

Естественные науки. 2024. № 2 (15). С. 45–55.

Yestestvennye nauki = Natural Sciences. 2024; 2 (15): 45–55 (In Russ.).

Научная статья
УДК 631.4

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ¹

*Федотова Анна Владиславовна[✉], Митрофанова Анна Дмитриевна,
Тимофеев Евгений Павлович, Зотов Егор Сергеевич*

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН (ФНЦ агроэкологии РАН), г. Волгоград,
Россия

fedotova-a@vfanc.ru[✉]

Аннотация. В статье изучены физические свойства почв под искусственными лесонасаждениями (сосна обыкновенная) эколого-климатической станции «Камышин» Волгоградской области. Объектами исследования стали почвы участков, расположенных в межкрановом и подкрановом пространстве. Почвы представлены двучленным профилем с погребенной тёмно-каштановой почвой. Наличие погребенного профиля определяет распределение основных физических свойств с глубиной. Увеличение величин изученных свойств приурочено к началу погребенного профиля более тяжёлого гранулометрического состава. В целом почвы характеризуются высокой уплотнённостью (более 1,6 г/см) и низкой влажностью (менее 9 % по профилю до глубины 60 см). Почвы межкранового пространства имеют более высокую плотность и влажность в силу утяжеления гранулометрического состава и отсутствия сформированного гумусового горизонта. Среди гранулометрических фракций преобладает доля физического песка (до 80 %), доля илистых фракций незначительна (до 8 %). Сравнительный анализ показал, что почвы в межкрановом пространстве менее подвержены процессам дефляции и опесчанивания.

Ключевые слова: почва, лесопосадки, плотность почвы, водопроницаемость почвы, влажность почвы, гранулометрический состав, погребенный профиль

Для цитирования: Федотова А. В., Митрофанова А. Д., Тимофеев Е. П., Зотов Е. С. Оценки основных физических свойств почв искусственных насаждений Волгоградской области // Естественные науки. 2024. № 2 (15). С. 45–55.

¹ Работа выполнена в рамках соглашения № ВИП ГЗ/23-20 на выполнение научно-исследовательских работ в рамках соглашения № 165-15-2023-004 от 01.03.2023 года «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» по теме «Оценка экосистемных потоков парниковых газов и аккумуляции углерода в агролесоландшафтах, формирующихся в засушливых условиях Юга России».

© Федотова А. В., Митрофанова А. Д., Тимофеев Е. П., Зотов Е. С., 2024.

ASSESSMENT OF THE BASIC PHYSICAL PROPERTIES OF SOILS OF ARTIFICIAL FOREST PLANTATIONS OF THE VOLGOGRAD REGION

Fedotova Anna V. ✉, *Mitrofanova Anna D.*, *Timofeev Evgeniy P.*, *Zotov Egor S.*

Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences (FSC Agroecology RAS), Russia, Volgograd

fedotova-a@vfanc.ru ✉

Abstract. The article studies the physical properties of soils under artificial forest plantations (Scots pine) at the Kamyshin eco-climatic station in the Volgograd region. The objects were the soils of the plots located in the intercrown and subcrown space. The soils are represented by a two-membered profile with buried dark chestnut soil. The presence of a buried profile determines the distribution of basic physical properties with depth. The increase in the values of the studied properties is confined to the beginning of the buried profile of a heavier granulometric composition. In general, soils are characterized by high compaction (more than 1.6 g/cm^3) and low moisture (less than 9 % along the profile to a depth of 60 cm). Soils in the intercrown space have a higher density and moisture content due to a heavier granulometric composition and the absence of a formed humus horizon. Among the granulometric fractions, the share of physical sand predominates (up to 80 %), the share of silt fractions is insignificant (up to 8 %). Comparative analysis showed that soils in the intercrown space are less susceptible to the processes of deflation and sandification.

Keywords: soil, forest plantations, soil density, soil water permeability, soil moisture, particle size distribution, buried profile

For citation: Fedotova A. V., Mitrofanova A. D., Timofeev E. P., Zotov E. S. Assessments of the basic physical properties of soils of artificial plantations in the Volgograd region. *Yestestvennyye nauki = Natural Sciences*. 2024; 2 (15): 45–55.

Введение. Почвозащитные мероприятия в виде искусственных лесопосадок приобрели большое значение в засушливых экосистемах [14]. Функционирование агролесоландшафтов меняет направленность почвообразовательного процесса на конкретной территории, трансформируя основные физические процессы и свойства [13]. Растения способствуют уменьшению водного стока, процессам почвообразования за счёт увеличения органического вещества почвы, улучшению структуры почвы, поглотительной способности, развиваются почвенные микробные сообщества. Общее качество почвы в засушливых экосистемах улучшается.

