрозии почв, с сильно развитой овражно-балочной сетью для обеспечения устойчивости склоновых агроценозов рекомендуют создавать системы защитных лесных полос, усиленных по нижней опушке гидротехническими сооружениями. Основной объем стока в речные системы приходится на весенние талые воды. Регулирование его возможно через управление снегоотложения по профилю склона и задержание его в лесополосах для накопления дополнительного влагопитания в засушливых условиях степи. **Объектом** исследования являлась система контурных стокорегулирующих лесополос, расположенная на склоне крутизной 1-7° близ ст. Клетской Клетского района Волгоградской области. Изучаемая система состояла из четырех парных лесополос, укрепленных на всем протяжении противоэрозионными валами. Породный состав насаждений представлен *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Ulmus pumila*, *Ribes aureum*. **Материалы и методы.** Эффективность системы лесополос в аккумуляции снега в пределах агролесоландшафта устанавливалась на основе статистической обработки метеорологической информации в XLstat, расчета суммарной дальности ветроломного влияния лесополос, полевых снегомерных наблюдений и обработке полученных данных. **Результаты и выводы.** Погодные условия в периоды исследований отличались, особенно по количеству осадков, что отразилось на величине и характере снегоотложения в системе лесополос. Определяющее влияние на снегораспределение по поверхности склона имело направление снегопереносимых ветров. Для территории характерен активный снегоперенос. Расположение системы лесополос относительно преобладающих метелей достаточно оптимально (до 73,3%). В каждой из зон влияния лесных полос (поле, верхний шлейф, первая парная лесополоса, вал, вторая парная лесополоса, нижний шлейф) характер аккумуляции снега был различен. Полученные результаты позволили оценить снегозащитную функцию рассматриваемой системы лесополос, выявить недостатки конструкции насаждений. Противоэрозионный вал оказал непосредственное влияние на перераспределение снега.

Ключевые слова: контурные стокорегулирующие лесополосы, регулирование стоков, ветроломная дальность влияния лесополос, снегозапасы, высота снега.

Цитирование. Кулик А. В. Особенности снегоотложения в системе контурных стокорегулирующих лесополос. *Известия НВ АУК.* 2023. 3(71). 120-132. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-12.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении опытов и анализе полученных результатов. Автор настоящей статьи ознакомился с представленным окончательным вариантом и одобрил его.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Лесомелиорация водосборов с помощью инженерно-биологических систем, составными элементами которых являются защитные лесные насаждения различных видов, противозрозионные гидротехнические сооружения, почвозащитные агротехнические приемы и технологии возделывания сельхозкультур, обеспечивает не только создание лесоаграрных ландшафтов устойчивых к воздействию внешних факторов, но и способствует повышению продуктивности агроценозов [9]. Эффективность применяемых мероприятий, направленных на снижение последствий от развития процессов эрозии и дефляции, будет повышаться только при условии их применения на всем водосборе. Создание целостной системы агролесомелиоративного обустройства, особенно склоновых земель, будет обеспечивать экологически сбалансированное аграрное природопользование [7]. Стокорегулирующие лесополосы, усиленные по нижним опушкам противозрозионными сооружениями, должны составлять основу экологического каркаса таких территорий.

Основными причинами развития эрозионных процессов (формирования смыва и размыва) в районах с развитой овражно-балочной сетью является незарегулированный поверхностный сток как талых, так и ливневых вод. Его задержание способствует созданию на склоновых землях систем стокорегулирующих лесополос, усиленных противозрозионными валами. Лесополосы обеспечат равномерное снегораспределение вдоль склона, снижение глубины промерзания почв, что повысит водопоглощение талых вод и перевода стока во внутрпочвенный, а валы по нижней опушке – задержание избыточного потока вод и повышение дополнительного влагонакопления в лесонасаждениях, что особенно важно в условиях засушливого климата.

Под руководством Духнова В. К. в 1974 г. был создан для этих целей экспериментальный опытный объект, который представлял собой систему лесных полос, состоящую из парных лесополос, усиленных противозрозионными валами. Применение этой технологии способствует выводу из сельскохозяйственного оборота большого количества земель. Эффективность ее в настоящее время, при достижении главных древесных пород 40-летнего возраста (приспевающее насаждение), не изучена. Возможность применения данного агролесомелиоративного обустройства в данных экономических условиях проверили посредством изучения влияния системы лесополос на управление снегоотложением по профилю склона, так как основной объем стока в речные системы с водосборов поступает за счет талых вод [1, 11]. Сокращение потерь стока с агролесоландшафтов возможно через уменьшение глубины промерзания почвы посредством управления снеготложением [13, 14, 16], препятствующего накоплению снежных масс в верхней его части.

Целью работы являлось изучение закономерности формирования снежного покрова на склоновом агролесоландшафте в системе контурных стокорегулирующих лесополосах, усиленных противозрозионными валами.

Материалы и методы. Изучаемая система контурных стокорегулирующих лесополос (рисунок 1) расположена на северо-восточном склоне (49°20'44" с.ш., 43°00'20" в.д) близ ст. Клетской (3,7 км) Клетского района Волгоградской области. Эта система была создана для подбора наиболее рационального сочетания гидротехнических устройств с лесными насаждениями в целях защиты почв от эрозии. Рельеф территории сформирован на пермско-триасовых мергелях, юрских глинах и меловых песчано-опочных породах. Местами отмечаются выходы коренных пород. Крутизна склона изменяется от 0,5° на приводораздельной части до 6,5° на присетевой. Между второй и третьей лесополосой расположены потяжины и ложбины, свидетельствующие об активности на этой части склона эро-

зионных процессов. Почвенный покров представлен темно-каштановыми почвами разной степени смывости. Они отличаются хорошей водоудерживающей способностью, пониженной водопроницаемостью, особенно в нижних горизонтах.

