



Научная статья

УДК 630\*116.64:631.43:631.559

doi: 10.55186/25876740\_2023\_66\_4\_413

## ИЗМЕНЕНИЕ АГРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ СКЛОНОВ АГРОЛЕСОЛАНДШАФТНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНА

С.А. Тарасов, И.В. Подлесных, А.В. Прущик

Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия

**Аннотация.** В статье показано влияние лесополос в составе агролесоландшафтного противозерозионного комплекса и элементов рельефа на изменение агрофизических свойств почвы в начале весенней вегетации сельскохозяйственных культур и после уборки урожая. Исследования проводили в условиях стационарного опыта по контурно-мелиоративному земледелию ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» (Курская область) в 2020-2022 гг. Установлено, что лесополосы выполняют гидромелиоративную роль, защищая сельскохозяйственные культуры от избытка влаги в почве при обильных осадках, и обеспечивая увеличение запасов влаги при малом количестве осадков. Эффект повышения запасов влаги в почвенном слое под влиянием лесополос наиболее ярко проявляется в послепосевной период. В годы с осадками выше многолетней нормы запасы влаги на плакоре и в нижней части склона различаются незначительно. В среднем за годы исследований на водосборе с лесополосами твердость почвы была на 1,4 кг/см<sup>2</sup> ниже, чем на водосборе без противозерозионных элементов, в нижней части склона — на 2,0 кг/см<sup>2</sup> выше, чем на плакоре, и в послепосевной период — на 4,3 кг/см<sup>2</sup> выше, чем в начале весенней вегетации. В лесной полосе твердость почвы на 4,8-12,4 кг/см<sup>2</sup> ниже, чем в пахотных почвах. В годы со стоком талых вод шлейфы снега вблизи лесополос замедляют его скорость, обеспечивая фильтрацию в почвенный слой. В результате поступления в почву мелкодисперсных частиц физической глины с фильтрующей водой повышается твердость почвы, особенно при последующем снижении содержания в ней влаги. На водосборе с лесополосами урожайность озимой пшеницы выше на 0,71 т/га, ячменя — выше на 0,82 т/га, чем на водосборе без лесных полос. В нижней части склонов урожайность культуры во все годы ниже, чем на плакоре.

**Ключевые слова:** агролесоландшафтный комплекс, лесные полосы, агрофизические свойства почвы, запасы влаги, твердость почвы, урожайность

**Благодарности:** исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБНУ «Курский ФАНЦ» по теме № FZUW-2022-0002.

Original article

## CHANGES IN AGROPHYSICAL SOIL PROPERTIES OF AGROFORESTRY LANDSCAPE COMPLEX SLOPES IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

S.A. Tarasov, I.V. Podlesnykh, A.V. Prushchik

Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russia

**Abstract.** The article shows the influence of shelter-belts forest as part of the agroforestry landscape anti-erosion complex and relief elements on the the changes in agrophysical soil properties at the spring growing season crops beginning and after harvesting. The studies were carried out in the conditions in a stationary experiment on contour-reclamation agriculture of the Federal State Budgetary Institution "Federal Agricultural Kursk Research Center" of 2020-2022 years. It has been established that shelter-belts forest perform a hydro-reclamation role, protecting agricultural crops from excess moisture in the soil during heavy rainfall, and provide an increase in moisture reserves during low rainfall. The effect of increasing moisture reserves in the soil layer under the influence of shelter-belts forest is most pronounced in the post-harvest period. In years with precipitation above the long-term norm, the moisture reserves on the upland and in the lower part of the slope differ insignificantly. On average, over the years of research, in the catchment area with shelter-belts forest, soil hardness was 1.4 kg/cm<sup>2</sup> lower than in the catchment area without anti-erosion elements, in the lower part of the slope it was 2.0 kg/cm<sup>2</sup> higher than on the upland, and in the post-harvest period by 4.3 kg/cm<sup>2</sup> higher than at the beginning of the spring growing season. Soil hardness is 4.8-12.4 kg/cm<sup>2</sup> lower than in arable soils in the shelter-belt forest. In years with meltwater runoff, snow plumes near shelter-belts forest slow down its speed, providing filtration into the soil layer. As a result of the entry into the soil of fine particles of physical clay with filtering water, the hardness of the soil increases, especially with a subsequent decrease in the moisture content in it. In the watershed with shelter-belts forest, the yield of winter wheat is higher by 0.71 t/ha and the yield of barley is higher by 0.82 t/ha than in the watershed without shelter-belts forest. In the lower part of the slopes, crop yields are lower in all years than on the upland.

**Keywords:** agroforestry and landscape complex, shelter-belts forest, agrophysical properties of the soil, moisture reserves, soil hardness, productivity

**Acknowledgments:** the research was carried out within the framework of the State tasks of FSBSI «Federal Agricultural Kursk Research Center» on topic No. FZUW-2022-0002.