Почвы и определяющие их свойства являются важнейшими компонентами функционирования экосистем. Однако качество почвы часто не учитывается при разработке стратегий восстановления [10], а исследования обычно фокусируются только на восстановлении состава и структуры растительности [7].

Важными свойствами почвы для поддержания биоразнообразия экосистемы и её устойчивости являются физические свойства (например, плотность почвы, гранулометрический состав) [12]. Физические свойства

во многом определяют функции почвы, такие как круговорот элементов, удержание воды и секвестрация углерода, которые должны выполняться должным образом для поддержания экологического баланса и содействия восстановлению. Для понимания последствий будущих изменений в экосистемах под искусственными лесопосадками важно понимание физического состояния почвы и изменчивости её свойств в зависимости от особенностей лесовосстановления [11], что приобретает особую актуальность для засушливых территорий.

Оценка основных физических свойств почв искусственных лесных ландшафтов позволит оценить направленность эволюции почв и разработать рекомендации по их оптимальному использованию.

Материалы и методы исследования. Волгоградская область, расположенная на юго-востоке Восточно-Европейской равнины, относится к зоне засушливых земель. Большая часть территории занята сельскохозяйственными угодьями. Почвенный покров повсеместно подвержен деградиционным процессам в силу климатических и гидрологических условий. В области имеются обширные площади, занятые агролесоландшафтами, способствующие сохранению плодородия почвы и защиты ее от эрозионных процессов.

Исследования проводили в Камышинском районе Волгоградской области, расположенном в 180 км к северо-востоку от Волгограда. Общая площадь района составляет 3 563 км². На территории Камышинского района развиты эрозионно-долинно-балочные формы рельефа. Район является крупнейшим в области по запасам и добыче строительных песков.

Тип климата определён как умеренно-континентальный с холодной малоснежной зимой и продолжительным жарким и сухим летом [5] (рис. 1).

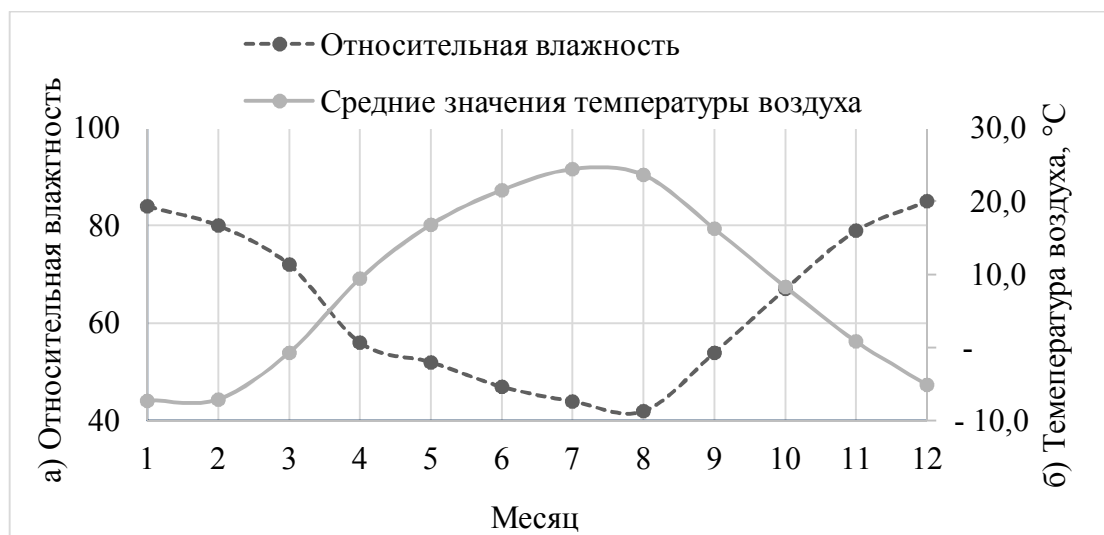


Рисунок 1 – Средние климатические показатели (2000–2022 гг.):
 а — относительная влажность; б — температура воздуха

Из рисунка 1 видно, что величины температуры и влажности воздуха находятся в обратно пропорциональной зависимости.

Средние температуры зимнего сезона держатся в интервале от минус 5,1 до минус 7,2 °С. В весенние месяцы температура воздуха начинает быстро увеличиваться (с каждым месяцем на десятки градусов) и к июлю достигает максимально высокая средняя температура (плюс 24,4 °С), после чего начинает стремительно падать до плюс 0,8 °С к ноябрю. По данным метеостанций, абсолютный максимум температур в Камышинском районе в 2022 г. пришёлся на 18 августа и составил плюс 36,9 °С, абсолютный минимум — 14 января (минус 19,6 °С) [2].