Система состоит из четырех стокорегулирующих лесополос, протяженностью от 1,1 км, до 1,8 км. Каждая из них представляет собой сочетание парных (двух) лесных полос (5, 6, или 3-х рядных), между которыми расположен противозрозионный вал (рисунки 2). Высота его увеличивается в направлении сверху вниз по склону – от 0,5 м в первой лесополосе до 1,3 м в четвертой. Породный состав лесополос представлен робинией псевдоакацией (*Robinia pseudoacacia*), кленом ясенелистным (*Acer negundo*), вязом приземистым (*Ulmus pumila*), смородиной золотистой (*Ribes aureum*). В IV лесополосе кустарник отсутствует. Высота древостоя уменьшается сверху вниз по склону от 8,5 м до 6,5 м, что может быть следствием ухудшения почвенно-растительных условий. Насаждение III бонитета.

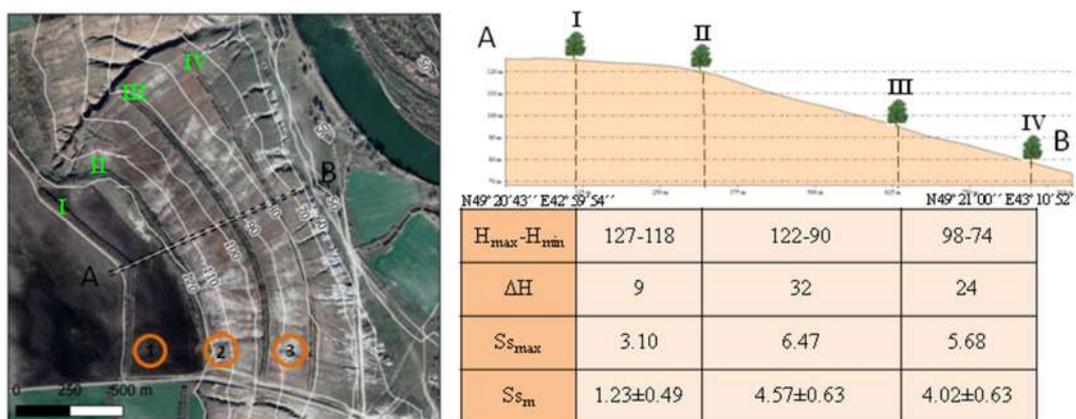


Рисунок 1 – Характеристика системы стокорегулирующих лесополос I-IV – номера лесных полос; 1-3 – номера межполосных пространств, $H_{max}-H_{min}$ – диапазон высот, м; ΔH – базис эрозии, м; Ss_{max} – максимальная крутизна склона, Ss_m – среднее значение крутизны склона

Figure 1 – Characterization of the system of runoff-regulating forest belts I-IV – numbers of forest belts; 1-3 – numbers of inter-belt spaces, $H_{max}-H_{min}$ – height range, m; ΔH – erosion base, m; Ss_{max} – maximum slope steepness, m; Ss_m – average value of slope steepness

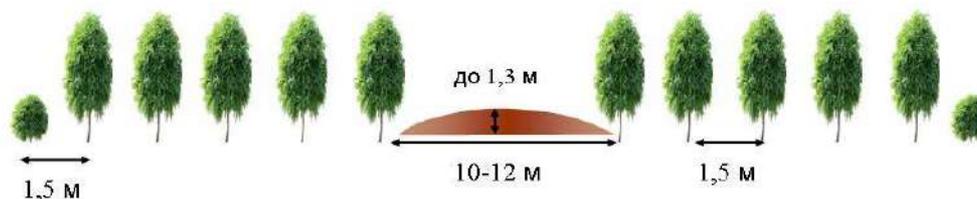


Рисунок 2 – Общая схема стокорегулирующих лесополос
Figure 2 – General scheme of runoff-regulating forest belts

Поверхность склона на межполосных пространствах имеет разную аккумулирующую способность твердых осадков, зависящую от многих факторов, в том числе от вида сельскохозяйственного использования (пашня, пастбище, сенокос). На полях 1 и 3 ведется двухпольный севооборот (озимая пшеница – пар). Второе поле, поверхность которого сильно изрезана ложбинами и промоинами из-за большей крутизны, характеризуется наличием более смытых почв, поэтому используется только под выпас мелко-го и крупного рогатого скота.

Изучение снегоотложения на агролесоландшафте в период с 2018 по 2020 г. проводилось на основе анализа метельной активности, эффективности расположения системы лесополос по отношению к снегопереносимым ветрам, а также полевого мониторинга за накоплением снега.

Метеорологический анализ осуществлялся по данным метеостанции Серафимович. Исходные показатели по метелям получены с сайта gr5.ru. Статистическая их обработка осуществлялась в XLstat.

Для обеспечения большей точности расчетов анализ проводили по 16 румбам. Во внимание принимались только метели при одновременном выпадении вертикальных осадков, которые переносятся порывами ветра не только в приземном слое (0-50 см), но и в пределах высоты 10-16 м над поверхностью земли.

Определение эффективности размещения лесополос относительно преобладающих направлений метелей рассчитывалось на основе расчета суммарной дальности их ветроломного влияния по методике Е. А. Гаршинева (2002)¹.