**Введение.** Почвенное плодородие определяется не только наличием элементов минерального питания, ростом урожайности культур, но и повышением содержания в ней гумуса и, как следствие, улучшением агрофизических свойств почвенного профиля. Поэтому агрофизические свойства почвы — один из критериев, который используется при оценке ее плодородия. Агрофизические свойства непосредственно влияют на условия произрастания сельскохозяйственных культур и характеризуются водоудерживающей способностью и запасами влаги в почве, водо- и воздухопроницаемостью, плотностью сложения и другими показателями [1]. Благоприятные агрофизические свойства

почвы обеспечивают необходимые условия для нормального роста и развития растений. Оптимизация агрофизических свойств почв на склонах — эффективное средство борьбы с водной эрозией. Паровая система содержания почвы приводит к разрушению почвенной структуры, ухудшению других агрофизических свойств и интенсивному развитию водно-эрозионных процессов на склонах. Использование дерново-перегнойной системы содержания почвы является эффективным способом улучшения ее агрохимических и агрофизических свойств, надежным средством защиты от водной эрозии [2]. За счет контурно-полосного размещения культур поперек склона и поверхностной

заделки люпина в качестве сидерата, снижается плотность сложения почвы, повышается ее порозность и водопроницаемость, что способствует переводу поверхностного стока талой и ливневой воды во внутрисочвенный сток [3]. Существует мнение, что наиболее эффективным и перспективным приемом защиты почв от водной эрозии на склонах является их окультуривание. Оно выражается в улучшении пищевого режима и водно-физических свойств почв за счет использования соответствующей системы обработки почвы, использования минеральных и органических удобрений. Окультуренные почвы характеризуются более высоким содержанием гумуса, что, в свою очередь, способствует

улучшению их агрофизических свойств, благоприятствующих сокращению поверхностного стока талых и ливневых вод, снижению водно-эрозийных процессов [4].

Важным средообразующим фактором, формирующим особый микроклимат на агроландшафтной территории, являются лесные защитные насаждения. Они характеризуются относительной долговечностью и стабильным влиянием на окружающую среду [5]. В зависимости от конструкции защитных лесных насаждений изменяется скорость ветровых потоков, температура и влажность воздуха в межполосном пространстве, регулируется снегоотложение на полях [6]. Лесные полосы обеспечивают накопление на полях более мощного снежного покрова, снижают глубину промерзания почвы и интенсивность стока талых вод на склонах в период весеннего снеготаяния [7]. Лесомелиоративные мероприятия имеют первостепенное значение при защите почв от водной эрозии на склонах, в том числе и за счет оптимизации агрофизических свойств почвы. Большое значение агрофизических свойств почвы в формировании условий для роста и развития сельскохозяйственных культур, получения высоких и стабильных урожаев, в воспроизводстве и сохранении на высоком уровне ее плодородия не вызывает сомнений. Поэтому изучение и оценка агрофизического состояния почвенного покрова, а также факторов, влияющих на агрофизические параметры почв в условиях агроландшафтов, является актуальной проблемой. Полученная информация позволяет целенаправленно управлять агрофизическими условиями произрастания растений, миграцией веществ в почве, повышать и сохранять устойчивость агроценозов [8].

**Цель исследования** — изучить влияние различных элементов агролесоландшафтного комплекса на изменение агрофизических свойств черноземных почв и урожайность сельскохозяйственных культур на склонах в Центрально-Черноземном регионе.

**Условия и методика исследований.** Исследования выполнены в 2020-2022 гг. в стационарном полевом опыте по контурно-мелиоративному земледелию ФГБНУ «Курский ФАНЦ» в Медвенском районе Курской области на незэродированных и в слабой степени эродированных черноземных почвах. Объекты исследований — агрочернозем миграционномицеллярный, расположенный на двух водосборах с ложбинно-балочным рельефом, которые отличались различными вариантами противоэрозийной организации территории. Предмет исследований — агрофизические свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. Один из водосборов на площади 44,3 га характеризуется отсутствием специальных противоэрозийных элементов (контроль). На другом водосборе с агролесоландшафтным комплексом, площадь которого 46,6 га, организована противоэрозийная защита территории в виде стокорегулирующих двурядных лесных полос с тополевым древостоем. Лесные полосы посажены в 1985 г. и размещены по горизонталям склона в два ряда на расстоянии 216 м друг от друга. Каждая лесополоса для повышения противоэрозийного эффекта усилена водоулавливающей канавой в ее центре между рядами деревьев, а также водоудерживающим валом, размещенным в нижней части лесополосы по склону.

Почвенный покров на территории водосборов представлен агрочерноземом миграционномицеллярным среднемоющим средне-пахотным средне-карбонатным среднегумусированным тяжелосуглинистым (Нарлич Hortic Chernozems (WRB)). Средняя крутизна склонов составляет 2,5°. Потенциально эрозийно-опасные почвы на склонах в пределах водосборов составляют 67,0% территории, на долю слабо-эродированных почв приходится 10,4%. Содержание общего гумуса в слое почвы 0-20 см на водосборе без противоэрозийных элементов варьирует от 5,58 до 5,62%, на водосборе с агролесоландшафтным комплексом — от 5,86 до 6,02%.

Показатели, характеризующие агрофизические свойства почв на водосборах с различным насыщением противоэрозийными элементами, определяли на плакорах, а также в нижней части склонов западной экспозиции. В условиях весенне-летнего периода 2020 г. почва в пределах водосборов использовалась под посевами озимой пшеницы, в 2021 г. — под гречихой, и в 2022 г. — под ячменем. Отбор проб для определения запасов доступной влаги, а также определение твердости почвы проводили в начале весенней вегетации озимой пшеницы и при появлении всходов гречихи и ярового ячменя, а также после уборки урожая всех возделываемых культур. Таким образом, в эксперименте изучали изменение агрофизических свойств почвы во времени от начала весенней вегетации культур до послеуборочного периода (фактор С), в зависимости от элементов рельефа, представленных плакором и нижней частью склона (фактор В), а также в зависимости от водосборов с различным насыщением элементами противоэрозийной защиты (фактор А). Почвенные образцы для определения влажности отбирали грунтовым буром АМ-16 послойно до метровой глубины почвенного профиля. Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом с последующим расчетом запасов влаги в почвенной толще. Твердость почвы в слое 0-30 см определяли усовершенствованным твердомером

конструкции Ю.Ю. Ревякина [9]. Учет урожайности возделываемых культур проводили зерноуборочным комбайном сплошным методом в трехкратной повторности. Экспериментальные данные по всем показателям обрабатывали методом дисперсионного анализа.

