

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТЕЙ ОРГАНОГЕННЫХ И ГУМУСОВЫХ ГОРИЗОНТОВ ПОЧВ В ЛЕСОМЕЛИОРИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТАХ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ

М.Р. Шайфуллин¹, О.А. Гордиенко², А.В. Кулик³

^{1–3} Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН, лаборатория защиты почв от эрозии

¹ Мл. науч. сотр.; e-mail: shafullin-mr@vfanc.ru

² Мл. науч. сотр.; e-mail: gordienko-o@vfanc.ru

³ Ст. науч. сотр., канд. с.-х. наук; e-mail: kulik-a@vfanc.ru

В работе рассмотрены особенности пространственного распределения слоев подстилки и гумусовых горизонтов почв лесомелиорированной территории. Объектом исследования являлись лесокультурные ландшафты на низкопродуктивных песчаных землях, созданные в начале XX в. для защиты от дефляции. Территория расположена в Камышинском районе Волгоградской области (кадастровый квартал – 34:36:000014). Целью исследования было определение особенностей распределения мощности органогенных слоев и гумусовых горизонтов, связанных с составом насаждений (хвойные, лиственные породы), общим проективным покрытием травостоя и его доминирующих ассоциаций. Проведенные исследования актуальны и направлены на оценку эффективности лесомелиоративных мероприятий на песчаных землях в сухостепной зоне. При выполнении работы были использованы как наземные (почвенные и геоботанические), так и дистанционные (агролесомелиоративное картографирование) методы исследования. В результате проведенного анализа растительного и напочвенного покровов установлено, что лесные насаждения, несмотря на вековой возраст, не способствовали формированию на поверхности песчаных почв как подстилочных, так и гумусовых горизонтов. Однако на большей части территории дефляционные процессы ослабли. В результате создания массивных насаждений и формирования травяного покрова пески закрепились. Установлена взаимосвязь между составом древостоя, общим проективным покрытием, а также доминирующей травянистой ассоциацией и мощностью гумусовых и подстилочных горизонтов в хвойных насаждениях. При смешении с лиственными породами и поступлении опада происходит увеличение изучаемых слоев. На пространственную неоднородность показателей для всех изучаемых участков влияет прежде всего низкая скорость разложения опада, а также внутреннее переотложение органогенных и гумусовых горизонтов под действием ветра.

Ключевые слова: лесная подстилка, слаборазвитые почвы, общее проективное покрытие, травостой, изолинейное картографирование

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.6.10

ВВЕДЕНИЕ

Лесная подстилка выполняет ряд важнейших функций, таких как источник пополнения элементов минерального питания в почве; среда обитания многочисленных представителей почвенной фауны [Потапова, Пятина, 2021]; хранилище семян лесообразующих пород; депо углерода и одновременно база его эмиссии [Gosz et al., 1976]; базис первичного почвообразования; защитный покров для минеральной почвы (защита от эрозии); влагозащитный напочвенный слой; аккумулятор влаги; корнезащитный и корнеобитаемый субстрат возобновления растительности [Иванова, 2021].

Лесная подстилка играет огромную роль в формировании почв, в особенности ее верхних слоев, влияя на ход почвообразовательного процесса и биологический круговорот веществ. Она рассма-

тривается как верхний органогенный опадочно-подстилочный слой. Развитие поверхностных горизонтов почв в лесных биогеоценозах зависит от особенностей поступления опада, его количества, характера, скорости разложения, специфичности процесса гумификации [Иванова, 2021; Berg, 2014]. Поэтому особую актуальность имеет изучение применения лесомелиоративных мероприятий на низкопродуктивных землях, включая ареалы легких слаборазвитых почв и открытых песков, с целью предотвращения деградационных процессов, повышения устойчивости ландшафтов, создания экологического каркаса и дальнейшего ограниченного лесохозяйственного использования этих земель [Кулик и др., 2023; Манаенков, 2018].

Обширные исследования песков и песчаных почв степной зоны в XX в., а также процессов почвоо-

бразования под воздействием степной растительности, изучение влияния типа смещения древесных пород и формирующейся лесной подстилки на рост главных пород в смешанных насаждениях принадлежат А.Г. Гаелю [Гаель, Смирнова, 1999]. На количество образования лесной подстилки влияют условия местопроизрастания древесной растительности (часть склона, экспозиция [Аткина, Аткин, 2000; Pavlova-Traykova, 2024], тип почвенного покрова), возраст и породный состав [Китредж, 1951; Liu et al., 2023a, 2023b], скорость разложения опада, мозаичность развития растительности [Демаков и др., 2018]. Дж. Китредж (1951) отмечает, что годовое накопление подстилки возрастает до возраста «равновесия между накоплением и разложением», зависящего от породного состава. Ф.Н. Лисецким (2008) на нижнеднепровских песках установлено, что в 20–25-летних насаждениях сосны мощность подстилки составляет 4 см, а в зрелом возрасте увеличивается до 8 см. На песчаных почвах заповедника «Большая Кокшага» (Марий Эл) в лиственных насаждениях она достигает своих максимальных значений в 80 лет, а в сосновых – в 40–50 [Демаков и др., 2018]. Далее ее значения остаются практически на одном уровне.

В степных условиях на песчаных почвах разложение опада ограничивается сухостью климата и снижением активности жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и животных [Основы..., 1964; Соловьев, 1967], поэтому здесь, особенно под сосновыми насаждениями, формируются деструктивные лесные подстилки с недифференцированным профилем [Богатырев, 1996]. Процесс разложения опада происходит медленно: в молодых сосняках на песчаных почвах (Обливский район Ростовской области) 7,7% в год, на нижнеднепровских песках за 1,5 года его масса сокращается на 10–12% [Басов, 1979]. Тормозит разложение хвои также низкая зольность и высокое содержание в ней лигнина, а также активное вымывание азота [Богатырев, 1996]. Исследованиями Г.И. Ушаковой (2000) установлено, что увеличение влажности сосновой подстилки почти не оказывает влияние на скорость ее минерализации. Почвообразовательный процесс под лесонасаждениями имеет «сезонно-затухающее выражение», особенно в периоды засух [Основы..., 1964], поэтому под насаждениями сосны формирование гумусового горизонта в лесостепной зоне происходит в 2,2 раза быстрее, чем в степной [Лисецкий, 2008]. В условиях Борской низменности (Словакия) в 25-летних насаждениях сосны на песчаных почвах под лесной подстилкой сформировался гумусированный слой толщиной менее сантиметра [Lichner et al., 2010].

Объект исследования. В конце XIX в. территория близ г. Камышина представляла собой безлесную местность, на которую с запада надвигались массивы подвижных песков, наносящих большой вред земельным угодьям. В 1892 г. Я.А. Ломоносов положил здесь начало закреплению песков путем посадки полыни обыкновенной, овса песчаного и ивы остролистной. Опыт оказался успешным. В последующем на этой территории после организации в 1903 г. казенного древесного питомника за 13 лет было создано 75 га сосновых насаждений. При закреплении прилегающих оврагов использовали дуб, вяз, клен, акацию, а также кустарники – лох, аморфу, смородину и др. [Семенютина и др., 2022].

За прошедший период, более 100 лет, территория созданного лесного массива подверглась ряду неблагоприятных природных (засуха, суховеи, пыльные бури) и антропогенных (пожары) воздействий. Но несмотря ни на что к настоящему времени здесь сформировался уникальный лесокультурный ландшафт.

Исследуемый участок расположен на территории Нижневолжской станции селекции древесных пород – филиала ФНЦ агроэкологии РАН (г. Камышин, Волгоградская область) в сухостепной зоне на Приволжской возвышенности. Его территория площадью 110 га представлена водосборами суходола Кирпичный, притока р. Камышинки, и суходола Беленький, впадающего в р. Волгу (рис. 1А). Высота местности варьирует от 140 до 80 м над уровнем моря. Абсолютная высота местного базиса эрозии составляет 60 м.