Снегомерные съемки проводились по снегомерным профилям, направленным сверху вниз по склону перпендикулярно насаждениям. Высота снега на межполосных пространствах измерялась снегомерной рейкой через 4 м в 3-х кратной повторности, в лесополосах и в приопушечных зонах – при плавном изменении его мощности через 2 м, а в местах резких перепадов – через 1 м. Плотность снега замерялась в трехкратной повторности с помощью весового снегомера ВС-43 через каждые 50 м в полевой части и в лесополосе (Сурмач Г. П., 1967)².

Результаты и обсуждение. Первый снег зимой 2018-2019 гг. выпал в конце ноября, но быстро растаял. Устойчивое снижение температуры воздуха (min до -15,0°C) наблюдалось с первой декады декабря. В течение месяца отмечались периоды с повышением температуры до 0°C, но продолжительных оттепелей не было. Всего за месяц выпало 42 мм осадков в виде снега. В январе 2019 г. температура в среднем колебалась от -4,4 до -8,6°C, что в целом за месяц составило на 1,1°C больше среднегодовой нормы. Во второй декаде месяца она поднималась до 0°C на непродолжительное время, при этом сильных оттепелей не наблюдалось. За январь выпало 42 мм осадков (в том числе 27 мм снег).

Зимой 2019-2020 гг. устойчивое понижение температуры воздуха (до -8,0°C) наблюдалось с третьей декады декабря. За месяц выпало всего 8 мм осадков, из которых 3 мм составил снег, а 5 мм – дождь. Январь 2020 г. был теплее и на 7,4°C среднегодовой нормы. По декадам температура колебалась от -0,7 до -1,9°C. В течение месяца продолжительных оттепелей не наблюдалось. В январе выпало 33 мм осадков. Во время оттепелей выпадали преимущественно дожди (8 мм). Февраль был теплее на 6,8°C среднегодовых значений. В начале первой декады месяца наблюдалась оттепель, сопровождающаяся дождем (10 мм), в течение которого температура поднималась до +7°C. После наступило резкое похолодание до -14°C и выпал снег (21 мм). Всего за зиму 2019-2020 гг. выпало 117 мм осадков. Из них в виде снега – 73 мм.

Метельный режим и эффективность размещения системы лесополос относительно преобладающего направления снегопереноса. Дюнин А. К. (1963)³ отмечал, что снегоперенос начинается при метелях с минимальной скоростью 3 м/с (на уровне флю-

¹ Гаршинев Е.А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация. Экспериментальная оценка, расчет, проектирование. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2002. 220 с.

² Сурмач Г.П. Изучение водопоглощающего и противозрозионного влияния защитных лесонасаждений в комплексе с другими мероприятиями: метод. рекоменд. М.: ВАСХНИЛ, 1975. 96 с.

³ Дюнин А.К. Механика метелей (Вопросы теории проектирования снегорегулирующих средств). Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения АН СССР, 1963. 380 с.

гера). Другие авторы определяли значения – 4-5 м/с иногда и более [3, 5, 6]. Возможность подъема снежинки с поверхности земли и дальнейший ее перенос зависят от ее плотности и скорости ветрового потока. Чем выше плотность снега, тем большая скорость ветра потребуется для отрыва и переноса снежных частиц. При анализе данных учитывали самые минимальные скорости снегопереносимого ветрового потока, так как свежеснеживший снег в морозную погоду при скорости 3 м/с будет переноситься и по воздуху, и по поверхности [3].

По Глебовой М. Я. (1962), исследуемая территория характеризуется относительно большой повторяемостью метелей (от 25 до 10 дней). Здесь исключительно большая устойчивость метельных ветров восточного направления, отличающихся большой скоростью, что также подтверждается проведенным анализом многолетних данных (рисунок 3).

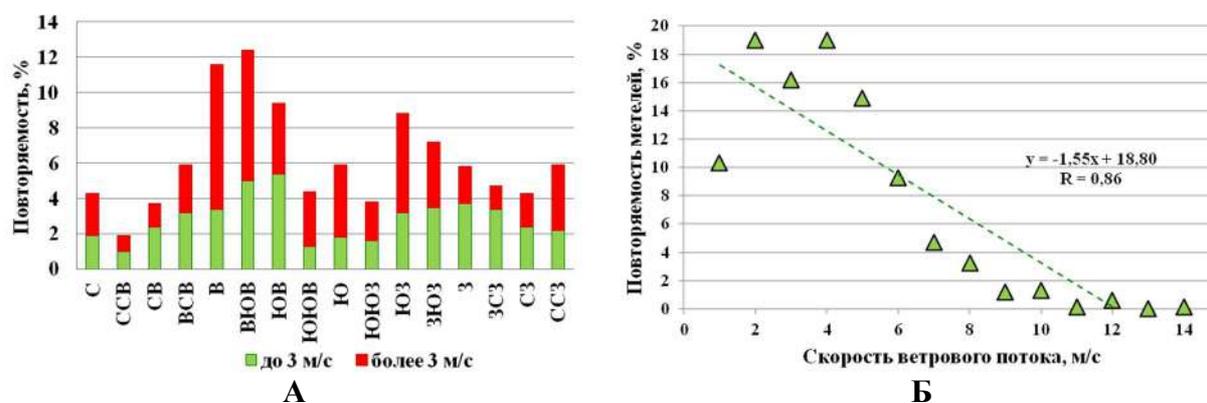


Рисунок 3 – Характеристика многолетних данных (2005-2022 гг.) снегопереносимых ветров по данным метеостанции Серафимович

Figure 3 – Characterization of multiyear data (2005-2022) of snow-bearing winds according to the data of the Serafimovich region weather station

Изучая режим метелей за многолетний период, установили, что для 45% характерны ветровые потоки до 3 м/с. С увеличением скорости повторяемость сокращается. На долю метелей, способствующих снегопереносу (более 3 м/с), приходится 55%. Из них 43% обладают скоростью от 4 до 6 м/с, т.е. изучаемый район характеризуется активным снегопереносом и создание защитных лесополос в целях его задержания является обоснованным.