**Результаты исследований.** В годы исследований метеорологические условия в период весенне-летней вегетации возделываемых культур заметно отличались от средних многолетних значений по температурному режиму и по количеству выпадающих осадков (рис. 1).

Тем не менее характерной чертой температурного режима во все годы было то, что в апреле вегетация культур проходила в условиях пониженных температур. Фактическая температура воздуха была ниже многолетнего значения для данного периода.

В мае 2021 г. температура воздуха была в пределах многолетней нормы, однако в условиях 2020 и 2022 гг. она оказалась ниже нормы на 2,6 и 2,7°C соответственно. С июня по август во все годы исследований, за некоторым исключением, вегетация культур проходила в условиях повышенного температурного режима. В пределах многолетней нормы температура воздуха была только в июле 2020 и 2022 гг. и в августе 2020 г.

Осадки в период вегетации культур во все годы исследований выпадали неравномерно. Характерно, что в весенний период их было достаточно для получения дружных всходов и нормального роста, и развития гречихи в 2021 г. и ярового ячменя в 2022 г. В период весенней вегетации озимой пшеницы в условиях 2020 г. осадки не лимитировали рост и развития ее посевов. В мае во все годы осадков выпало заметно больше среднего многолетнего значения. В июне и июле в условиях 2020 и 2021 гг. осадки выпадали в пределах близких к многолетней норме или несколько выше нормы, и лишь в июне 2022 г. их выпало заметно меньше многолетнего значения для данного периода. В августе во все годы количество выпавших осадков было меньше многолетней нормы.

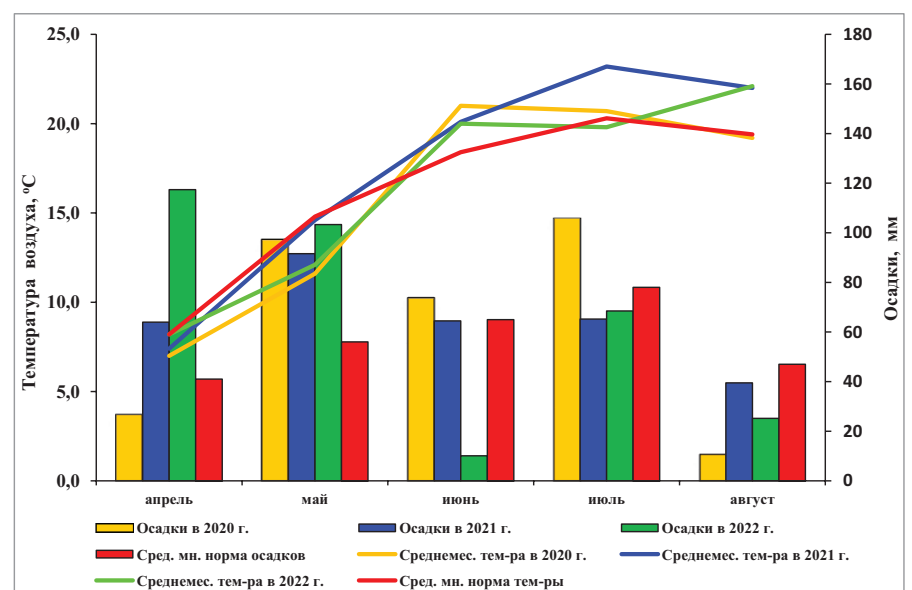


Рисунок 1. Температура воздуха и осадки в период весенне-летней вегетации сельскохозяйственных культур

Figure 1. Air temperature and precipitation during the spring-summer growing season from agricultural crops



Оценивая погодные условия в период вегетации сельскохозяйственных культур по гидротермическому коэффициенту увлажнения Селянинова (ГТК), можно отметить, что во все годы эксперимента фактические значения этого показателя были выше многолетней нормы. При норме ГТК для периода с апреля по август 1,18, в условиях 2020 и 2022 гг. он составил 1,32 и в условиях 2021 г. — 1,24.

В соответствии с классификацией запасов продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см [10] во все годы по всем водосборам, элементам рельефа и срокам определения показателя они были более 160 мм, то есть очень хорошими. В среднем по вариантам опыта в условиях 2020 г. запасы влаги были наиболее высокими, в 2021 г. они были меньше на 51 мм, и в 2022 г. — меньше на 39 мм (табл. 1).

При относительно большом количестве выпадающих осадков в годы исследований не установлено четко выраженного влияния лесных полос и элементов рельефа на запасы влаги в почвенной толще. Анализ средних значений за 3 года исследований показал, что запасы влаги в метровом слое почвы на водосборе с агролесоландшафтным комплексом и контроле, а также на плакоре и в нижней части склонов, были одинаковыми в пределах погрешности. Однако проявилось заметное влияние сроков определения на запасы влаги в почве: после уборки урожая в среднем за годы исследований запасы влаги в метровом слое почвы были на 61 мм меньше в сравнении с началом весенней вегетации культур. Тем не менее запасы влаги в почве по срокам определения показателя зависели и от количества выпадающих осадков перед уборкой урожая. В 2020 г. в июне и июле осадков выпало заметно больше многолетней нормы, и, соответственно, после уборки урожая запасы влаги в почве оказались на 13 мм выше, чем в начале весенней вегетации озимой пшеницы. Однако в условиях 2021 г. после уборки урожая гречихи запасы влаги в почве оказались меньше на 105 мм в сравнении с началом вегетации культур, и в условиях 2022 г. после уборки ячменя — соответственно, меньше на 92 мм. Полученные результаты объясняются тем, что перед уборкой культур в эти годы осадков выпало меньше многолетней нормы и имеющиеся в почве запасы влаги использовались на формирование урожая.