Рельеф представлен в основном слабополугими, пологими и слабопокатыми склонами крутизной 1–2°, на долю которых приходится 72% территории, с наклоном 3° – 24%, 4° – 1%, менее 1° – 2% (см. рис. 1Б). Общая экспозиция поверхности территории исследования – северо-восточная. Локальными особенностями рельефа являются бугры высотой более 2 м, чередующиеся понижениями.

Почвообразующими породами для каштановых почв выступают четвертичные карбонатные лессовидные суглинки, для псаммоземов – эоценовые пески [Почвообразующие породы..., 2024].

Почвенный покров представлен псаммоземом гумусовым золово-стратифицированным на погребенных агротемно-каштановых почвах. В условиях рассматриваемой территории на основании маршрутно-полевых обследований выделены следующие гумусовые горизонты: А, А₁ и W. Песчаные и супесчаные горизонты А характерны для гумусовых почв (А–С). В нижней части склона небольшими участками выделены каштановые почвы с поверхностными горизонтами А₁, отличающимися от А появлением комковатой структуры, а также более тяжелым (легкий суглинок) гранулометрическим составом. Под

хвойной растительностью и на заросших песках выделены протогумусовые горизонты W, характеризующиеся малой мощностью (до 10 см), серой окраской и слабой агрегированностью. Почвы легкого грансостава характеризуются слабой противодефляционной устойчивостью [Манаенков, 2014].

Территория расположена в атлантико-континентальной европейской (степной) климатической области умеренного пояса [Рельеф..., 2024]. По данным справочно-информационного сервиса «Погода и климат» [Погода и климат..., 2024]

среднегодовая температура воздуха за период 1954–2023 гг. составила $+7,3^{\circ}\text{C}$. В самый жаркий месяц (июль) ее среднемесячное значение достигает $+23,3^{\circ}\text{C}$, в самый холодный (январь) $-8,6^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая сумма атмосферных осадков за период 1959–2023 гг. колебалась в пределах от 191 до 595 мм, составляя в среднем 381 мм. Территория входит в зону недостаточного увлажнения, с холодной зимой и жарким сухим летом. Значение гидротермического коэффициента Селянинова составляет 0,6 [Сажин и др., 2017].

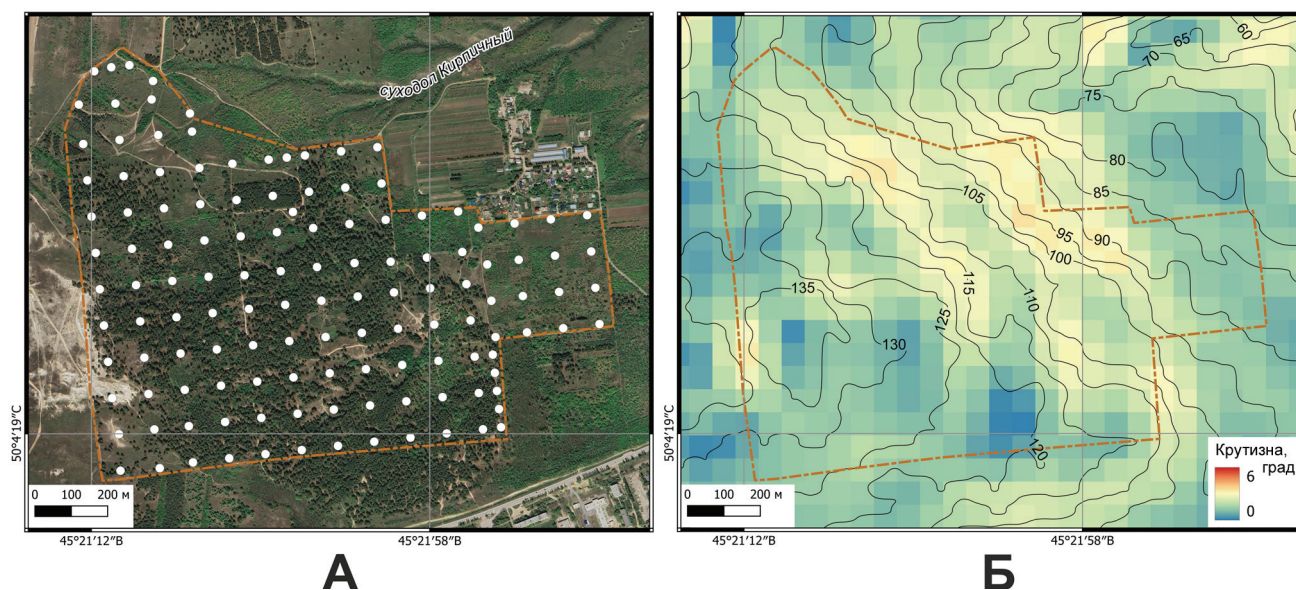


Рис. 1. Территория исследования с указанием точек мониторинга (А) и карта крутизны склонов (Б)

Fig. 1. Study area with monitoring points (A) and slope steepness map (B)

Объект исследования находится в зоне с активным ветровым режимом. Среднегодовое число дней с пыльными бурями – 90, со средней продолжительностью 16,4 ч. Основное их количество приходится на период с конца весны до конца лета, преобладавая в июле–августе. Пыльные бури наблюдаются разной продолжительности: менее 0,5 ч – 40%, от 0,5 до 1,5 ч – 28%, от 1,6 до 3,0 ч – 15%, свыше 3,0 ч – 17%. Преобладают бури со скоростью ветра от 8 до 10 м/с, составляя 27% от общего их числа. Доля их со скоростью от 1–4, 5–7, 11–13 до 14–16 м/с по 17%. При этом перенос песчаных частиц начинается уже с 6 м/с. Для условий Камышина преобладающим направлением ветра во время пыльных бурь является северо-восточное (15%, по розе ветров 16 румбов) [Сажин и др., 2017]. Направление и характер господствующих ветров способствовали движению песков в сторону города, что стимулировало развитие лесомелиоративных мероприятий.

Цель исследования – выявить особенности пространственного распределения мощности подстилки и гумусовых горизонтов в искусственных массивных лесомелиоративных насаждениях на слаборазвитых почвах в сухостепной зоне.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения пространственного распределения мощности подстилки на камеральном этапе всю площадь полигона покрыли регулярной сеткой с размером ячеек 100×100 м, в узлах которой проводили наблюдения. При необходимости в полевых условиях добавляли дополнительные точки для корректировки данных. В июне 2023 г. всего было обследовано 130 точек (см. рис. 1). Измерение мощности горизонтов подстилки проводились с применением классификации А. Занелла с соавторами, согласно которой она подразделяется на подгоризонты: OL, OF, OH, где OL – опад, представляющий собой листья, хвою, ветви, древесный материал, который

может быть обесцвечен и слегка фрагментирован (целостность фрагментов 10–100%); OF – полуразложившийся опад, без целостности анатомического строения (за исключением веток и коры), со следами микоризы; OH – опад, состоящий из зоогенно преобразованного органического вещества [Zanella et al., 2018]. В условиях сухой степи, где расположен объект исследования, горизонты OF и OH очень небольшой мощности, не всегда выделяются из-за нечеткой границы между ними, поэтому отдельно их не дифференцировали, а измеряли вместе – OFH [Методические рекомендации..., 2023] (рис. 2).