Наибольший показатель влажности воздуха соответствует зимним месяцам (декабрь – январь) и достигает 83–85 %. Этим обусловлена суровость (континентальность) климата: чем выше влажность, тем выше теплоёмкость воздуха. В весенние месяцы показатель влажности воздуха уменьшается и в летние месяцы опускается до 40 %.

Волгоградская область характеризуется невысоким количеством осадков (около 50 мм осадков в период с 2000 по 2022 г.; рис. 2). Наибольшее количество осадков приходится на январь, май, июль и сентябрь. Самыми влажными в период 2000–2022 г. стали 2021 и 2022 гг., самым засушливым и недостаточно обеспеченным осадками — 2008 г. [2].

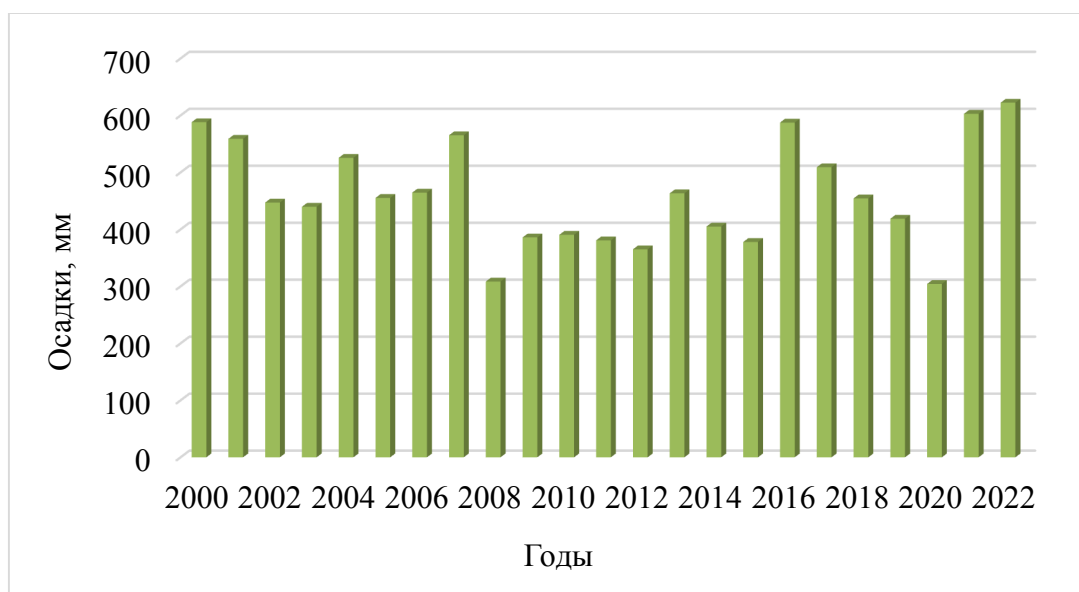


Рисунок 2 — Суммарное ежегодное количество осадков в Камышинском районе (2000–2022 гг.)

В зимние периоды 2000–2022 гг. температура поверхностного слоя почвы составила в среднем минус 11 °С в январе, а летом же (в самом жарком месяце – июле) поднимается до плюс 29 °С [6].

Степная зона Камышинского района характеризуется активным ветровым режимом. Зимой преобладают восточные ветры, летом — западные. Скорость ветра в Камышине характеризуется в зимние месяцы высокими средними показателями — от 6–7 м/с, летом — от 4 до 5 м/с [1]. В Камышине число дней со снежным покровом равно 116. В среднем появление снежного покрова приходится на 8 ноября, образование устойчивого снежного покрова — 13 декабря, а разрушение — 26 марта [2].

Почвенный покров формируется под влиянием климатических условий с учётом характера и степени антропогенной хозяйственной нагрузки.

Объектами исследования выбраны почвы эколого-климатической станции «Камышин» ФНЦ агроэкологии РАН. Территория представляет собой лесную экосистему с искусственными почвозащитными лесными насаждениями — сосняк злаково-разнотравный. Высота древостоя до 20 м, максимальный возраст древостоя — 119 лет. Посадки осуществлялись с целью защиты почв от дефляции и г. Камышина — от наступления песков.

Для территории исследования характерен эолово-аккумулятивный ландшафт, почвы которого представляют собой двучленный профиль с погребёнными агрогенными тёмно-каштановыми почвами. В качестве объектов исследования выбраны почвы двух участков (рис. 3). Особенностью выбранных участков является их расположение в ландшафте.