Более детальный анализ изменения запасов влаги в почве в зависимости от водосборов с различным насыщением элементами противозерозионной защиты, с учетом метеорологических особенностей каждого года и сроков определения показателя, позволил выявить гидромелиоративную роль лесных полос. Установлено, что в среднем за 3 года исследований, которые в начале весенней вегетации культур характеризовались относительно большим количеством выпадающих осадков и высокими запасами влаги в метровом слое почвы, на водосборе с агролесоландшафтным комплексом они были на 10 мм меньше, чем на водосборе без противозерозионных элементов. В период после уборки урожая по всем вариантам опыта во все годы исследований, за исключением 2020 г., когда выпали осадки, влаги в почве было заметно меньше в сравнении с началом весенней вегетации культур. Более низкие запасы влаги к периоду уборки культур объясняются обычно тем, что она расходуется на формирование их урожая. В проведенных нами исследованиях

установлено, что в послеуборочный период на фоне относительно менее высоких запасов влаги в среднем по годам на водосборе с лесными полосами они были на 7 мм больше, чем на контроле. Особенно эффект повышения запасов влаги в почве под влиянием лесных полос проявился в условиях 2022 г., когда в июне и июле осадков выпало меньше многолетних значений. В этих условиях на водосборе с агролесоландшафтным комплексом запасы влаги в метровом слое почвы были на 16 мм больше, чем на контроле. Таким образом, лесные полосы обеспечивают защиту посевов от излишнего переувлажнения почвы в периоды с обильным выпадением осадков и сохранение влаги в почве в периоды с относительно небольшим количеством осадков.

Оценивая влияние изучаемых факторов на изменение твердости почвы, можно отметить, что в среднем за годы исследований на водосборе с лесными полосами она была на 1,4 кг/см<sup>2</sup> ниже, чем на водосборе без противозерозионных элементов, в нижней части склона — на 2,0 кг/см<sup>2</sup> выше, чем на плакоре, и после уборки урожая культур — на 4,3 кг/см<sup>2</sup> выше в сравнении с началом их весенней вегетации (табл. 2).

В среднем по вариантам опыта в условиях 2020 г. на посевах озимой пшеницы твердость тяжелосуглинистого чернозема была самой низкой и составила 37,7 кг/см<sup>2</sup>, в 2021 г. на посевах

гречихи она была выше на 6,2 кг/см<sup>2</sup>, и в 2022 г. на посевах ячменя — на 5,5 кг/см<sup>2</sup> выше, чем на посевах озимой пшеницы. Детальный анализ изменения твердости почвы в условиях каждого года исследований свидетельствует как о некоторых закономерностях влияния изучаемых факторов на этот показатель, так и об особенностях их влияния. На водосборе с агролесоландшафтным комплексом в 2020 г. твердость почвы была на 2,3 кг/см<sup>2</sup> ниже, в 2021 г. — на 1,7 кг/см<sup>2</sup> выше и в 2022 г. — на 3,6 кг/см<sup>2</sup> ниже в сравнении с водосбором без противозерозионных элементов. Увеличение твердости почвы на водосборе с лесными полосами в условиях 2021 г. на посевах гречихи, особенно в нижней части склона после уборки урожая культуры, которая проходила в августе при малом количестве выпадающих осадков, объясняется следующими факторами. В зимний период 2021 г., в отличие от других лет исследования, снежных осадков было значительно больше многолетней нормы. При норме 47 мм в январе выпало 72 мм осадков, в феврале 68 мм при норме 41 мм осадков. В период весеннего снеготаяния большие запасы снега, особенно на водосборе с лесными полосами, приводили к формированию поверхностного стока талых вод. Мутность стока обусловлена тем, что в водном потоке происходит истирание почвенных агрегатов и образуются взвешенные мелкодисперсные частицы [11].

Таблица 1. Запасы влаги в слое почвы 0-100 см на водосборе с агролесоландшафтным комплексом и контроле  
Table 1. Moisture reserves in catchments with the agroforestry landscape complex and control in the 0-100 cm layer

| Водосбор (фактор А)                    | Элементы рельефа (фактор В) | Сроки определения показателя (фактор С) | Запасы доступной влаги, мм |         |         |         |
|--|-----------------------------|---|----------------------------|---------|---------|---------|
|  |                             |   | 2020 г.                    | 2021 г. | 2022 г. | Среднее |
| Контроль                               | Плакор                      | Начало вегетации                        | 299                        | 301     | 308     | 303     |
|  |                             | После уборки урожая                     | 296                        | 182     | 194     | 224     |
|  | Низ склона                  | Начало вегетации                        | 287                        | 303     | 305     | 298     |
|  |                             | После уборки урожая                     | 302                        | 202     | 210     | 238     |
| С агролесоландшафтным комплексом       | Плакор                      | Начало вегетации                        | 283                        | 284     | 302     | 290     |
|  |                             | После уборки урожая                     | 310                        | 191     | 224     | 242     |
|  | Низ склона                  | Начало вегетации                        | 285                        | 297     | 292     | 291     |
|  |                             | После уборки урожая                     | 300                        | 189     | 212     | 234     |
| НСР <sub>05</sub> фактора А            |                             |   | 4                          | 2       | 2       | -       |
| НСР <sub>05</sub> фактора В            |                             |   | 4                          | 2       | 2       | -       |
| НСР <sub>05</sub> фактора С            |                             |   | 4                          | 2       | 2       | -       |
| НСР <sub>05</sub> для частных различий |                             |   | 7                          | 4       | 4       | -       |

