

Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 2 (42). С. 3-10
Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2022; (2-42): 3-10

Научная статья
УДК 631.431.1
Код ВАК 4.1.3.

DOI: 10.52463/22274227_2022_42_3
EDN: AJNOBC

АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЁМНО-СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ

Дмитрий Иванович Ерёмин¹, Светлана Михайловна Каюгина²✉

^{1,2}Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

¹soil-tyumen@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3672-6060>

²kayugina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3934-835X>

Аннотация. Цель исследования – изучение и оценка пространственной неоднородности агрофизических свойств тёмно-серых лесных почв Северного Зауралья. **Методика.** Было заложено и описано 123 полнопрофильных разреза целинных тёмно-серых лесных почв. Одновременно с морфологическим описанием определяли плотность сложения методом Качинского. Плотность твёрдой фазы находили пикнометрическим методом, пористость – расчётным. Обработку полученных данных выполняли методами вариационной статистики в MS Excel. Оценка пространственной неоднородности осуществляли с помощью коэффициента вариации. **Результаты исследований.** Установлено, что в гумусовом горизонте (A_1) тёмно-серых лесных почв плотность сложения в среднем равна $1,03 \text{ г/см}^3$. Половина исследованных образцов имеет плотность сложения гумусового горизонта в диапазоне от $0,91$ до $1,13 \text{ г/см}^3$, что оптимально для выращивания зерновых и пропашных культур. В иллювиальном горизонте плотность сложения тёмно-серых лесных почв увеличивается до $1,28 \text{ г/см}^3$ и $1,32 \text{ г/см}^3$ в горизонтах B_1 и B_2 соответственно. Пространственное варьирование оценивается как небольшое. Плотность твёрдой фазы в гумусовом горизонте (A_1) тёмно-серых лесных почв в среднем составляет $2,25 \text{ г/см}^3$, варьируя в пределах выборки от $1,64$ до $2,88 \text{ г/см}^3$. В горизонте B_1 среднее

значение плотности твёрдой фазы не отличается от гумусового горизонта, а в горизонте B_2 уменьшается до $2,16 \text{ г/см}^3$. Общая пористость гумусового горизонта (A_1) тёмно-серых лесных почв в среднем составляет 54% от объёма почвы, а у половины исследованных образцов находится в диапазоне от 47 до 59%, что соответствует удовлетворительному состоянию. В горизонте B_1 пористость снижается до 43% от объёма, варьируя от 30 до 56%. Это указывает на то, что часть тёмно-серых лесных почв Северного Зауралья может иметь нарушения аэрации подпахотного горизонта в период весеннего снеготаяния или затяжных дождей осенью. **Научная новизна.** Статистический анализ больших массивов данных позволил установить степень пространственной неоднородности агрофизических свойств тёмно-серых лесных почв Северного Зауралья, что крайне важно при их сельскохозяйственном использовании.

Ключевые слова: плотность сложения, плотность твёрдой фазы, пористость, пространственная вариабельность, тёмно-серые лесные почвы, Северное Зауралье.

Для цитирования: Ерёмин Д.И., Каюгина С.М. Агрофизические свойства тёмно-серых лесных почв Северного Зауралья // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 2 (42). С. 3-10. https://doi.org/10.52463/22274227_2022_42_3

Scientific article

AGROPHYSICAL PROPERTIES OF DARK GREY FOREST SOILS OF THE NORTHERN TRANS-URALS

Dmitry I. Eremin¹, Svetlana M. Kayugina²✉

^{1,2}NorthernTrans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

¹soil-tyumen@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3672-6060>

²kayugina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3934-835X>

Abstract. *The purpose of the research* is to study and evaluate the space discontinuity of the agrophysical properties of dark grey forest soils of the Northern Trans-Urals. **The methodology.** 123 full-profile sections of virgin dark grey forest soils were made and described. Simultaneously with the morphological description, the density of soil structure was determined by the Kachynski method. The pycnometric method was used to determine the density of the solid phase, the porosity was calculated according to the generally accepted formula. The data obtained were processed by methods of variation statistics in MS Excel. Spatial heterogeneity was estimated using the coefficient of variation. **Results.** It was found that in the humus horizon (A_1) of dark gray forest soils, the average density of soil structure is 1.03 g/cm^3 . Half of the samples studied have a humus horizon density ranging from 0.91 to 1.13 g/cm^3 , which is optimal for growing grain and row crops. In the illuvial horizon, the bulk density of dark gray forest soils