Зима 2018-2019 гг. характеризовалась преобладанием метелей западного, юго-западного и юго-восточного направлений. При этом максимальное количество осадков соответствовало метелям западных направлений (23 мм из 34 мм). То есть в этот период система лесных полос была расположена практически перпендикулярно снегопереносу, а, следовательно, обладала наибольшей эффективностью.

Зимой 2019-2020 гг. осадков в виде снега выпало всего на 6 мм больше, чем в 2018-2019 г., но метельный перенос был не такой активный. Роза метельных ветров не имела явно выраженное преобладающее направление. Основное количество снега выпадало при северо-западном направлении (7,0 мм), северо-восточном (13,0 мм), юго-восточном (10,3 мм).

Анализ роз снегопереносимых ветров показал, что основной снегоперенос в 2018-2019 гг. осуществлялся ветрами северо-западного и западно-юго-западного направлений, а в 2019-2020 гг. – восточного и восточно-юго-восточного. Самыми высокими скоростями обладали ветра юго-восточных направлений: в 2018-2019 гг. – 8-10 м/с, а в 2019-2020 гг. – 6-7 м/с.

На эффективность снегозадержания лесополосой влияет ее размещение относительно направлений снегопереносимых ветров. Так, при расположении насаждения перпендикулярно к господствующему ветру дальность его влияния наибольшая (Jiaojun, Z., Fan, Z., Zhou, X., 2002). При отклонении от этого направления на угол $\pm 10-20^\circ$ дальность влияния изменяется на 2-6%, а при отклонении на угол $\pm 30-45^\circ$ уменьшается на 20-30% (Гаршинев, 2002).

Согласно проведенному анализу расположения системы лесополос относительно основных направлений снегопереноса, установлено, что суммарная ветроломная дальность контурной лесополосы на всем ее протяжении изменяется. Обладая контурностью, она размещена сразу относительно разных сторон света, то есть на исследуемом объекте лесонасаждение протягивается сначала с северо-запада на юго-восток, затем по направлению с севера на юг и заканчивается с северо-востока на юго-запад. Так как расчет суммарной дальности ветроломного влияния лесополос основан на определении сумм проекций дальности ветрового влияния лесополосы, зависящей от угла между направлением ветра и размещением лесополосы относительно сторон света, то и эффективность на каждом ее участке будет разная (таблица).

Таблица – Суммарная дальность ветроломного влияния лесополос, %
Table – Cumulative range of windbreak influence of forest belts, %

Зима	Направление размещения контурной стокорегулирующей лесополосы		
	СЗ-ЮВ	С-Ю	СВ-ЮЗ
2018-2019	57,9	75,3	73,3
2019-2020	43,6	73,2	72,4

Изучение закономерности снегоотложения в системе лесополос. Главным фактором повышения урожая сельхозкультур и увеличения долговечности и сохранности лесополос является их влагообеспеченность, которая в условиях сухих степей во многом определяется сохранностью зимних осадков [2, 4, 12, 17].

Наблюдение за характером снегоотложения в системе в 2019 г. проводилось в конце третьей декады января, а в 2020 г. в конце второй декады февраля. Время проведения снегомерных съемок совпадало с периодом максимального накопления снежных масс в пределах агролесоландшафта. Зимой 2018-2019 гг. агрофон на 1 и 3 полях был представлен зябью. До момента проведения снегомерных съемок выпало 84 мм осадков, в том числе 34 мм в виде снега.

Анализ дополнительного снегонакопления, основанный на значениях снегозапасов в 2019 г., показал, что на межполосных пространствах накопилось до момента проведения снегомерных исследований от 23,2 до 31,9 мм твердых осадков при выпавших до этого момента 34 мм. При этом в зоне лесных полос до 63,2 мм (рисунок 4), т.е. они обеспечили сохранение снега, унесенного с полей, обеспечив себя дополнительным влагозапасом. Несомненно, расположенное на втором поле пастбище с покровом многолетних трав, способствовало наибольшему задержанию снега.

Даже зимой в безлиственном состоянии лесополосы способствуют улучшению микроклимата прилегающей к ним территории [1, 10]. Это подтверждается полученными данными плотности снежного покрова, которые иллюстрируют ее увеличение особенно во вторых парных лесополосах, расположенных за валом. Так, в лесополосе I до вала плотность в 2019 г. составила $0,24 \text{ г/см}^3$, а за валом увеличилась до $0,26 \text{ г/см}^3$. Та же закономерность прослеживалась и в лесополосах II и III. В четвертой различие отсутствовало, что объясняется уменьшением количества задерживаемого ею снега.