Таблица 2. Твердость почвы на водосборах с различным насыщением противозерозионными элементами в слое 0-30 см  
Table 2. Soil hardness in catchments with different saturation with anti-erosion elements in a layer of 0-30 cm

| Водосбор (фактор А)                    | Элементы рельефа (фактор В) | Сроки определения показателя (фактор С) | Твердость почвы, кг/см <sup>2</sup> |         |         |         |
|--|-----------------------------|---|-------------------------------------|---------|---------|---------|
|  |                             |   | 2020 г.                             | 2021 г. | 2022 г. | Среднее |
| Контроль                               | Плакор                      | Начало вегетации                        | 41,1                                | 37,3    | 37,1    | 38,5    |
|  |                             | После уборки урожая                     | 32,5                                | 44,7    | 55,6    | 44,3    |
|  | Склон                       | Начало вегетации                        | 39,6                                | 40,9    | 39,1    | 39,9    |
|  |                             | После уборки урожая                     | 42,2                                | 49,6    | 48,1    | 46,6    |
| С агролесоландшафтным комплексом       | Плакор                      | Начало вегетации                        | 44,4                                | 37,4    | 36,6    | 39,5    |
|  |                             | После уборки урожая                     | 30,4                                | 46,7    | 43,2    | 40,1    |
|  | Склон                       | Начало вегетации                        | 43,2                                | 39,8    | 42,2    | 41,7    |
|  |                             | После уборки урожая                     | 28,3                                | 55,1    | 43,5    | 42,3    |
| НСР <sub>05</sub> фактора А            |                             |   | 1,5                                 | 1,5     | 2,0     | -       |
| НСР <sub>05</sub> фактора В            |                             |   | 1,5                                 | 1,5     | 2,0     | -       |
| НСР <sub>05</sub> фактора С            |                             |   | 1,5                                 | 1,5     | 2,0     | -       |
| НСР <sub>05</sub> для частных различий |                             |   | 3,0                                 | 3,0     | 4,0     | -       |





В исследованиях В.М. Ивонина [12] установлено, что лесные полосы на склонах по опушкам насаждений формируют снежные шлейфы, которые замедляют поверхностный сток талых вод. Поэтому на фоне лесных полос в нижней части склона в большем количестве оседали мелкодисперсные илестые и глинистые частицы почвы из мутного стока. При замедлении скорости талых вод на склонах они просачивались в почвенную толщу, переходя во внутриводосборный сток, увлекая за собой смытые ранее мелкодисперсные глинистые частицы. Наличие бесструктурных глинистых частиц приводит к увеличению плотности сложения почвы [13], и при снижении запасов влаги в почве является дополнительным фактором увеличения ее твердости.

При оценке влияния элементов рельефа на изменение твердости почвы установлено, что только в 2021 г. в нижней части склона она была существенно (на 4,9 кг/см<sup>2</sup>) выше в сравнении с плакорным участком. В 2020 г. проявилась тенденция повышения твердости почвы в нижней части склона (на 1,2 кг/см<sup>2</sup>), однако в условиях 2022 г. твердость почвы на плакоре и в нижней части склона была практически одинаковой.

Наиболее сильно твердость почвы в годы исследований изменялась в зависимости от сроков определения показателя. В условиях 2020 г. после уборки урожая озимой пшеницы она была на 8,7 кг/см<sup>2</sup> выше, чем в начале весенней вегетации культуры, однако в 2021 г. после уборки урожая гречихи твердость почвы была выше на 10,1 кг/см<sup>2</sup>, и в 2022 г. после уборки ячменя, соответственно, выше на 8,8 кг/см<sup>2</sup> в сравнении с началом весенней вегетации культуры. Относительно невысокую твердость почвы после уборки урожая в сравнении с началом весенней вегетации озимой пшеницы в условиях 2020 г. можно объяснить обильными осадками в июне и июле и, соответственно, более высокими запасами влаги в почве в период после уборки урожая (табл. 1). Известно, что твердость почвы в значительной степени зависит от ее влажности: с повышением влажности почвы ее твердость снижается, а с понижением влажности — возрастает [14]. В остальные годы исследований твердость почвы была более высокой в послеуборочный период в сравнении с началом весенней вегетации культур. В условиях 2021 и 2022 гг. в послеуборочный период запасы влаги в почве были заметно меньше в сравнении с периодом начала весенней вегетации культур.

Сравнительный анализ твердости почвы непосредственно в лесной полосе с твердостью обрабатываемой почвы на водосборе с агролесоландшафтным комплексом показывает, что во все годы исследований в лесной полосе она была значительно ниже: в 2020 г. — на 4,8 кг/см<sup>2</sup>, в 2021 г. — на 12,4 кг/см<sup>2</sup>, и в 2022 г. — на 11,8 кг/см<sup>2</sup> (рис. 2). Полученные результаты свидетельствуют о том, что механическая обработка лишь на кратковременный период разрыхляет слой почвы. При трении о рабочие поверхности почвообрабатывающих орудий разрушаются структурные почвенные агрегаты. Для паровых полей характерной особенностью является уменьшение удельной поверхности почвенных частиц [15], и, соответственно, возрастает склонность почвы к уплотнению, повышению ее твердости.