Рисунок 3 — Схема расположения почвенных разрезов

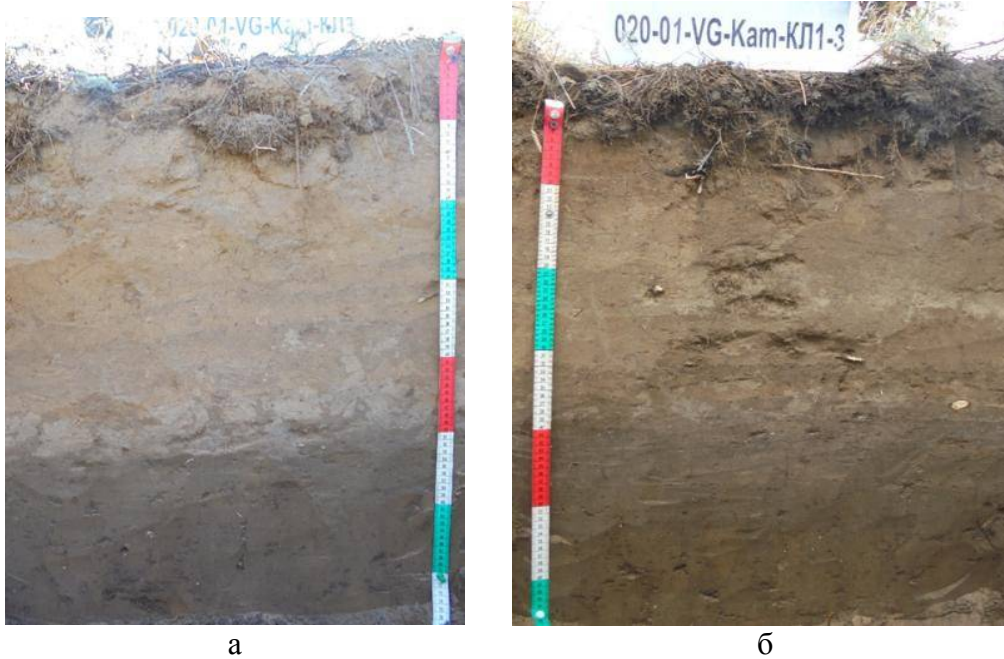
Участок № 1 (рис. 4а). Подкрановое пространство ($50^{\circ}4'43''$, $45^{\circ}21'42''$).

Участок № 2 (рис. 4б). Межкрановое пространство ($50^{\circ}4'42''$, $45^{\circ}21'42''$).

На исследуемой территории лесного участка в подкрановом пространстве на песчаных эоловых отложениях в почвенном профиле сформирован маломощный (до 4 см) протогумусовый горизонт [8; 9]. В профиле почвы межкранового пространства на поверхности присутствует дернина, сразу переходящая в горизонт С.

Пробы почвы для проведения лабораторных исследований отбирались непосредственно из разреза по десятисантиметровым слоям до глубины 60 см.

Влажность почвы определяли традиционным термостатно-весовым методом, плотность почвы — с использованием бура Качинского ($V = 100 \text{ см}^3$). Для определения водопроницаемости почвы использовали метод трубок с переменным напором [3; 4]. Гранулометрический состав определяли с использованием дифракционного лазерного анализатора размера частиц «Ласка-Т(Д)».



а
б
Рисунок 4 — Почвенные разрезы участков исследования:
а — участок № 1; б — участок № 2

Результаты исследования и их обсуждения. В целом исследуемые почвы отнесены к разряду засушливых и характеризуются малыми величинами полевой влажности (рис. 5а).