Рис. 2. Типы подгоризонтов постилки на изучаемой территории

Fig. 2. Types of litter subhorizons in the study area

Общее проективное покрытие (ОПП) определялось глазомерно посредством оценки вертикальной проекции травянистых растений на поверхность почвы, выраженной в процентах [Ермолова, 2022]. Изучение почвенного покрова выполнялось по стандартным в почвоведении российским и иностранным методикам [Полевой..., 2008; Guidelines..., 2006].

Наиболее распространенные методики спутникового картографирования растительного покрова основаны на использовании мультиспектральных снимков спутников Landsat, Sentinel, MODIS и др. с использованием вегетационных индексов NDVI, RVI, PVI, EVI и пр. [Барталев и др., 2016; Бодрова В.Н., 2018; Дмитриев и др., 2024; Денисова и др., 2019; Книжников Ю.Ф. и др., 2004; Чурюлина А.Г., Бочарников М.В., 2022; Шинкаренко и др., 2022]. Данный подход широко и успешно используется для глобальных и региональных исследований, но имеет существенные ограничения при использовании на локальном уровне, где требуется высокая точность и детальность, вплоть до выделения отдельных крон деревьев. Главным ограничением выступает разрешение мультиспектрального спутникового снимка. Наиболее детальными являются снимки Sentinel-2 с разрешением 10×10 м. Однако степень детализации спектральных космоснимков недостаточна для проведения крупномасштабного картографирования растительного покрова, где необходимо выделение небольших куртин и отдельно стоящих деревьев.

Пространственное распределение растительного покрова изучено по пятиэтапной схеме агролесомелиоративного картографирования [Кулик, 2004] на основе дешифрирования спутниковых снимков, имеющих высокое пространственное разрешение (0,5–1,5 м), полученных при помощи сервиса Google Earth. Полуавтоматическая классификация изображения осуществлена на основе разницы цвета (RGB) пикселей по фотоэталонам с использованием алгоритма Random Forest [Барталев и др., 2016; Малышева, 2014; Юфеев и др., 2010]. Работа выполнена в программе QGIS с использованием модуля dzeros. Участки, используемые в качестве фотоэталонов для проведения дешифрирования, были выделены во время полевых исследований (рис. 3).

Для выделения хвойных древостоев использован ранневесенний снимок (март 2023 г.), на котором отсутствовали кроны лиственных древесных пород, что упростило процесс распознавания. Для классификации остальной растительности был взят летний снимок (июнь 2023 г.). После дешифрирования была проведена ручная визуальная коррекция полученных результатов.

На основе данных, полученных по результатам полевых исследований, построены карты с использованием метода интерполяции кригинг. Работа по обработке и анализу геоданных осуществлялась в программах QGIS и SAGGIS. Построение карт рельефа и крутизны склонов проведено с использованием снимка SRTM 1 с разрешением 30×30 м. Статистический анализ результатов исследований осуществлен в программе XLstat.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Растительный покров исследуемого участка представлен естественной степной растительностью и искусственными древесными насаждениями. Травяной покров представлен характерными для степной зоны злаковыми, полынными и разнотравными ассоциациями и их сочетанием. Хвойные насаждения состоят из сосны, лиственные представлены преимущественно робинией, вязом и дубом с незначительным участием ясеня, клена, тополя, липы и шелковицы. Также встречаются участки открытых песков, на которых растительный покров отсутствует (рис. 4).

Анализ пространственного распределения растительного покрова выявил следующие особенности: 72,7 га покрыто древесными насаждениями (65,9%), из которых на хвойные породы приходится 36,1 га (32,7%), на лиственные – 36,6 га (33,2%), степными участками (без древесной растительности) занято 34,8 га (31,6%), открытыми песками – 2,8 га (2,5%).

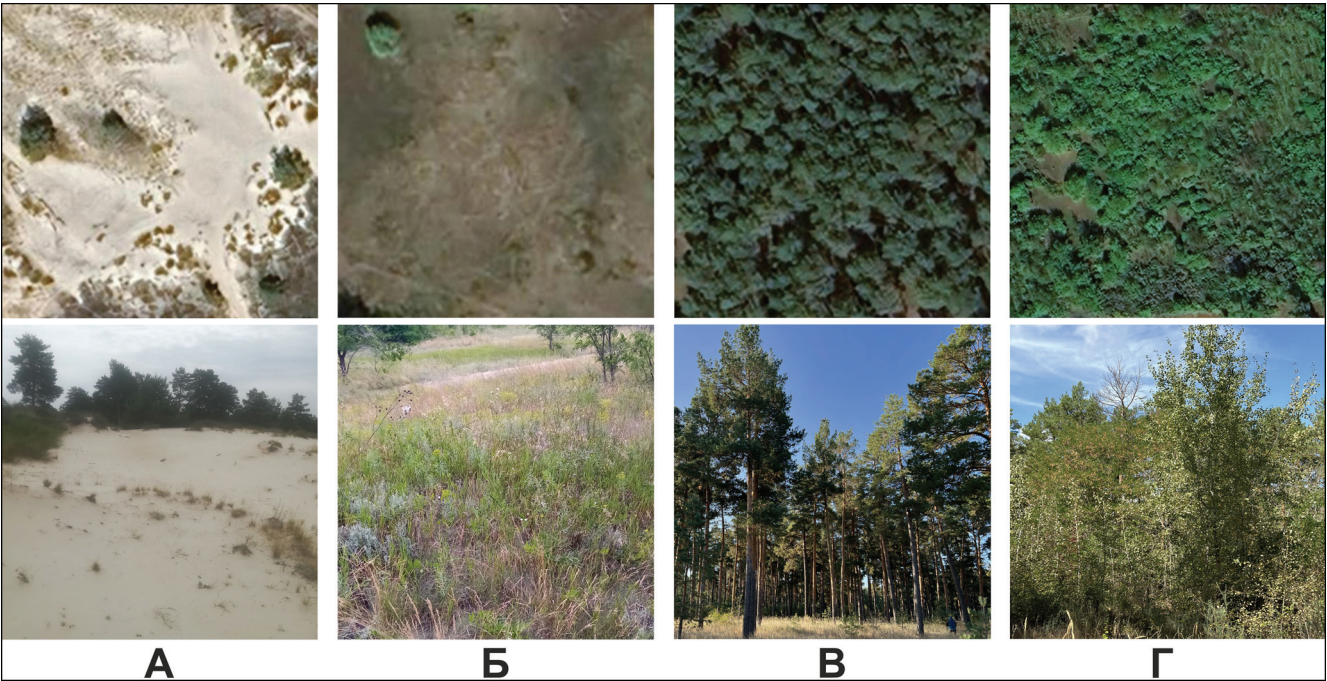


Рис. 3. Фотоэталоны для дешифрирования:
А – открытый песок; Б – степь; В – хвойные насаждения; Г – лиственные насаждения

Fig. 3. Photo standards for interpretation:
А – open sand; Б – steppe; В – coniferous forests; Г – deciduous forests