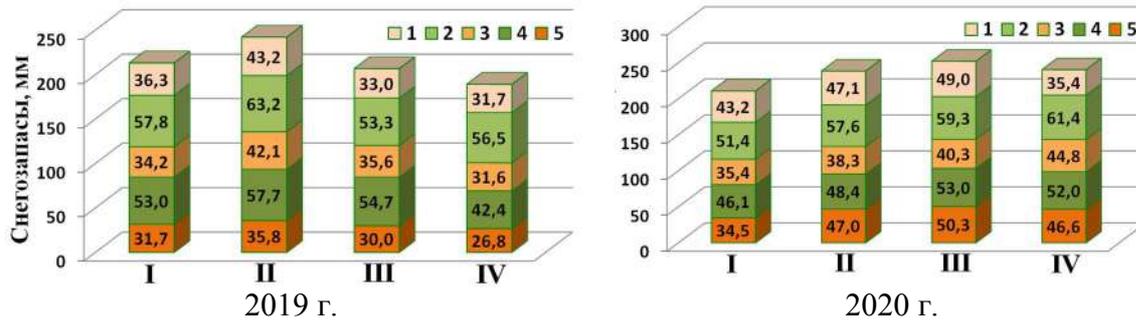


Рисунок 4 – Особенности распределения снеготолщин в стокорегулирующих лесополосах I-IV – номер лесополосы; зоны лесополосы: 1 – верхний шлейф, 2 – первая парная лесополоса, 3 – противозерозионный вал, 4 – вторая парная лесополоса, 5 – нижний шлейф
Figure 4 – Peculiarities of snow accumulation distribution in runoff-regulating forest belts I-IV – forest belt number; forest belt zones: 1 – upper plume, 2 – first paired forest belt, 3 – erosion control mound, 4 – second paired forest belt, 5 – lower plume

В 2020 г. агрофон поля 3 был представлен паром, а на поле 1 располагались посева озимой пшеницы. С начала зимы и до момента полевых замеров выпало 117 мм осадков. По сравнению с зимой 2019 г., период 2019-2020 гг. был более водный, но снега выпало всего на 6 мм больше. Сохранялась особенность увеличения высоты снега в лесополосе, расположенной после вала. В 2020 г. на поле с посевами озимых снеготолщины составили 35,4 мм, на поле 3 (пар) – 40,8 мм, а на пастбище – 39,1 мм.

При статистической обработке данных высоты снежного покрова установлено, что коэффициенты вариации, характеризующие степень изменчивости или варьирования чисел в ряду наблюдаемых величин, в лесополосе с наветренной стороны меньше, чем с заветренной.

Проанализируем снеготолщину в каждой из лесополос, при этом будем сравнивать показатели между годами исследований для выявления особенностей.

Лесополоса I. Расположена на приводораздельной части склона и является первой в системе на пути водного потока. Изменение высоты снежного покрова в 2019 г. в первой парной лесополосе описывалось полиномиальной функцией ($y = -0,37x^2 + 11,6x - 64$, $r = 0,94$), во второй логарифмической ($y = 3,5 \ln x + 8,8$, $r = 0,60$). В первой парной лесной полосе снега отложилось больше. Увеличение снежного покрова начиналось в зоне верхнего шлейфа – с 4 до 25 см на протяжении 12 м, т.е. 1,7 см на каждый метр. Затем, достигнув максимума (27 см) в середине лесополосы, резко сократился до месторасположения вала, т.е. это микрizona возрастания силы ветрового потока. На западной экспозиции вала сформировался снежный покров высотой до 16 см, а на восточной снег выдулся почти полностью (до 5 см). Этому способствовали восточные метели скоростью до 10 м/с. После чего формируется зона снижения скорости ветра и снег снова начинает откладываться во второй парной лесополосе. В зоне нижнего шлейфа высота снежного покрова меняется в пределах 12-17 см.

В 2020 г. такой явной картины не наблюдалось. Зона верхнего шлейфа составила 10 м. При этом высота снежного покрова увеличивалась постепенно до второго ряда первой парной лесополосы, после чего снизилась до 17 см и вновь увеличилась до вала. На валу происходит закономерное уменьшение снежного покрова в результате его сдувания ветром. Затем высота снега постепенно увеличивается до 3 ряда второй парной лесополосы и снижается в зоне нижнего шлейфа до 12 см на расстоянии 1,5Н от лесной полосы.

В целом в зоне нижнего шлейфа откладывалось снега больше, несмотря на его распределение по профилю лесополосы.

Лесополоса II. В 2019 г. характер снегоотложения в обеих лесополосах идентичен ($r=0,83-0,79$). В 2020 г. во второй парной лесополосе снега отложилось больше, чем в первой, где выделялась зона выдувания, расположенная в третьем ряду насаждения. После нее сформировался снежный сугроб и поэтому коэффициенты корреляции здесь были не очень высоки ($r=0,52$ и $0,58$).

Лесополоса III. В 2019 г. в направлении от зоны верхнего шлейфа к полосе идет постепенное снижение высоты снежного покрова, а в 2020 г. постепенное его увеличение. Причем разница максимальной высоты в первой парной лесополосе и в зоне верхнего шлейфа в 2020 г. составляет всего 3 см. Это можно объяснить наличием в зимний период на поверхности поля 2 надземной части многолетних трав, которая способствует большему задержанию снежных частиц, чем посевы озимых культур. В зоне вала также происходило выдувание снега.

Лесополоса IV. Ширина зоны верхнего шлейфа в 2020 г. была на 7 м больше, что объясняется более спокойным ветровым режимом, при котором скорость потока при подходе к защитному насаждению уменьшалась постепенно. В 2019 г. наблюдался более активный метельный перенос, что отразилось на формировании в первой парной лесополосе в третьем ряду снежного наноса. С западной экспозиции вала в оба периода исследований отмечалось большее накопление снега, чем с восточной. Во второй парной лесополосе выделялась зона максимального снегонакопления с плавным переходом в зону нижнего шлейфа ($0,71$ и $0,73$).