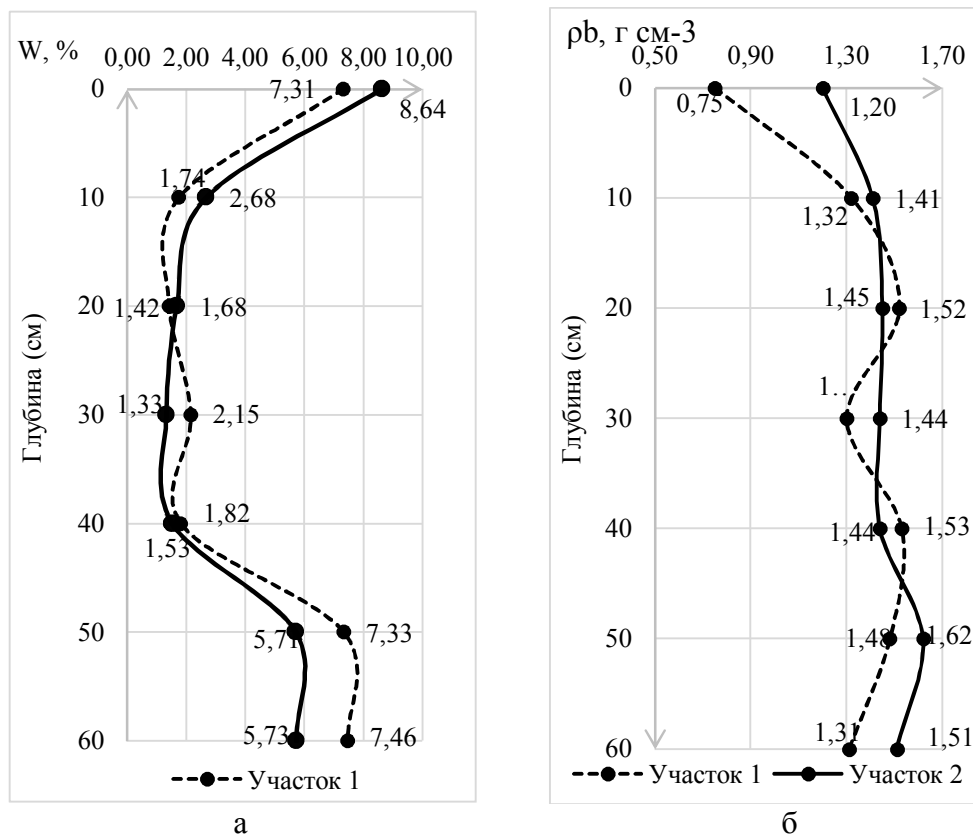


Рисунок 5 — Динамика влажности и плотности почвы по профилю разрезов участков № 1 и № 2: а — влажность почвы, W, %; б — плотность почвы, ρb, г/см

Изучение динамики изменения величин влажности по почвенному профилю показало, что характер распределения влажности изученных почв в целом аналогичен.

Наибольшие величины влажности почвы соответствуют поверхностному слою 0–10 см (7,31 % — для участка № 1 и 8,64 % — для участка № 2). Слой 10–40 см отличается значительной сухостью. Здесь зафиксирована наименьшая влажность почвы, сравнимая с гигроскопической влагой (1,33 % — для участка № 1 и 1,68 % — для участка № 2). Данный слой представлен опесчаненным наносом эолового происхождения, поглотительная способность которого мала, и влага, не задерживаясь, стекает в нижележащие горизонты. С глубины 40 см происходит постепенное увеличение влажности почвы. К этой глубине приурочено начало погребенного профиля тёмно-каштановой почвы (погребенный гумусовый горизонт), имеющего более тяжёлый гранулометрический состав. Однако на глубине 60 см вновь фиксируется уменьшение влажности. Незначительные различия в распределении влажности почвы по профилю двух изученных почв заключаются в более сухом (0–20 см) и более влажном (40–60 см) слоях для почв участка № 1.

Плотность почвы может варьировать в пространстве в результате воздействия различных факторов, в данном случае вариабельность почвы связана с особенностями морфологического строения почвенного профиля (уплотнённость песчаной массы и наличие погребенного профиля), а также влажности. Изучение динамики величин плотности почвы по профилю показало, что для разреза участка № 2 (межкрановое пространство) характерна большая вариабельность значений с глубиной, чем для почвы участка № 1 (подкрановое пространство). Эта особенность связана с большим количеством корневых систем травянистых растений, а также с жизнедеятельностью почвенной фауны на открытом участке. Наименьшая уплотнённость, как и следовало ожидать, приурочена к поверхностным слоям почвы. Наличие погребенного профиля отражается на динамике плотности почвы по профилю в виде увеличения её значений. Для разреза в межкрановом пространстве наибольший показатель плотности почвы зафиксирован для погребенной почвы на глубине 50–60 см (1,62 г/см), что, по оценке Качинского, для плотности почвы соответствует сильно уплотнённым иллювиальным горизонтам. В слое 0–10 см наблюдается наименьшая по профилю величина плотности почвы (1,20 г/см), соответствующая уплотнённой пашне по классификации Качинского. Для разреза в подкрановом пространстве наибольший показатель плотности приурочен также к погребенной почве (40–50 см) и составляет 1,53 г/см. В соответствии с экологической оценкой Качинского, величина плотности почвы для исследованных разрезов на глубине 0–10 см оптимальная, на глубине 10–60 см почва сильно уплотнена (до 1,62 г/см) [2]. Наличие погребенного профиля изменяет характер распределения величин влажности и плотности почвы по профилю.