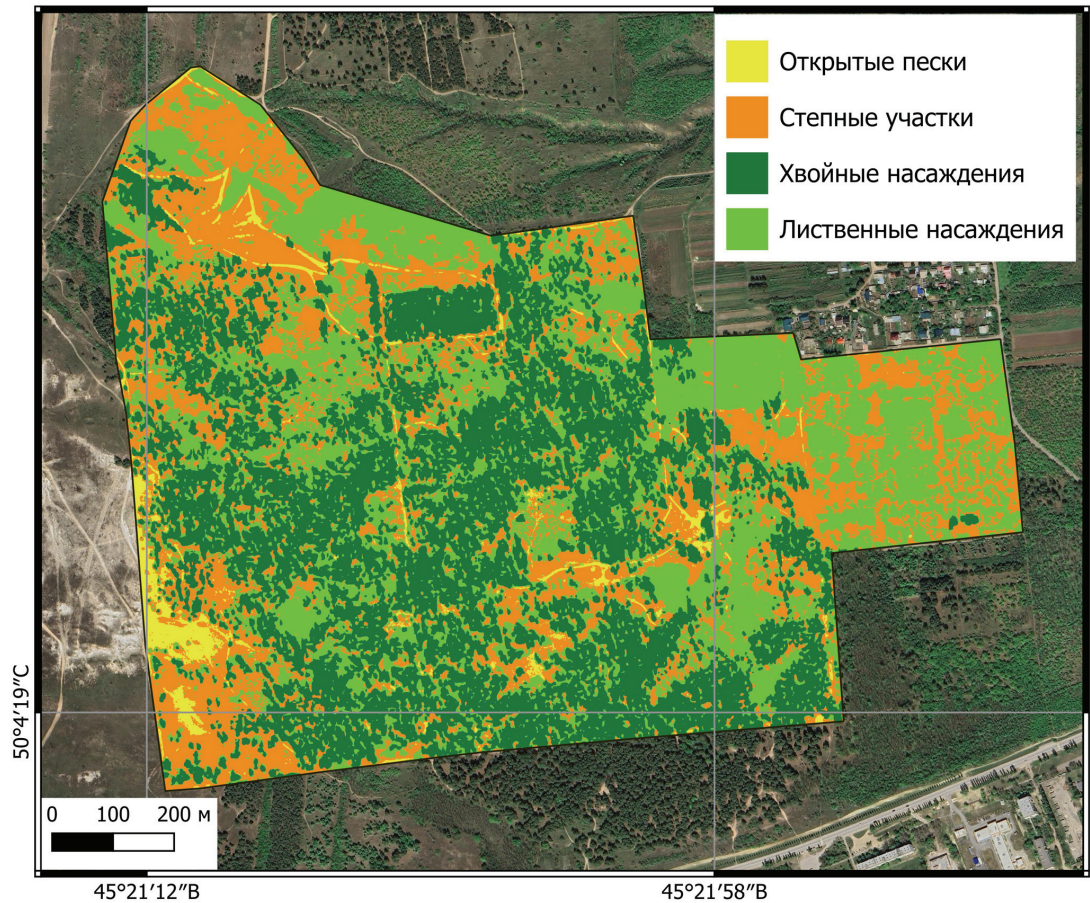


Рис. 4. Типы растительного покрова изучаемой территории

Fig. 4. Types of vegetation in the study area

В результате проведения полевых исследований установлено, что мощность подстилки под хвойными насаждениями в среднем составляет $3,0 \pm 0,2$ см (рис. 5Б), что коррелирует с результатами наблюдений в условиях Марийского Заволжья [Демаков и др., 2018], где при более влажном климате (538 мм осадков в год) данный показатель в среднем составляет $3,7 \pm 0,3$ см. При этом толщина горизонтов подстилки OL и OFH изменяется от 1 до 4 см. Мощность гумусовых горизонтов под насаждениями с хвойными породами не превышает 11 см (в среднем $3 \pm 0,3$ см) (см. рис. 5А). Связано это с генезисом горизонтов. Ранее эта территория представляла собой песчаный массив, на котором отсутствовали какие-либо почвы. После облесения пески частично закрепились, а дальнейшая аккумуляция опада способствовала формированию

протогумусовых горизонтов начальной стадии почвообразования (W). Меньшая скорость разложения опада хвои, в сравнении с листвой [Семенов и др., 2019], и специфика сформировавшегося травяного покрова также тормозят процесс гумусообразования. Общее проективное покрытие (ОПП) в монокультурах сосны изменялось в широком диапазоне (табл. 1), составляя в среднем $51 \pm 5\%$. Установлено, что при преобладании в травостое доли полынных видов увеличивалось не только ОПП, но и мощность гумусового горизонта. Под смешанными хвойно-лиственными насаждениями травяной покров представлен в основном злаками. ОПП в среднем незначительно выше – $61 \pm 9\%$. Мощность гумусового горизонта в среднем составляет $5 \pm 0,8$ см, что почти на 2 см больше, чем под хвойными насаждениями.

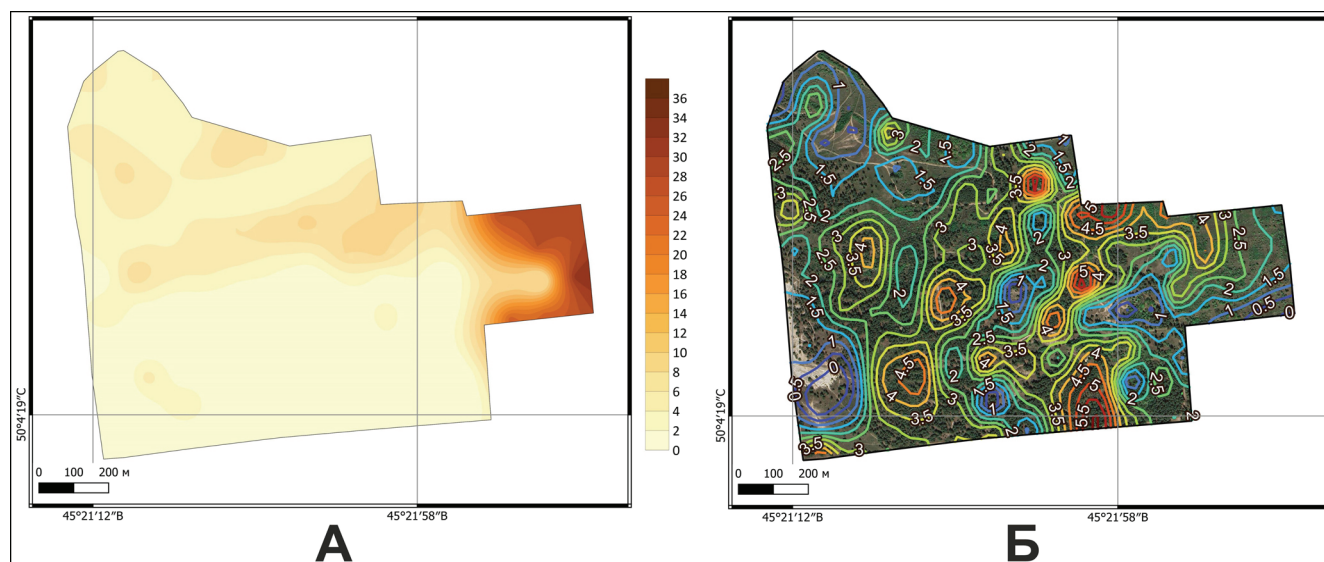


Рис. 5. Пространственное распределение мощности гумусового горизонта (А) и подстилки (Б), см

Fig. 5. Spatial distribution of the depth of humus horizon (A) and litter (B), cm

При наземном наблюдении в хвойных насаждениях отмечены процессы переотложения опада и почвенного материала, поэтому близко располагались участки с разной мощностью гумусового горизонта или с полным его отсутствием. Частично переносу органического и минерального материала препятствует травянистая растительность, но неравномерная степень покрытия ею поверхности влияет на перераспределение растительных остатков внутри массива. Отмечено, что мощность гумусовых горизонтов на участках с проективным покрытием более 75% значительно выше (в среднем 7 см), чем на открытых (в среднем 2 см).