При анализе закономерности распределения снега в 2019 г. на всем агролесоландшафте установлено, что снег аккумулируется в самих насаждениях, особенно в расположенном после вала. При этом высота снега в зоне нижнего шлейфа значительно выше, чем в верхнем. При таком характере снегоотложения возрастает опасность потери талых вод из второго парного насаждения, в результате стока вниз по склону. А если в таких условиях сформируются мощные сугробы, то может возникнуть риск формирования смыва почв, так как при резком потеплении сначала сойдет снег с поверхности полей (на межполосном пространстве). После чего начнет таять снежный покров, расположенный в зоне нижнего шлейфа, а формируемые потоки талой воды, стекая вниз по уже талой почве, могут способствовать ее смыву.

В 2020 г., несмотря на незначительное преобладание осадков в виде снега, в лесополосах отложилось снега меньше, а на полях межполосных пространств больше. Часть снега осталась в поле благодаря наличию всходов озимой пшеницы. Накопление снежного покрова под влиянием агрофона первого поля повлияло на незначительное снижение высоты снега в прилегающей лесополосе.

Плотная конструкция лесных полос и имеющийся между двумя парными лесополосами вал препятствуют дополнительному переотложению снега на полях. Снежные частицы переносятся большей частью в нижнем 20 (50) см приземном слое, поэтому любая преграда в этой зоне будет способствовать снегоотложению на месте ее появления. Вал, с одной стороны, препятствует снегопереносу, но с другой, он необходим на этом склоне с крутизной более $1,5^\circ$, так как способствует задержанию потока не только весенних талых, но и ливневых вод, способствующих развитию эрозионных процессов.

Существующая плотная конструкция лесных полос выявила ряд недостатков:

- лесополосы I-III состоят из 5-7 рядов древесных пород. Панов В. И., Барабанов А. Т. (2022), исследуя аэродинамические и снегозадерживающие свойства лесополос, пришли к выводам, что для полного задержания снежных частиц в насаждении доста-

точно от 2-3 ряда древесных пород. Увеличение их числа не имеет смысла. В условиях Среднего Дона максимальное число составляет 3 ряда. Уменьшение рядности при таком же уровне снегозадержания будет способствовать увеличению дополнительного влагопитания древостоя в весенний период из расчета на одно растение;

- лесополоса IV без кустарника – в первой парной лесополосе снега аккумулировалось меньше, чем после вала. Возрастают потери талых вод.

- лесополосы II и IV имеют меньшую сохранность, что объясняется не оптимальным подбором древесных пород при облесении склона. На объекте отмечались выходы коренных пород (опоки и мела). В таких условиях произрастания предпочтение необходимо отдавать хвойным породам. По ранним исследованиям, проведенным на бывшей Клетской НИАГЛОС, они являются наиболее перспективными для лесоразведения в конкретных условиях.

Для более оптимального снегоотложения можно порекомендовать при формировании систем лесополос, состоящих из двух лесополос и вала, следующее: первую парную лесную полосу формировать по принципу комбинированной конструкции лесных полос [1, 15]. В насаждение подобрать древесные породы, которые самостоятельно в ходе своего роста очищаются от нижних веток, а по верхней опушке располагать низкорослый кустарник, который будет обеспечивать необходимое снегозадержание. Смородина золотистая, которую широко применяют при лесомелиорации, порой достигает 2,0 м в высоту, хотя для эффективного снегозадержания достаточно 50 см. Смородину можно высаживать в прибалочных и приовражных лесополосах, где необходимо максимально предотвратить переброс снежных масс в гидрографическую сеть и снизить риск развития смыва почв и размыва их берегов. Вторые парные лесополосы необходимо формировать продуваемой конструкции (без кустарника). При этом снега в ней накапливаться будет меньше, но он будет переоткладываться в нижерасположенное поле. При этом в это насаждение необходимо подбирать более засухоустойчивые древесные породы.

Заключение. Снегоотложение в системе контурных стокорегулирующих лесных полос, усиленных противозерозионными валами на всем протяжении, подчинено определенным закономерностям, зависящих от их расположения относительно преобладающего направления метелей и суммарной дальности их ветроломного влияния, количества осадков в виде снега. Плотная конструкция насаждений и имеющийся между парными лесополосами вал препятствовали дополнительному переносу снега на межполосные пространства. При этом в зоне нижнего шлейфа аккумуляция снежных масс происходила интенсивнее, что повышало риск возникновения стока талых вод и потери дополнительного источника увлажнения в засушливых условиях степи. При дальнейшем использовании данной технологии лесомелиорации склонов необходимо учитывать выявленные недостатки, уменьшая рядность лесных насаждений до 3-5, более обоснованно подходить к подбору древесных пород, ориентируясь на локальные изменения лесорастительных условий, использовать низкорослый кустарник (высотой 50 см). Смородину золотистую применять при создании прибалочных и приовражных лесополос.