Оценка влияния водосборов с различным насыщением противоэрозионными элементами

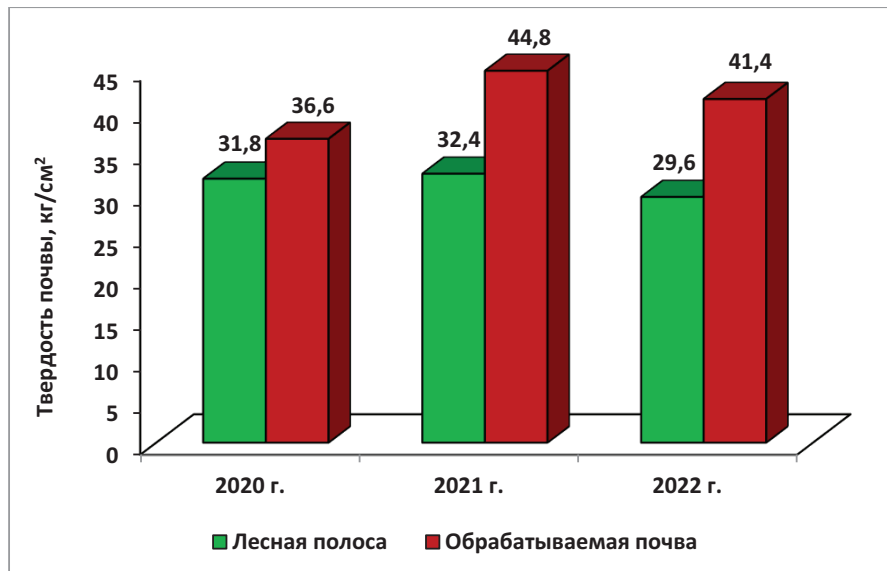


Рисунок 2. Твердость почвы в лесополосе и на пашне

Figure 2. Soil hardness in the shelter-belt forest and on arable land

Таблица 3. Урожайность культур на водосборе с агролесоландшафтным комплексом и контроле  
Table 3. Productivity of crops in catchments with the agroforestry landscape complex and control

| Водосбор (фактор А)                    | Элементы рельефа (фактор В) | Урожайность культур, т/га |                   |                  |
|--|-----------------------------|---------------------------|-------------------|------------------|
|  |                             | 2020 г. (озимая пшеница)  | 2021 г. (гречиха) | 2022 г. (ячмень) |
| Контроль                               | Плакор                      | 5,57                      | 1,45              | 4,46             |
|  | Склон                       | 5,60                      | 1,16              | 3,90             |
| С агролесоландшафтным комплексом       | Плакор                      | 6,46                      | 0,97              | 5,75             |
|  | Склон                       | 6,14                      | 0,78              | 4,25             |
| НСР <sub>05</sub> фактора А            |                             | 0,13                      | 0,04              | 0,13             |
| НСР <sub>05</sub> фактора В            |                             | 0,13                      | 0,04              | 0,13             |
| НСР <sub>05</sub> для частных различий |                             | 0,19                      | 0,05              | 0,18             |

на урожайность возделываемых культур показала, что в условиях 2020 и 2022 гг. на водосборе с агролесоландшафтным комплексом урожайность была существенно выше в сравнении с водосбором без противоэрозионных элементов. Однако в условиях 2021 г. урожайность гречихи на водосборе с лесными полосами оказалась ниже, чем на водосборе без противоэрозионной защиты. Во все годы исследований на плакоре урожайность была выше, чем на участках в нижней части склона (табл. 3).

Детальный анализ экспериментальных данных по урожайности озимой пшеницы, полученных в 2020 г., показывает, что урожайность культуры на водосборе с агролесоландшафтным комплексом была на 0,71 т/га больше, чем на контрольном водосборе. В нижней части склона урожайность пшеницы оказалась на 0,15 т/га меньше в сравнении с плакором. В 2021 г. на водосборе с лесными полосами урожайность гречихи была на 0,42 т/га меньше в сравнении с урожайностью, полученной на водосборе без противоэрозионных элементов. Полученный результат можно объяснить тем, что на водосборе с лесными полосами в условиях этого года твердость почвы оказалась значительно выше, чем на контрольном водосборе (табл. 2), соответственно, хуже были условия для роста и развития гречихи, которая достаточно требовательна к почвенным условиям произрастания. З.И. Глазова, В.М. Новиков [16] отмечают, что для

нормального роста и развития гречихи требуются легкие, хорошо аэрируемые почвы. При возделывании на плакоре урожайность гречихи была на 0,24 т/га выше в сравнении с урожайностью культуры, полученной в нижней части склона. В условиях 2022 г. на водосборе с лесными полосами урожайность ячменя оказалась на 0,82 т/га больше в сравнении с урожайностью, полученной на водосборе без противоэрозионных элементов. На плакоре урожайность ячменя была на 1,03 т/га больше, чем в нижней части склона.

#### Выводы.

1. Лесные полосы в агролесоландшафтном противоэрозионном комплексе выполняют гидромелиоративную роль, снижая запасы влаги в почве в периоды с большим количеством выпадающих осадков, защищая культуру от переизбытка влаги и обеспечивая более высокие запасы влаги в периоды с небольшим количеством выпадающих осадков. Как правило, после уборки урожая культур запасы влаги в почве меньше, чем в начале весенней вегетации, и проявляется влагозарядковая эффективность лесных полос в почве межполосного пространства. В годы с относительно большим количеством выпадающих осадков в период весенне-летней вегетации культур нет четко выраженного влияния на запасы влаги в почвенной толще элементов рельефа — на плакоре и в нижней части склонов запасы влаги примерно одинаковые.