В лиственных насаждениях слой, состоящий из свежего и прошлогоднего листового опада (OL), не

превышал 5 см (в среднем $2 \pm 0,2$ см) (табл. 2) и был представлен ветвями, свежими и полуразложившимися листьями. Установлено, что на участках с малой густотой древостоя мощность как OL, так и OFH минимальна (<1 см). Мощность гумусовых горизонтов сильно варьировала ($C_v - 84\%$), составляя в среднем 14 ± 2 см. Максимальные ее значения (25–30 см) приурочены к нижней части склона, где преобладают зональные темно-каштановые почвы. В отличие от участков, занятых хвойными насаждениями, лиственные произрастают в том числе на зональных темно-каштановых и каштановых почвах. В целом мощность гумусовых горизонтов (AJ и A) соответствует фоновым значениям [Кулик и др., 2017]. ОПП в лиственных насаждениях изме-

нялось в основном в диапазоне 50–95%. Проведя статистический анализ полученных данных, нами не было установлено взаимосвязи величины подстилки и преобладающих ассоциаций травянистых растений с мощностью гумусовых горизонтов. Это обусловлено тем, что на данном участке лиственные насаждения представлены не монокультурой, а разными породами, скорость разложения опада которых различна [Семенов, 2019; Фисун, 2014; Nevel van et al., 2014].

Таблица 1

Статистический анализ данных напочвенного покрова и гумусовых горизонтов хвойных и хвойно-лиственных насаждений

Показатели	Минимум	Q_1	Медиана	Q_3	Максимум	Среднее арифметическое	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации, C_v
<i>Хвойные насаждения (n = 62)</i>								
Общее проективное покрытие, %	1	15	50	90	100	51	5	0,7
Общая мощность подстилки, см	0	2	3	4	6	3	0,2	0,5
Мощность OL, см	0	1	1	2	4	1	0,1	0,6
Мощность OFH, см	0	1	1	2	4	1	0,1	0,8
Мощность гумусовых горизонтов, см	0	1	3	5	11	3	0,3	0,8
<i>Хвойно-лиственные насаждения (n = 15)</i>								
Общее проективное покрытие, %	2	40	80	80	100	61	9	0,6
Общая мощность подстилки, см	0	2	3	4	4	2	0,3	0,5
Мощность OL, см	0	1	1	2	4	1	0,1	0,6
Мощность OFH, см	0	1	1	2	3	1	0,2	0,8
Мощность гумусовых горизонтов, см	0	2	5	7	10	5	0,8	0,6

Примечание: Q_1 и Q_3 – значения квартилей.

Таблица 2

Статистический анализ данных напочвенного покрова и гумусовых горизонтов лиственных насаждений (n = 27)

Показатели	Минимум	Q_1	Медиана	Q_3	Максимум	Среднее арифметическое	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации, C_v
Общее проективное покрытие, %	0	50	90	95	100	71	6	0,4
Общая мощность подстилки, см	1	2	3	4	6	3	0,3	0,5
Мощность OL, см	1	1	1	2	5	2	0,2	0,8
Мощность OFH, см	0	1	1	2	3	1	0,2	0,8
Мощность гумусовых горизонтов, см	0	4	9	30	35	14	2	0,8

Примечание: Q_1 и Q_3 – значения квартилей.

Таблица 3

Статистический анализ данных напочвенного покрова и гумусовых горизонтов степных участков ($n = 26$)

Показатели	Минимум	Q_1	Медиана	Q_3	Максимум	Среднее арифметическое	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации, C_v
Общее проективное покрытие, %	10	50	90	95	100	74	6	41
Мощность горизонта степного войлока, см	0	1	2	4	10	3	1	89
Мощность гумусовых горизонтов, см	0	3	5	9	30	8	2	109

К степным участкам отнесены территории, лишенные древесной растительности, с развитым в разной степени травянистым покровом. По видовому составу преобладают злаковые (38%), злаково-разнотравные (23%) и полынно-злаковые (19%) ассоциации. С поверхности мощностью до 10 см (в среднем 3 ± 1 см) фиксируется слой степного войлока, представленный мертвым напочвенным покровом, состоящим из отмерших, слежавшихся, но еще не полностью разложившихся остатков травянистой растительности. Ниже расположен слой дернины (скопление густо переплетенных корней трав), не превышающий 3–4 см. Мощность гумусовых горизонтов изменялась от 0 до 30 см (в среднем 8 ± 2 см) (табл. 3). Сильное варьирование обусловлено положением точки наблюдений относительно микрорельефа и от степени проективного покрытия, изменяющегося от 10 до 100% (в среднем $74 \pm 6\%$). Средняя мощность гумусовых горизонтов под злаковыми ассоциациями составила 13 ± 3 см, полынными – 6 ± 1 см, злаково-разнотравными – 3 ± 1 см.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты согласуются с исследованиями Н.Г. Ремезова и П.С. Погребняка (1965), Л.Г. Богатырева и др. (2019), Ю.П. Демакова и др. (2018), которые отмечают большую мозаичность подстилки в хвойных и хвойно-лиственных лесах. В пределах исследуемой территории неравномерное распределение подстилки обусловлено низким ОПП, за счет чего происходит поверхностный перенос растительных остатков и минеральных частиц почвы.

При анализе данных наземного и дистанционного мониторинга растительного и напочвенного покровов установлено, что за 100-летний период лесомелиоративного освоения территории полно-развитый слой подстилки и гумусовые горизонты не сформировались в отличие от исследований, проведенных на нижнеднепровских песках и в условиях Марийского Заволжья, где отмечено увеличение мощности лесной подстилки с возрастом насаждений.

В хвойных насаждениях формируются деструктивные лесные подстилки с недифференцированным профилем по [Богатырев, 1996], что обусловлено низкой скоростью разложения хвои, редким травяным покровом, активными дефляционными процессами в периферийной зоне массива, не способствующими накоплению опада.

В хвойных насаждениях сформировались прото-гумусовые горизонты начальной стадии почвообразования. При смешении с лиственными породами отмечено незначительное увеличение мощности гумусовых горизонтов за счет включения в опад кроме хвои еще и листья.