Результаты гранулометрического анализа приведены на рисунке 6.

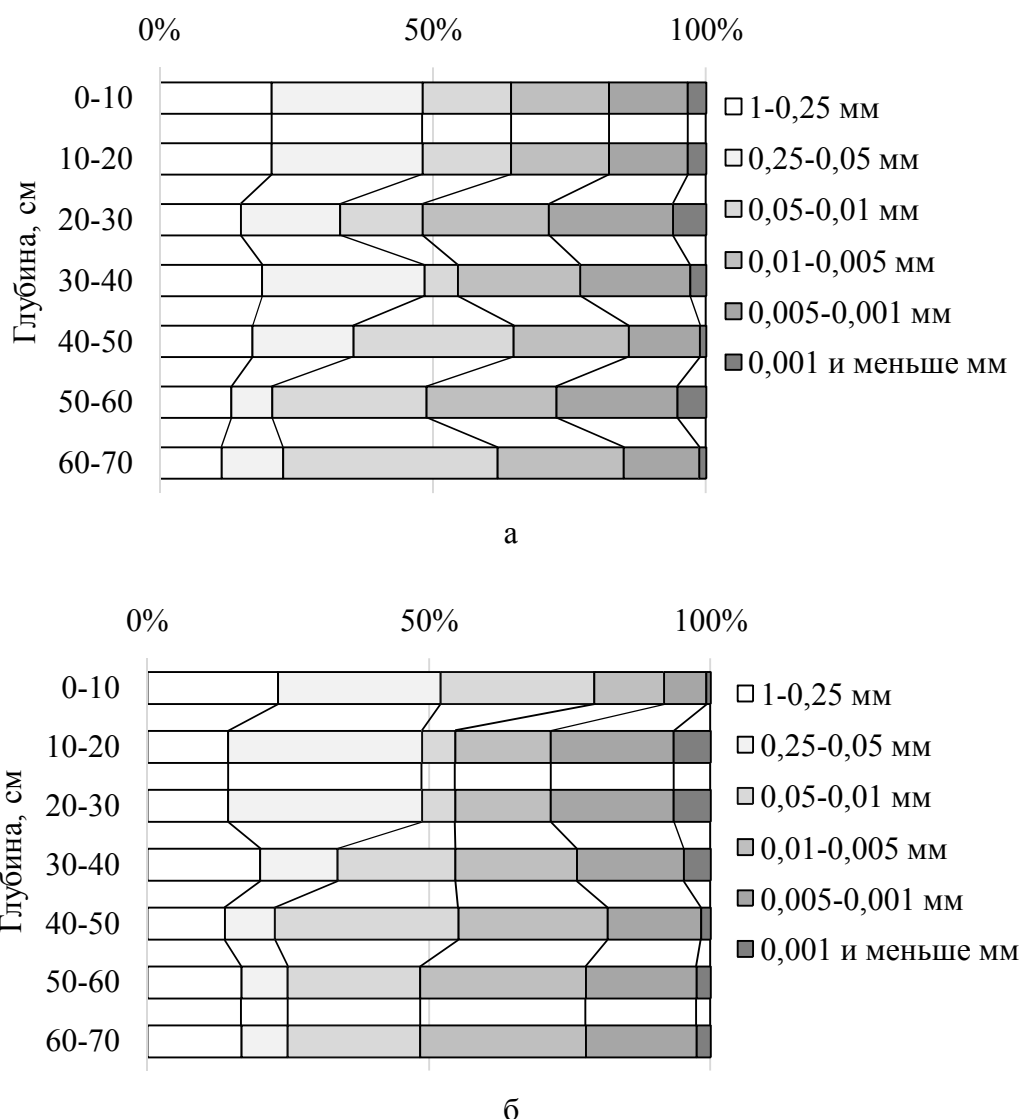


Рисунок 6 — Гранулометрический состав почвы: а — участок № 1; б — участок № 2

Доля физического песка в поверхностном слое почвы составляет 64,3 % для подкронового пространства и 79,3 % — для межкroнового. Это подтверждает почвозащитные функции лесных насаждений и позволяет предположить, что эоловые процессы протекают достаточно интенсивно на выбранной территории, увеличение лесопосадок позволит нивелировать негативные эрозионные процессы.