Conclusions. Snow deposition in the system of contour runoff-regulating forest belts reinforced with erosion control windrows along the entire length is subject to certain regularities depending on their location relative to the prevailing direction of snowstorms and the total distance of their wind-break influence, the amount of precipitation in the form of snow. The dense structure of forest plantations and the mound between the paired forest belts prevented additional snow transfer to the inter-floor spaces. At the same time, snow masses accumulated more intensively in the lower plume zone, which increased the risk of melt water runoff and loss of an additional source of moisture in the dry conditions of the steppe. At further use of the given technology of slopes forest amelioration it is

necessary to take into account the revealed disadvantages, reducing the row of forest plantations to 3-5, more reasonable approach to the selection of tree species, focusing on the local changes in forest conditions, to use low-growing shrubs (height 50 cm). Golden currant should be used in the creation of near-baloch and frontage forest belts.

Библиографический список

1. Барабанов А. Т., Кулик А. В. Роль стокорегулирующих лесополос в регулировании снегоотложения и промерзания почв в европейской части РФ // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 2 (46). С. 85-90.
2. Барабанов А. Т., Панов В. И. Влияние снегозапасов на формирование поверхностного стока талых вод в степной зоне на обыкновенных черноземах Самарского Заволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 96-105.
3. Бычкова В. И., Петров В. Л., Рубинштейн К. Г. Численное моделирование возникновения и развития снежной метели при помощи модели WRF-ARW // Труды Гидрометцентра России. 2015. № 353. С. 46-62.
4. Влияние рельефа и растительности на распределение снежного покрова в бассейнах малых рек / Н. С. Евсева, А. И. Петров, М. А. Каширо, З. Н. Квасникова, А. С. Батманова, А. В. Хон // Геосферные исследования. 2017. № 4. С. 64-74.
5. Курбатова М. М., Бычкова В. И. Моделирование скорости ветра при низовой метели с помощью модели WRF-ARW // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. № 1 (375). С. 130-141.
6. Моделирование процесса отложения снега на автомагистралях в программе FLOWVISION / Т. В. Самодурова, О. В. Гладышева, Н. Ю. Алимова, Е. А. Бончева // Научный журнал строительства и архитектуры. 2020. Вып. № 2 (58). С. 72-83.
7. Панов В. И. Ландшафтный гидромелиоративно-гидротехнический кластер в ландшафтно-синергетическом агроэкологическом природопользовании степного засушливого пояса России // Научно-агрономический журнал. 2021. № 1 (112). С. 6-18.
8. Панов В. И., Барабанов А. Т. Новые перспективные многоцелевые конструкции стокорегулирующих лесных полос для степного засушливого пояса России // Научно-агрономический журнал. 2022. № 2 (117). С. 15-24.
9. Полуэктов Е. В., Рощина Ж. В. Мониторинг биоинженерного сооружения по регулированию стока талых вод // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 2 (38). С. 56-70.
10. Проездов П. Н., Маштаков Д. А., Панфилов А. В. Теоретическое обоснование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агролесомелиорации в степной и сухостепной зонах Поволжья // Нива Поволжья. 2017. № 2 (43). С. 42-48.
11. Сосновский А. В., Осокин Н. И., Черняков Г. А. Динамика снегозапасов на равнинной территории России в лесу и в поле при климатических изменениях // Лёд и Снег. 2018. Т. 58. № 2. С. 183-190.
12. Троц В. Б. Агроэкологическое влияние полезащитных лесных полос // Известия Оренбургского ГАУ. 2016. № 4 (60). С. 189-192.
13. Шерстюков А. Б., Анисимов О. А. Оценка влияния снежного покрова на температуру поверхности почвы по данным наблюдений // Метеорология и гидрология. 2018. № 2. С. 17-25.
14. Effects of a snow-compaction treatment on soil freezing, snowmelt runoff, and soil nitrate movement: A field-scale pairedplot experiment / Yu. Iwata, Yo Yanai, T. Yazaki, T. Hirota // J. Hydrology. 2018. V. 567. Pp. 280-289.
15. Kulik A., Gordienko O., Shaifullin M. Influence of protective forest belts on snow accumulation in agricultural landscapes of Volgograd region, Russia // Journal of Agrometeorology. 2023. Vol. No. 25 (1). Pp. 120-127.

16. Snow melting water infiltration mechanism of farmland freezing-thawing soil and determination of meltwater infiltration parameter in seasonal frozen soil area / Y. Li, Q. Fu, T. Li, D. Liu, R. Hou, Q. Li, J. Yi, M. Li, F. Meng // *Agricultural Water Management*. 2021. No 258. 13 p.

17. Vavin V. S., Popov A. V., Syromyatnikov V. Yu. Snow-regulating role of forest belts depending on the field area // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. №392. 7 p.

References

1. Barabanov A. T., Kulik A. V. The role of runoff-regulating forest belts in regulating snow deposition and soil freezing in the European part of the Russian Federation // *Proceedings of the Lower Volga Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2017. № 2 (46). Pp. 85-90.

2. Barabanov A. T., Panov V. I. Influence of snow reserves on the formation of surface runoff of melt waters in the steppe zone on ordinary chernozems of the Samara Trans-Volga region // *Proceedings of the Lower Volga Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2020. № 4 (60). Pp. 96-105.

3. Bychkova V. I., Petrov V. L., Rubinstein K. G. Numerical modeling of the emergence and development of a snowstorm using the WRF-ARW model. 2015. № 353. Pp. 46-62.

4. The influence of relief and vegetation on the distribution of snow cover in the basins of small rivers / N. S. Evseeva, A. I. Petrov, M. A. Kashiro, Z. N. Kvasnikova, A. S. Batmanova, A. V. Khon // *Geospheric research*. 2017. № 4. Pp. 64-74.