В лиственных насаждениях увеличение мощности гумусового горизонта и подстилки отмечено в нижней части склона на зональных темно-каштановых почвах. При этом ОПП на данных участках выше, чем в хвойных насаждениях. На степных участках мощность гумусового горизонта колебалась в широком диапазоне, что обусловлено положением точки наблюдений относительно микрорельефа и степени ОПП растительным покровом.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке ВИП ГЗ «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджета углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аткина Л.И., Аткин А.С. Особенности накопления подстилок в лесных сообществах // Почвоведение. 2000. № 8. С. 1004–1008.
- Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О. и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
- Басов В.Г. Особенности биокруговорота органического вещества и основных элементов питания в сосновых молодняках // Бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института агролесомелиорации. 1979. Вып. 2(30). С. 21–25.
- Богатырев Л.Г., Демаков Ю.П., Исаев А.В. и др. Структурно-функциональная организация подстилок в борах Марийского Заволжья // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2019. № 1. С. 3–9.
- Богатырев Л.Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1996. № 4. С. 501–511.
- Бодрова В.Н. Картографирование лесистости острова Сарпинский Волгоградской области // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 3. С. 47–54.
- Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф. Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС, 1999. 252 с.
- Демаков Ю.П., Исаев А.В., Шарафутдинов Р.Н. Роль лесной подстилки в борах Марийского Заволжья и вариативность ее параметров // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». 2018. Вып. 8. С. 15–43.
- Денисова А.Ю., Кавеленова Л.М., Корчиков Е.С. и др. Пространственная классификация преобладающих древесных пород на территории Самарской области по данным Sentinel-2 и таксации леса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 86–101. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-86-101.
- Дмитриев Е.В., Кондранин Т.В., Мельник П.Г. и др. Определение видового состава смешанного леса на основе совместной обработки публичных спутниковых карт и многовременных изображений Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 1. С. 31–50. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-1-31-50.
- Ермолова Л.С. Подходы к определению фитомассы напочвенного покрова в лесу (обзор методов) // Растительные ресурсы. 2022. Т. 58. Вып. 2. С. 197–216. DOI: 10.31857/S0033994622020054.
- Иванова Е.А. Формирование и разложение древесного опада в лесных экосистемах в фоновых условиях и при антропогенном загрязнении // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4. № 3. С. 1–52. DOI: 10.31509/2658-607x-202143-87.
- Китредж Дж. Влияние леса на климат, почвы и водный режим. М.: Изд-во иностранной литературы, 1951. 456 с.
- Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: учеб. для студ. высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2004. 336 с.
- Кулик К.Н. Агролесомелиоративное картографирование и фито-экологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. 247 с.
- Кулик К.Н., Беляев А.И., Пугачева А.М. Роль защитного лесоразведения в борьбе с засухой и опустыниванием агроландшафтов // Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1(94). С. 4–14. DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-4-14.
- Кулик К.Н., Кретьинин В.М., Рулев А.С. и др. Красная книга почв Волгоградской области. Волгоград: Принт-2, 2017. 224 с.
- Лисецкий Ф.Н. Почвообразовательный потенциал лесных насаждений при облесении песков в условиях лесостепи и степи // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2008. № 4. С. 13–20.
- Мальшева Н.В. Дешифрирование древесной растительности на сверхдетальных изображениях: метод. пособие для подготовки специалистов высшего проф. образования. М.: Леспроект, 2014. 40 с.
- Манаенков А.С. Лесомелиорация арен засушливой зоны. 2-е изд. перераб. и доп. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. 428 с.
- Манаенков А.С. Перспектива повышения эффективности использования низкопродуктивных сельскохозяйственных земель на юге России // Региональная экономика. Юг России. 2014. № 2(4). С. 64–72.
- Основы лесной биогеоэкологии / под ред. В.Н. Сукачева, Н.В. Дылиса. М.: Наука, 1964. 570 с.
- Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Потапова К.В., Пятинина Е.В. Почвенные беспозвоночные-сапрофаги Лисинского учебно-опытного лесхоза. Тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв «Почвы – стратегический ресурс России» (Сыктывкар, 2021). 2021. С. 334–335.
- Ремезов Н.Г., Погребняк П.С. Лесное почвоведение. М.: Лесная промышленность, 1965. 322 с.
- Сажин А.Н., Кулик К.Н., Васильев Ю.И. Погода и климат Волгоградской области. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2017. 334 с.
- Семенов В.М., Паутова Н.Б., Лебедева Т. Н. и др. Разложение растительных остатков и формирование активного органического вещества в почве инкубационных экспериментов // Почвоведение. 2019. № 10. С. 1172–1184. DOI: 10.1134/S0032180X19100113.
- Семенютина А.В., Хужахметова А.Ш., Семенютина В.А. и др. Научные основы и этапы формирования полифункциональных кластерных дендрологических экспозиций коллекций ФНЦ агроэкологии РАН. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2022. 192 с.
- Соловьев П.Е. Влияние лесных насаждений на почвообразовательный процесс и плодородие степных почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1967. 292 с.
- Ушакова Г.И. Влияние экологических условий на скорость и характер разложения лесной подстилки (Кольский полуостров) // Почвоведение. 2000. № 8. С. 1009–1015.
- Фисун М.Н., Чемазов М.М., Егорова Е.М. и др. Разложение листового опада древесных и кустарниковых пород // Известия КБГАУ. 2014. № 3(5). С. 18–20.
- Чурюлина А.Г., Бочарников М.В. Картографирование растительных сообществ с участием реликтового вида караганы гривастой в Южном Прибайкалье // Вестн.

- Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2022. № 6. С. 149-156. DOI: 10.55959/MSU0579-9414-5-2022-6-149-156.
- Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Васильченко А.А. Метод картографирования защитных лесных насаждений на основе разновременных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения и бисезонного индекса леса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 4. С. 207–222. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-207-222.
- Юферева В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С. и др. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. 102 с.
- Berg B. Decomposition patterns for foliar litter – A theory for influencing factors, *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, vol. 78, p. 222–232, DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.08.005.
- Gosz J.R., Likens G.E., Bormann F.H. Organic matter and nutrient dynamics of the forest and forest floor in the Hubbard Brook forest, *Oecologia*, 1976, vol. 22, p. 305–320, DOI: 10.1007/BF00345310.
- Guidelines for Soil Description*, Rome, UN Food Agric. Org., 2006, 108 p.
- Lichner L., Hallett P.D., Orfánus T. et al. Vegetation impact on the hydrology of an aeolian sandy soil in a continental climate, *Ecohydrology*, 2010, no. 3(4), p. 413–420, DOI: 10.1002/eco.153.
- Liu F., Zhu K., Wang Zh. et al. Production of reactive oxygen species and its role in mediating the abiotic transformation of organic carbon in sandy soil under vegetation restoration, *Carbon Research*, 2023b, no. 2(35), DOI: 10.1007/s44246-023-00074-0.
- Liu J., Wang J., Morreale S.J. et al. Contributions of plant litter to soil microbial activity improvement and soil nutrient enhancement along with herb and shrub colonization expansions in an arid sandy land, *Catena*, 2023a, vol. 227, DOI: 10.1016/j.catena.2023.107098.
- Nevel van L., Mertens J., Demey A. et al. Metal and nutrient dynamics in decomposing tree litter on a metal contaminated site, *Environmental Pollution*, 2014, vol. 189, p. 54–62, DOI: 10.1016/j.envpol.2014.02.009.
- Pavlova-Traykova E. Influence of erosion control afforestation on some soil parameters in two watersheds in Southwest Bulgaria, *Silva Balcanica*, 2024, no. 25(2), p. 75–83, DOI: 10.3897/silvabalcanica.25.e125509.
- Zanella A., Ponge J.-F., Jabiol B. et al. Humusica 1, article 4, Terrestrial humus systems and forms – Specific terms and diagnostic horizons, *Applied Soil Ecology*, 2018, no. 122, p. 56–74, DOI: 10.1016/j.apsoil.2017.07.005.
- Электронные ресурсы**
- Методические рекомендации по отбору образцов почв и растений для оценки динамики запасов углерода в лесных, степных и тундровых экосистемах. URL: https://ritm-c.ru/account/personal/methods_2023 (дата обращения 02.06.2023).
- Климат. Климатическое районирование // Национальный атлас России. Т. 2. URL: <https://nationalatlas.ru/tom2/146-150.html> (дата обращения 12.03.2024).
- Рельеф. Гипсометрическая карта // Национальный атлас России. Т. 2. URL: <https://nationalatlas.ru/tom2/112-113.html> (дата обращения 05.03.2024).
- Погода и климат. Камышин. Летопись погоды в Камышине. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/34363.html> (дата обращения 12.03.2024).
- Почвообразующие породы. URL: <https://webmapget.vsegei.ru> (дата обращения 10.03.2024).