2. Твердость почвы на водосборе с лесными полосами, как правило, ниже в сравнении с водосбором без противоэрозионных элементов. Однако, при наличии стока талых вод и снижении его скорости за счет снежных шлейфов, на водосборе с лесными полосами твердость почвы может возрастать за счет попадания в пахотный горизонт с фильтрующимися мутными водами мелкодисперсных частиц физической глины. Как правило, в нижней части склона твердость почвы выше, чем на плакоре, и закономерно она возрастает при снижении запасов влаги в почвенной толще в послуборочный период.

3. Непосредственно в лесной полосе твердость почвы на 4,8-12,4 кг/см<sup>2</sup> ниже в сравнении с пахотной почвой.

4. На водосборе с лесными полосами урожайность озимой пшеницы на 0,71 т/га и урожайность ячменя на 0,82 т/га выше, чем на водосборе без противоэрозионных элементов. Однако урожайность гречихи на водосборе с лесными полосами оказалась на 0,42 т/га ниже, чем на водосборе без противоэрозионных элементов, из-за чрезмерной твердости почвы и плохой ее аэрации. Во все годы исследований на плакоре урожайность возделываемых культур была существенно выше в сравнении с нижней частью склона.

5. Элементы агролесоландшафтного противоэрозионного комплекса оказывают заметное влияние на изменение агрофизических свойств почвы, как правило, в лучшую сторону, оптимизируя ее водный режим, снижая твердость почвы и повышая урожайность сельскохозяйственных культур.

#### Список источников

1. Банкин М.П., Банкина Т.А., Земесзиркс Н.Э. Агрофизический и биологический критерии плодородия автоморфных дерново-подзолистых почв агроценозов // Вестник СПбГУ. 2006. Серия 3. Вып. 1. С. 177-189.
2. Гурин А.Г., Резвякова С.В., Ревин Н.Ю. Проблемы сохранения почвы от эрозии в промышленных садах Центрально-Черноземного региона // Вестник аграрной науки. 2017. № 4 (67). С. 32-42.
3. Анисимова Т.Ю. Способы повышения плодородия пахотных склонов в Центральном Нечерноземье // Земледелие. 2015. № 1. С. 18-20.
4. Петелько А.И. Почвозащитные мероприятия по борьбе с водной эрозией // Природообустройство. 2011. № 4. С. 16-19.
5. Лавренникова О.А., Боцкарев Е.А., Зудилин С.Н. Агрландшафтный подход к организации территории севооборотов с использованием ГИС-технологий // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 1. С. 20-26. doi: 10.24411/2587-6740-2020-11004
6. Михин В.И., Баландин А.В. Роль полевых насаждений в изменении микроклимата агролесоландшафтов Тамбовской области // Политематический сетевой

электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 79. С. 455-464.

7. Kulik, A.V., Gordienko, O.A. (2022). Conditions of snowmelt runoff formation on slopes in the South of the Volga Upland. *Eurasian Soil Science*, vol. 55, no. 1, pp. 36-44. doi: 10.1134/S1064229322010094

8. Гончаров В.М. Проблема агрофизической оценки комплексного почвенного покрова // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 6. С. 560-564.

9. Вытовтов В.А., Прущик А.В., Сухановский Ю.П. и др. Устройство для измерения твердости почвы // Патент РФ № 2717169. Заявлено 14.06.2019. Опубликовано 18.03.2020.

10. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

11. Gendugov, V.M., Larionov, G.A., Krasnov S.F. et al. (2021). Modeling of attrition of soil aggregates in slope flows. *Eurasian Soil Science*, vol. 54, no. 4, pp. 648-652. doi: 10.1134/S1064229321040062

12. Ивонин В.М. Эрозия почв при талом стоке на склонах с лесными полосами // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11. № 2. С. 126-143. doi: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-126-143

13. Солнцева Н.Г., Калинин В.П. Баланс илстой фракции чернозема при орошении // Плодородие. 2007. № 1. С. 30-31.

14. Яковлев Н.С., Синещев В.Е., Маркин В.В. Анализ систем яблечной обработки почвы под зерновые культуры // Вестник НГИЭИ. 2021. № 4 (119). С. 5-20. doi: 10.24412/2227-9407-2021-4-5-20

15. Кононова А.А., Хайдапова Д.Д. Оценка структурного состояния почв методами физико-механики // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 1 (13). С. 11-18.

16. Глазова З.И., Новиков В.М. Оценка некоторых элементов агротехники гречихи // Земледелие. 2012. № 5. С. 17-20.

#### References

1. Bankin, M.P., Bankina, T.A., Zemeszirks, N.Eh. (2006). Agrofizicheskie i biologicheskie kriterii plodorodiya avtomorfnykh dernovo-podzolistykh pochv agrotsenozov [Agrophysical and biological yardsticks of fertility of automorphic poddy-podzolic soils of agrocenoses]. *Vestnik SPbGU [Vestnik SPbSU]*, series 3, vol. 1, pp. 177-189.
2. Gurin, A.G., Rezvyakova, S.V., Revyn, N.Yu. (2017). Problemy sokhraneniya pochvy ot ehrozii v promyshlennykh sadakh Tsentral'no-Chernozemnogo regiona [The problems of protecting the soil from erosion in the commercial orchards of the Central Black Earth region]. *Vestnik agrarnoi nauki [Bulletin of agrarian science]*, no. 4 (67), pp. 32-42.
3. Anisimova, T.Yu. (2015). Sposoby povysheniya plodorodiya pakhotnykh sklonov v Tsentral'nom Nечernozem'e [Raising fertility techniques of hillside soils in Central Non-Chernozem region]. *Zemledelie*, no. 1, pp. 18-20.
4. Petel'ko, A.I. (2011). Pochvozashchitnye meropriyatiya po bor'be s vodnoi ehroziei [Soil protection measures on water control]. *Prirodoobuстройство [Environmental engineering]*, no. 4, pp. 16-19.
5. Lavrennikova, O.A., Bochkarev, E.A., Zudilin, S.N. (2020). Agrolandschaftnyi podkhod k organizatsii territorii