5. Kurbatova M. M., Bychkova V. I. Modeling of wind speed in a grassroots blizzard using the WRF-ARW model // *Hydrometeorological studies and forecasts*. 2020. № 1 (375). Pp. 130-141.

6. Modeling of the process of snow deposition on highways in the FLOWVISION program / T. V. Samodurova, O. V. Gladysheva, N. Yu. // *Scientific Journal of Construction and Architecture*. 2020. Iss. № 2 (58). Pp. 72-83.

7. Panov V. I. Landscape Irrigation and Drainage and Hydrotechnical Cluster in the Landscape-Synergetic Agroecological Nature Management of the Steppe Dry Belt of Russia // *Scientific and agronomic journal*. 2021. № 1 (112). Pp. 6-18.

8. Panov V. I., Barabanov A. T. New perspective multi-purpose structures of drain-regulating forest belts for the steppe arid belt of Russia // *Scientific and agronomic journal*. 2022. № 2 (117). Pp. 15-24.

9. Poluektov E. V., Roshchina Zh. V. Monitoring of bioengineering structures for regulating melt water runoff // *Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. 2020. № 2 (38). Pp. 56-70.

10. Proezdodov P. N., Mashtakov D. A., Panfilov A. V. Theoretical justification of adaptive-landscape systems of agriculture and agroforestry in the steppe and dry steppe zones of the Volga region // *Niva of the Volga region*. 2017. № 2 (43). Pp. 42-48.

11. Sosnovsky A. V., Osokin N. I., Chernyakov G. A. Dynamics of snow reserves in the plain territory of Russia in the forest and in the field under climatic changes // *Ice and Snow*. 2018. V. 58. № 2. Pp. 183-190.

12. Trots V. B. Agroecological influence of field-protective forest belts // *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2016. № 4 (60). Pp. 189-192.

13. Sherstyukov A. B., Anisimov O. A. Assessment of the influence of snow cover on soil surface temperature according to observations // *Meteorology and hydrology*. 2018. № 2. Pp. 17-25.

14. Effects of a snow-compaction treatment on soil freezing, snowmelt runoff, and soil nitrate movement: A field-scale pairedplot experiment / Yu. Iwata, Yo Yanai, T. Yazaki, T. Hirota // *J. Hydrology*. 2018. V. 567. Pp. 280-289.

15. Kulik A., Gordienko O., Shaifullin M. Influence of protective forest belts on snow accumulation in agricultural landscapes of Volgograd region, Russia // *Journal of Agrometeorology*. 2023. Vol. No. 25 (1). Pp. 120-127.

16. Snow melting water infiltration mechanism of farmland freezing-thawing soil and determination of meltwater infiltration parameter in seasonal frozen soil area / Y. Li, Q. Fu, T. Li, D. Liu, R. Hou, Q. Li, J. Yi, M. Li, F. Meng // *Agricultural Water Management*. 2021. No 258. 13 p.

17. Vavin V. S., Popov A. V., Syromyatnikov V. Yu. Snow-regulating role of forest belts depending on the field area // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. № 392. 7 p.

Информация об авторе

Кулик Анастасия Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории защиты почв от эрозии, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (РФ, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8736-5464>, e-mail: kulika@vfanc.ru

Authors Information

Kulik Anastasia Vladimirovna, candidate of agricultural sciences, senior researcher at the Laboratory of Soil Protection from Erosion of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Candidate of agricultural sciences (Russia, 400062, Volgograd, pr. Universitetsky, 97), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8736-5464>, kulika@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-03-13

STUDY OF THE WATER BALANCE OF SANDY LANDS BASED ON GEOINFORMATION MAPPING

A. K. Kulik

Federal State Budget Scientific Institution

*«Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective
Afforestation of the Russian Academy of Science»
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kulikak79@yandex.ru

*The work was carried out within the framework of the State Assignment №122020100450-9
"Development of a new methodology for optimal management of bioresources in agrolandscapes of
the arid zone of the Russian Federation using system-dynamic modeling of soil-hydrological
processes, integrated assessment of the impact of climate change and anthropogenic loads on the
agrobiological potential and forest conditions"*

Received 01.07.2023

Submitted 15.08.2023

Abstract

Introduction. Sandy massifs of the Don River and its tributaries, with a total area of more than 1 million hectares, are local hydraulic reservoirs and desalinators of river waters. Atmospheric precipitation, passing through the salt-washed aeration zone, drains into groundwater, springs and rivers. The volume of this water mass depends on the amount of precipitation, the type of sand and the biomass growing in the studied territories. **Materials and methods.** The purpose of the work is to determine the quantitative and qualitative indicators of the water supply of plant formations and river systems, based on the study of the water balance of different types of sands and the determination of their areas when deciphering satellite images of the territory. To accurately calculate the water balance of the sub-region, it is necessary to identify the types of soil and vegetation conditions and the areas occupied by them. When using geoinformation mapping based on the decoding of satellite images by the method of selection of standards and pixel image analysis, the main types of sands and the area of living ground cover in the key area of the Hopero-Medveditsky sand massif were identified. During field studies, the vegetation cover was studied and the features of the water balance for each standard were determined, the amount of water discharged by a key site in the Kumylga river was determined. **Results and conclusion.** On the basis of the selected benchmarks and further interpretation of the space image of the territory, a soil and vegetation map of the key area was drawn up and the areas of sandy land types were determined. Based on water-balance studies at the key site, the annual discharge of precipitation to groundwater is 5348 thousand m³. Water intakes in the operating springs and on the left bank of the Kumylga river allowed to confirm the correctness of our calculations.