Поступила в редакцию 24.06.2024

После доработки 10.09.2024

Принята к публикации 15.10.2024

SPATIAL DISTRIBUTION PATTERNS OF THE DEPTH OF SOIL ORGANOGENIC AND HUMUS HORIZONS IN FORESTED LANDSCAPES OF THE DRY-STEPPE ZONE

M.R. Shayfullin¹, O.A. Gordienko², A.V. Kulik³

¹⁻³ Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Soil Protection from Erosion

¹ Junior Scientific Researcher; e-mail: shayfullin-mr@vfanc.ru

² Junior Scientific Researcher; e-mail: gordienko-o@vfanc.ru

³ Senior Scientific Researcher; Ph.D. in Agriculture; e-mail: kulik-a@vfanc.ru

The paper considers the features of the spatial distribution of litter layers and humus horizons of soils in a forested area. The object of the study was the forest-cultural landscapes on low-productive sandy lands created in the early twentieth century to protect against deflation. The territory is located in the Kamyslin district of the Volgograd region (cadastral quarter No 34:36:000014). The purpose of the research was to determine the distribution of the depth of organogenic layers and humus horizons in relation to the species composition of plantations (coniferous or deciduous species), the total projective cover of the herbage and its dominant associations. The research is topical and aimed at evaluating the effectiveness of forest reclamation measures on sandy lands in the dry-steppe zone. Both terrestrial (soil and geobotanical) and remote (agroforestry mapping) research methods were applied while carrying out the work. As a result of the analysis of vegetation and ground

cover, it was found that despite their centenary age, forest plantations did not contribute to the formation of both litter and humus horizons on the surface of sandy soils. However, the deflation became weaker across much of the territory. The sands were stabilized due to creation of massive plantings and the grass cover formation. The relationship between the composition of a stand, the total projective cover, the dominant herbaceous association and the depth of humus and litter horizons in coniferous plantations has been found. The depth of studied layers increases if hardwoods are admixed which produce leaf litter. The spatial heterogeneity of the indicators for all the studied sites is primarily influenced by the low rate of litter decomposition, as well as the internal re-deposition of organogenic and humus matter by the wind.

Keywords: forest litter, underdeveloped soils, general projective cover, grass stand, isolinear mapping

Acknowledgements. The work was carried out under a most important national innovation project “Development of a System of Ground-based and Remote Monitoring of Carbon Pools and Greenhouse Gas Fluxes on the Territory of the Russian Federation, Ensuring Creation of a System for Accounting for Data on Fluxes of Climatically Active Substances and the Carbon Budget in Forests and Other Terrestrial Ecological Systems” (registration No. 123030300031-6).

REFERENCES

- Atkina L.I., Atkin A.S. Specific Features of Litter Accumulation in Forest Cenoses, *Eurasian Soil Science*, 2000, vol. 33, no. 8, p. 876–880.
- Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O. et al. *Sputnikovoe kartografirovanie rastitel'nogo pokrova Rossii* [Satellite mapping of the vegetation cover of Russia], Moscow, IKI RAN Publ., 2016, 208 p. (In Russian)
- Basov V.G. Osobennosti biokrugovorota organicheskogo veshhestva i osnovnykh jelementov pitaniya v sosnovykh molodnjakah [Peculiarities of organic matter biocycle and basic nutrition elements in young pine forests], *Bjulleten' Vsesojuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta agrosomelioracii*, 1979, vol. 2(30), p. 21–25. (In Russian)
- Berg B. Decomposition patterns for foliar litter – A theory for influencing factors, *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, vol. 78, p. 222–232, DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.08.005.
- Bodrova V.N. Kartografirovanie lesistosti ostrova Sarpinskij Volgogradskoj oblasti [Mapping of forest coverage of the Sarpinsky island (Volgograd oblast)], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, no. 3, p. 47–54. (In Russian)
- Bogatyrev L.G. Formation of forest litter as one of the major processes in forest ecosystems, *Eurasian Soil Science*, 1996, vol. 29, no. 4, p. 459–468.
- Bogatyrev L.G., Demakov Yu.P., Isaev A.V. et al. Strukturno-funktsionalnaya organizatsiya podstilok v borakh Marijskogo Zavolzhiya [Structural and functional organization of litter in the forests of the Mari Zavolzhye], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 17, Pochvovedenie*, 2019, no. 1, p. 3–9. (In Russian)
- Churiulina A.G., Bocharnikov M.V. Kartografirovanie rastitel'nykh soobshchestv s uchastiem reliktovykh vida karagany grivastoj v Juzhnom Pribajkal'e [Mapping of plant communities with the relict *Caragana jubata* species in the southern Baikal region], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2022, no. 6, p. 149–156, DOI:10.55959/MSU0579-9414-5-2022-6-149-156. (In Russian)
- Demakov Yu.P., Isaev A.V., Sharafutdinov R.N. [Forest cover role in pine forests of Mari Trans-Volga region and variability of soil cover parameters], *Nauchnye trudy Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika “Bol'shaja Kokshaga”* [Transactions of the “Bol'shaja Kokshaga” state nature reserve], 2018, vol. 8, p. 15–43. (In Russian)
- Denisova A.Yu., Kavelenova L.M., Korchikov E.S. et al. Prostranstvennaja klassifikacija preobladajushhih drevesnykh porod na territorii Samarskoj oblasti po dannym Sentinel-2 i taksacii lesa [Tree species classification in Samara Region using Sentinel-2 remote sensing images and forest inventory data], *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, vol. 16, no. 4, p. 86–101, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-86-101. (In Russian)
- Dmitriev E.V., Kondranin T.V., Mel'nik P.G., Donskoj S.A. Opredelenie vidovogo sostava smeshannogo lesa na osnove sovmestnoj obrabotki publicnykh sputnikovyx kart i mnogovremennykh izobrazhenij Sentinel-2 [Determining mixed forest species composition based on joint processing of public satellite maps and multi-temporal Sentinel-2 images], *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, vol. 21, no. 1, p. 31–50, DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-1-31-50. (In Russian)
- Ermolova L.S. Podhody k opredeleniju fitomassy napochvennogo pokrova v lesu (obzor metodov) [Approaches to the determination of forest ground cover phytomass (review of methods)], *Rastitel'nye resursy*, 2022, vol. 58, no. 2, p. 197–216, DOI: 10.31857/S0033994622020054. (In Russian)
- Fisun M.N., Chemazokov M.M., Egorova E.M. et al. Razlozhenie listovogo opada drevesnykh i kustarnikovyx porod [Decomposition of leaf litter of tree and shrub species], *Izvestiya KBGAU*, 2014, no. 3(5), p. 18–20. (In Russian)
- Gael A.G., Smirnova L.F. *Peski i peschanye pochvy* [Sands and Sandy Soils], Moscow, GEOS Publ., 1999, 252 p. (In Russian)
- Gosz J.R., Likens G.E., Bormann F.H. Organic matter and nutrient dynamics of the forest and forest floor in the Hubbard Brook Forest, *Oecologia*, 1976, vol. 22, p. 305–320, DOI: 10.1007/BF00345310.
- Guidelines for Soil Description*, Rome: UN Food Agric. Org., 2006, 108 p.
- Ivanova E.A. Formirovanie i razlozhenie drevesnogo opada v lesnykh jekosistemah v fonovykh uslovijah i pri ajero-technogenom zagrjaznenii [Formation and decomposition of tree litter in forest ecosystems under background conditions and under aerotechnogenic pollution], *Voprosy lesnoj nauki*, 2021, vol. 4, no. 3, p. 1–52, DOI 10.31509/2658-607x-202143-87.
- Kittredge J. Forest influences: The effects of woody vegetation on climate, water, and soil, New York, McGraw-Hill Book Co., 1948, 420 p. (In Russian).