sevooborotov s ispol'zovaniem GIS-tekhologii [Agrolandscape approach to the organization of the territory of crop rotation using GIS technologies]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaystvennyi zhurnal [International agricultural journal]*, no. 1, pp. 20-26. doi: 10.24411/2587-6740-2020-11004

6. Mikhin, V.I., Balandin, A.V. (2012). Rol' polezashchitnykh nasazhdenii v izmenenii mikroklimate agrolesolandschaftov Tambovskoi oblasti [The role of field-protection plantations in the change of agroforestry landscapes microclimate of Tambov region]. *Politematicheskii setevoy ehlektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University]*, no. 79, pp. 455-464.

7. Kulik, A.V., Gordienko, O.A. (2022). Conditions of snowmelt runoff formation on slopes in the South of the Volga Upland. *Eurasian Soil Science*, vol. 55, no. 1, pp. 36-44. doi: 10.1134/S1064229322010094

8. Goncharov, V.M. (2009). Problema agrofizicheskoi otsenki kompleksnogo pochvennogo pokrova [The problem of agrophysical assessment of complex soil cover]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Vestnik of the Orenburg State University]*, no. 6, pp. 560-564.

9. Vytovtov, V.A., Prushchik, A.V., Sukhanovskii, Yu.P. i dr. *Ustroystvo dlya izmereniya tverdsti pochvy [Device for measuring hardness of soil]*. Patent RF № 2717169. Zayavleno 14.06.2019. Opublikovano 18.03.2020 [Patent for an invention of Pussia no. 2717169. Announced 14.06.2019. Published on 18.03.2020].

10. Vadyunina, A.F., Korchagina, Z.A. (1986). *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv [Methods of investigation of physical properties of soils]*. Moscow, Agropromizdat Publ., 416 p.

11. Gendugov, V.M., Larionov, G.A., Krasnov S.F. et al. (2021). Modeling of attrition of soil aggregates in slope flows. *Eurasian Soil Science*, vol. 54, no. 4, pp. 648-652. doi: 10.1134/S1064229321040062

12. Ivonin, V.M. (2021). Ehroziya pochv pri talom stoke na sklonakh s lesnymi polosami [Soil erosion at snowmelt runoff on slopes with forest belts]. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii [Scientific journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems]*, vol. 11, no. 2, pp. 126-143. doi: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-126-143

13. Solntseva, N.G., Kalinichenko, V.P. (2007). Balans iilstoi fraktsii chernozema pri oroshenii [Balance of silty fraction of chernozem during irrigation]. *Plodorodie [Fertility]*, no. 1, pp. 30-31.

14. Yakovlev, N.S., Sineshchikov, V.E., Markin, V.V. (2021). Analiz sistem zybalevoi obrabotki pochvy pod zernovye kul'tury [Analysis of systems of winter tillage for grain crops]. *Vestnik NГИЭИ [Bulletin NГИЭИ]*, no. 4 (119), pp. 5-20. doi: 10.24412/2227-9407-2021-4-5-20

15. Kononova, A.A., Khaidapova, D.D. (2011). Otsenka strukturnogo sostoyaniya pochv metodami fiziko-mekhaniki [Assessment of the structural state of soils by methods of physico-mechanics]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya [Tomsk State University journal of biology]*, no. 1 (13), pp. 11-18.

16. Glazova, Z.I., Novikov, V.M. (2012). Otsenka nekotorykh ehlementov agrotekhniki grechikh [Evaluation of some elements of buckwheat agricultural machinery]. *Zemledelie*, no. 5, pp. 17-20.

#### Информация об авторах:

**Тарасов Сергей Анатольевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования и защиты почв от эрозии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1246-3494>, [sergejtarasov1989@mail.ru](mailto:sergejtarasov1989@mail.ru)

**Подлесных Игорь Вячеславович**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией моделирования и защиты почв от эрозии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4848-8685>, [podlesnich\\_igor@rambler.ru](mailto:podlesnich_igor@rambler.ru)

**Прущик Анастасия Викторовна**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования и защиты почв от эрозии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9010-5548>, [model-erosion@mail.ru](mailto:model-erosion@mail.ru)

#### Information about the authors:

**Sergey A. Tarasov**, candidate of agricultural sciences, senior researcher of the laboratory of modelling and soil erosion protection, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1246-3494>, [sergejtarasov1989@mail.ru](mailto:sergejtarasov1989@mail.ru)

**Igor V. Podlesnykh**, candidate of agricultural sciences, leading researcher, head of the laboratory of modelling and soil erosion protection, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4848-8685>, [podlesnich\\_igor@rambler.ru](mailto:podlesnich_igor@rambler.ru)

**Anastasia V. Prushchik**, candidate of agricultural sciences, senior researcher of the laboratory of modelling and soil erosion protection, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9010-5548>, [model-erosion@mail.ru](mailto:model-erosion@mail.ru)