Уменьшение доли песчаных фракций наблюдается в погребенном профиле тёмно-каштановой почвы. Отметим, что наименьшее содержание установлено для илистой фракции. Для почв подкroнового пространства содержание ила по профилю варьирует от 1,1 до 6,1 %, для почв межкroнового пространства — от 1,7 до 6,5 %. Наименьшая доля илистой фракции (1,7 %) приурочена к поверхностному слою почв участка № 1 и на глубине с 50 см в профиле почвы участка № 2. То есть территория дефляционно опасная и дальнейшее изменение гранулометрического состава в сторону уменьшения илистой фракции может привести к образованию открытых развеваемых песков.

Учитывая особенность распределения гранулометрического состава, а именно преобладание песчаных фракций в слое 0—60 см, горизонтом вымывания (иллювиальным) является погребенный гумусовый горизонт тёмно-каштановой почвы.

Влагопроводящие свойства почвы являются определяющими для роста и развития растений. Учитывая специфику морфологического строения исследованных почв, а именно наличие опесчаненного слоя до глубины 40 см, определение водопроницаемости проводили с поверхности. Результаты показали, что водопроницаемость поверхностных слоёв почвы хорошая и составляет 9,8 см/ч для участка № 1 и 8,6 см/ч — для участка № 2. Таким образом, при обильных осадках происходит вымывание органического вещества вниз по профилю, которое аккумулируется в погребенном профиле тёмно-каштановой почвы.

Заключение. Почвы изученных искусственных лесных насаждений имеют двучленный профиль с погребенной каштановой агрогенной почвой. Наличие погребенного профиля обуславливает распределение физических свойств с глубиной. Более тяжёлый по гранулометрическому составу погребенный профиль тёмно-каштановой почвы (с глубины 40 см) является причиной видимого увеличения влажности и незначительного увеличения плотности почвы. В целом исследованные почвы характеризуются уплотнённостью, местами — сильной уплотнённостью (более 1,6 г/см), низкой влажностью (около 7–8 % на глубине 60 см) и хорошей водопроницаемостью поверхностного слоя почвы (более 8 см/ч). Показано, что почвы межкоронового пространства более подвержены процессам дефляции, о чём свидетельствует крайне малая доля илистой фракции (менее 8 %) и высокая доля физического песка (до 80 %). В целом эти почвы характеризуются большей уплотнённостью и не имеют выраженного гумусового горизонта. Высокая доля физического песка, в том числе в поверхностных горизонтах, свидетельствует о высокой дефляционной активности на данной территории.

Список литературы

1. Перекрестов, Н. В. Почвенно-климатические условия Дубовского района Волгоградской области / Н. В. Перекрестов // Вестник Прикаспия. — 2019. — № 1 (24). — С. 25–30. — doi: 10.26150/PAFNC.2019.45.557.2308-4952-1-25. — EDN VXUSFC.
2. Погода и климат. — URL: www.pogodaiklimat.ru (дата обращения: 10.10.2023).
3. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв / под ред. Е. В. Шеина. — Москва : Московский гос. ун-т, 2001. — 200 с.
4. ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. — Москва : Стандартинформ, 2000. — 6 с. — Дата введения: 27.09.89. № 2924.
5. Сажин, А. Н. Погода и климат Волгоградской области / А. Н. Сажин, К. Н. Кулик, Ю. И. Васильев. — Волгоград : Всероссийский науч.-исслед. агролесомелиоративный ин-т, 2010. — 306 с.
6. Специализированные массивы для климатических исследований. — URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/> (дата обращения: 12.10.2023).

7. Callaham, M. A. Jr. A striking profile: soil ecological knowledge in restoration management and science / M. A. Callaham Jr, C. C. Rhoades, L. Heneghan // *Restoration Ecology*. — 2008. — Vol. 16. — P. 604–607.

8. Classification of Rendzina Soils in Serbia According to the WRB system / S. Radmanović [et al.] // *Proceedings of the 2nd International and 14th National Congress of Soil Science Society of Serbia* / ed. by M. Belić [et al.]. — Novi Sad, 2017. — P. 1–9.

9. World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps // *International Union of Soil Sciences (IUSS)*. — 2022. — Vol. 4.

10. Farrell, H. L. Restoration, soil organisms, and soil processes: emerging approaches / H. L. Farrell, A. Leger, M. F. Breed, E. S. Gornish // *Restoration Ecology*. — 2020. — Vol. 28. — P. S307–S310. — doi: 10.1111/rec.13237.

11. Gatica, Saavedra P. et al. Soil health indicators for monitoring forest ecological restoration: A critical review / Gatica Saavedra P. et al. // *Restoration Ecology*. — 2023. — Vol. 31, № 5. — P. e13836.