- Knizhnikov Yu.F., Kravcova V.I., Tutubalina O.V. *Aehrosmicheskie metody geograficheskikh issledovanij* [Aerospace methods of geographical research], Moscow, Academy Publ., 2004, 336 p. (In Russian)
- Kulik K.N. *Agrolesomeliorativnoe kartografirovaniye i fitoekologicheskaya ocenka aridnykh landshaftov* [Agroforestry mapping and phyto-ecological assessment of arid landscapes], Volgograd, VNIALMI Publ., 2004, 247 p. (In Russian)
- Kulik K.N., Belyaev A.I., Pugachyova A.M. The Role of Protective Afforestation in Drought and Desertification Control in Agro-Landscapes, *Arid Ecosystems*, 2023, vol. 13, iss. 1, p. 1–10, DOI: 10.1134/S2079096123010079.
- Kulik K.N., Kretinin V.M., Rulev A.S., Shishkunov V.M. *Krasnaya kniga pochv Volgogradskoy oblasti* [Red Book of soils of the Volgograd region], Volgograd, Print-2 Publ., 2017, 224 p. (In Russian)
- Lichner L., Hallett P.D., Orfánus T. et al. Vegetation impact on the hydrology of an aeolian sandy soil in a continental climate, *Ecohydrology*, 2010, no. 3(4), p. 413–420, DOI:10.1002/eco.153.
- Lisetsky F.N. Pochvoobrazovatel'nyj potencial lesnykh nasazhdenij pri oblesenii peskov v usloviyakh lesostepi i stepi [Soil-formation Potential of Forest Stands under Sands Afforestation in Forest-steppe and Steppe Environment], *Russian forestry journal*, 2008, no. 4, p. 13–20. (In Russian)
- Liu F., Zhu K., Wang Zh. et al. Production of reactive oxygen species and its role in mediating the abiotic transformation of organic carbon in sandy soil under vegetation restoration, *Carbon Research*, 2023b, no. 2(35), DOI: 10.1007/S44246-023-00074-0.
- Liu J., Wang J., Morreale S.J. et al. Contributions of plant litter to soil microbial activity improvement and soil nutrient enhancement along with herb and shrub colonization expansions in an arid sandy land, *Catena*, 2023a, vol. 227, DOI: 10.1016/j.catena.2023.107098.
- Malysheva N.V. *Deshifirovaniye drevesnoj rastitel'nosti na sverkhdetal'nykh izobrazheniyakh: metodicheskoe posobie dlya podgotovki specialistov vysshego professional'nogo obrazovaniya* [Decoding of woody vegetation on super-detailed images: a methodological guide for the training of specialists in higher professional education], Moscow, Lesproekt Publ., 2014, 40 p. (In Russian)
- Manaenkov A.S. *Lesomelioraciya aren zasushlivoj zony* [Forest reclamation of sandy soils in the semi-arid zone], Volgograd, Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences Publ., 2018, 428 p. (In Russian)
- Manaenkov A.S. Perspektiva povysheniya jeffektivnosti ispol'zovaniya nizkoproduktivnykh sel'skohozjajstvennykh zemel' na juge Rossii [The prospect of increasing the efficiency of using low-yielding agricultural land in the south of Russia], *Regional'naya ekonomika. Yug Rossii*, 2014, no. 2(4), p. 64–72. (In Russian)
- Nevel van L., Mertens J., Demey A. et al. Metal and nutrient dynamics in decomposing tree litter on a metal contaminated site, *Environmental Pollution*, 2014, vol. 189, p. 54–62, DOI: 10.1016/j.envpol.2014.02.009.
- Osnovy lesnoj biogeocenologii [Fundamentals of forest biogeocenology], ed. by V.N. Sukachev, N.V. Dylis, Moscow, Nauka Publ., 1964, 570 p. (In Russian)
- Pavlova-Traykova E. Influence of erosion control afforestation on some soil parameters in two watersheds in Southwest Bulgaria, *Silva Balcanica*, 2024, no. 25(2), p. 75–83, DOI: 10.3897/silvabalcanica.25.e125509.
- Polevoj opredelitel' pochv Rossii* [Field determinant of soils of Russia], Moscow, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute Publ., 2008, 182 p. (In Russian)
- Potapova K.V., Pyatina E.V. [Soil invertebrates-saprophages of the Lisinsky educational and experimental forestry], "Pochvy – strategicheskij resurs Rossii" [Soils as a strategic resource of Russia], Tezisy dokladov VIII s'ezda Obshchestva pochvedovedov im. V.V. Dokuchaeva i Shkoly molodykh uchenykh po morfologii i klassifikacii pochv, Syktyvkar, 2021, p. 334–335. (In Russian)
- Remezov N.G., Pogrebnyak P.S. *Lesnoe pochvovedenie* [Forest soil science], Moscow, Lesnaja promyshlennost' Publ., 1965, 322 p. (In Russian)
- Sazhin A.N., Kulik K.N., Vasil'ev Yu.I. *Pogoda i klimat Volgogradskoy oblasti* [Weather and climate of the Volgograd region], Volgograd, VNIALMI Publ., 2017, 334 p. (In Russian)
- Semenov V.M., Pautova N.B., Lebedeva T.N. et al. Plant Residues Decomposition and Formation of Active Organic Matter in the Soil of the Incubation Experiments, *Eurasian Soil Science*, 2019, vol. 52, no. 10, p. 1183–1194, DOI 10.1134/S1064229319100119.
- Semenyutina A.V., Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina V.A. et al. *Nauchnye osnovy i ehtapy formirovaniya polifunkcional'nykh klasternykh dendrologicheskikh ehkspozitsij kollektsij FNC agroekologii RAN* [Scientific foundations and stages of formation of multifunctional cluster dendrological expositions of collections of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences], Volgograd, Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences Publ., 2022, 192 p. (In Russian)
- Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Vasil'chenko A.A. Metod kartografirovaniya zashhitnykh lesnykh nasazhdenij na osnove raznovremennykh sputnikovyx izobrazhenij vysokogo prostanstvennogo razresheniya i bisezonnogo indeksa lesa [Method of mapping protective forest plantations based on multi-temporal satellite images of high spatial resolution and bi-seasonal forest index], *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, vol. 19, no. 4, p. 207–222, DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-207-222. (In Russian)
- Soloviev P.E. *Vliyanie lesnykh nasazhdenij na pochvoobrazovatel'nyj process i plodorodie stepnykh pochv* [Influence of forest plantations on soil formation process and fertility of steppe soils], Moscow, MSU Publ., 1967, 292 p. (In Russian)
- Ushakova G.I. Effect of ecological conditions on the rate and character of forest litter decomposition in the Kola peninsula, *Eurasian Soil Science*, 2000, vol. 33, no. 8, p. 881–886.
- Yuferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S., et al. *Geoinformacionnye tekhnologii v agrolesomelioracii* [Geoinformation technologies in agroforestry], Volgograd, VNIALMI Publ., 2010, 102 p. (In Russian)
- Zanella A., Ponge J.-F., Jabiol B. et al. Humusica 1, article 4, Terrestrial humus systems and forms – Specific terms and diagnostic horizons, *Applied Soil Ecology*, 2018, no. 122, p. 56–74, DOI: 10.1016/j.apsoil.2017.07.005.

Web sources

Methodological recommendations on soil and plant sampling to assess the dynamics of carbon stocks in forest, steppe and tundra ecosystems, *Metodicheskie rekomendacii po*

- otboru obrazcov pochv i rastenij dlja ocenki dinamiki zasobov ugleroda v lesnyh, stepnyh i tundrovyyh jekosistemah*, URL: https://ritm-c.ru/account/personal/methods_2023 (access data 02.06.2023).
- Climate, Climatic zoning, *Nacional'nyj atlas Rossii*, vol. 2, URL: <https://nationalatlas.ru/tom2/146-150.html> (access data 12.03.2024).
- Relief, Hypsometric map, *Nacional'nyj atlas Rossii*, vol. 2, URL: <https://nationalatlas.ru/tom2/112-113.html> (access data 05.03.2024).
- Soil-forming rocks, *Pochvoobrazujushhie porody*, URL: <https://webmapget.vsegei.ru> (access data 10.03.2024).
- Weather and climate, Kamyshyn, Annals of weather in Kamyshyn, *Pogoda i klimat, Kamyshin, Letopis' pogody v Kamyshine*, URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/34363.html> (access data 12.03.2024).

Received 24.06.2024

Revised 10.09.2024

Accepted 15.10.2024