12. Lehmann, J. The concept and future prospects of soil health / J. Lehmann, D. A. Bossio, I. Kögel-Knabner, M. C. Rillig // *Nature Reviews Earth & Environment*. — 2020. — Vol. 1. P. 544–553. — doi: 10.1038/s43017-020-0080-8.

13. Qu, L. Effects of plant coverage on shrub fertile islands in the Upper Minjiang River Valley / L. Qu, Z. Wang, Y. Huang et al. // *Science China Life Sciences*. — 2018. — Vol. 61. — P. 340–347. — doi: 10.1007/s11427-017-9144-9.

14. Schlesinger, W. H. Plant-soil interactions in deserts / W. H. Schlesinger, A. M. Pilmanis // *Biogeochemistry*. — 1998. — Vol. 42. — P. 169–187.

References

1. Perekrestov, N. V. Soil and climatic conditions of the Dubovsky district of the Volgograd region. *Vestnik Prikaspiya = Bulletin of the Caspian Sea*. 2019; 1 (24): 25–30. doi: 10.26150/PAFNC.2019.45.557.2308-4952-1-25, EDN VXUSFC.

2. *Pogoda i klimat = Weather and climate*. Available at: www.pogodaiklimat.ru (accessed: 10.10.2023).

3. *Polevyeye i laboratornyye metody issledovaniya fizicheskikh svoystv i rezhimov pochv = Field and laboratory methods of investigation of physical properties and regimes of soils*. Ed. by E. V. Shein. Moscow: Moscow State University; 2001: 200 p.

4. *GOST 28268-89. Soils. Methods for determining humidity, maximum hygroscopic humidity and humidity of stable wilting of plants*. Moscow: Standartinform; 2000: 6 p. Date of introduction 27.09.89. No. 2924.

5. Sazhin, A. N., Kulik, K. N., Vasiliev, Yu. I. *Pogoda i klimat Volgogradskoy oblasti = Weather and climate of the Volgograd region*. Volgograd: All-Russian Scientific Research Agroforestry Melioration Institute; 2010: 306 p.

6. *Spetsializirovannyye massivyy dlya klimaticheskikh issledovaniy = Specialized arrays for climate research*. Available at: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/> (accessed: 12.10.2023).

7. Callaham M. A. Jr., Rhodes K. K., Heneghan L. Striking Profile: Ecological knowledge of soils in restoration management and science. *Ecology of Restoration*. 2008; 16: 604–607.

8. Radmanovich S. [et al.]. Classification of Rendzina soils in Serbia in accordance with the WRB system. *Proceedings of the 2nd International and 14th National Congress of the Society of Soil Scientists of Serbia*. Ed. by M. Belich [et al.]. Novi Sad: 2017: 1–9.

9. World Reference Base of Soil Resources. International Soil Classification System for naming soils and creating symbols for soil maps. *International Union of Soil Scientists (IUSS)*. 2022; 4.

10. Farrell, H. L., Leger, A., Breed, M. F., Gornish E. S. Restoration, soil organisms and soil processes: new approaches. *Ecology of Restoration*. 2020; 28: S307–S310. doi: 10.1111/rec.13237.

11. Gatika, Saavedra P. et al. Soil condition indicators for monitoring ecological restoration of forests: a critical review. *Ecology of restoration*. 2023; 31(5): e13836.

12. Lehmann J., Bossio D. A., Kegel-Knabner I., Rillig M. K. The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth and Environment*. 2020; 1: 544–553. doi: 10.1038/s43017-020-0080-8.

13. Qu, L., Wang, Z., Huang, Yu. et al. The influence of vegetation cover on fertile islands of shrubs in the upper reaches of the Minjiang River Valley. *Science China Life Sciences*. 2018; 61: 340–347. doi: 10.1007/s11427-017-9144-9.

14. Schlesinger W. H., Pilmanis A. M. Interaction of plants and soil in deserts. *Biogeochemistry*. 1998; 42: 169–187.

Информация об авторах

Федотова А. В. — доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией;

Митрофанова А. Д. — лаборант-исследователь;

Тимофеев Е. П. — лаборант-исследователь;

Зотов Е. С. — лаборант-исследователь.

Information about the authors

Fedotova A. V. — Doctor of Biological Sciences, Leading Research Scientist, Head of the Laboratory;

Mitrofanova A. D. — Laboratory Assistant-Researcher;

Timofeev E. P. — Laboratory Assistant-Researcher;

Zotov E. S. — Laboratory Assistant-Researcher.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.05.2024; одобрена после рецензирования 30.05.2024; принята к публикации 31.05.2024.

The article was submitted 27.03.2024; approved after reviewing 30.05.2024; accepted for publication 31.05.2024.