increases to 1.28 g/cm^3 and 1.32 g/cm^3 in horizons B_1 and B_2 , respectively. Spatial differences are estimated as insignificant. The density of the solid phase in the humus horizon (A_1) of dark gray forest soils averages 2.25 g/cm^3 , varying within the sample from 1.64 to 2.88 g/cm^3 . In horizon B_1 , the average density of the solid phase does not differ from the humus horizon, and in horizon B_2 it decreases to 2.16 g/cm^3 . The total porosity of the humus horizon (A_1) of dark gray forest soils averages 54% of the soil volume, and in half of the samples studied it ranges from 47 to 59%, which corresponds to a satisfactory condition. In horizon B_1 , the porosity decreases to 43% of the volume, varying from 30 to 56%. This indicates that some of the dark gray forest soils of the Northern Trans-Urals may have disturbances in the aeration of the subsurface horizon during the spring snowmelt or prolonged rains in autumn. **Scientific novelty.** Statistical analysis of large data sets allowed us to establish the degree of spatial heterogeneity of the agro-

physical properties of dark gray forest soils of the Northern Trans-Urals, which is extremely important for their agricultural use.

Keywords: density of soil structure, solid phase density, porosity, spatial variability, dark grey forest soils, Northern Trans-Urals.

Введение. Сельскохозяйственное производство юга Тюменской области за последние два десятилетия совершило большой скачок и занимает лидирующие позиции не только в Уральском федеральном округе, но и в стране. Меры государственной поддержки аграриев в рамках приоритетного национального проекта «Развитие АПК», а также федеральных и региональных целевых программ сделали агропромышленный комплекс области привлекательным для инвесторов, что обеспечило успешную реализацию нескольких крупных проектов: введены в эксплуатацию молочно-товарные фермы с роботизированным доильным оборудованием и электронной системой управления стадом, запущен комплекс по выращиванию и переработке индейки, запланировано строительство племенной овцеводческой фермы и племенного репродуктора для выращивания и содержания родительского стада индеек. Область практически полностью обеспечивает себя основными продуктами питания и имеет потенциал увеличения объемов производства сельскохозяйственной продукции для обеспечения продовольственной безопасности как на региональном, так и на федеральном уровнях.

Развитие отраслей животноводства влечет за собой увеличение потребности в фуражном зерне, грубых и сочных кормах, следовательно, потребуется расширение имеющихся сельскохозяйственных угодий за счёт земель, которые ранее не обрабатывались или были давно переведены в залежное состояние.

Одними из перспективных для расширения пахотного фонда Северного Зауралья являются тёмно-серые лесные почвы. Данный подтип характеризуется высоким потенциальным плодородием, которое сравнимо с чернозёмами [1]. Основные площади тёмно-серых лесных почв сосредоточены в лесостепной зоне, где климатические условия способствуют формированию гумусового горизонта с высоким содержанием перегноя, мощность которого достигает 30 и более сантиметров [2, 3]. Тёмно-серые лесные почвы пригодны для распашки с минимальными затратами на улучшение.

Тёмно-серые лесные почвы на юге Тюменской области занимают 357,4 тыс. га, что составляет 40% от всего типа серых лесных почв Северного Зауралья [4]. Из них под

For citation: Eremin D.I., Kayugina S.M. Agrophysical properties of dark gray forest soils of the Northern Trans-Urals. Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2022; (2-42): 3-10. https://doi.org/10.52463/22274227_2022_42_3 (In Russ).

пашней занято 228,2 тыс. га, под сенокосами и пастбищами – 32,2 и 23,1 тыс. га соответственно. Не используется в сельском хозяйстве 73,9 тыс. га тёмно-серых лесных почв или 20,7% от общей площади.

При сельскохозяйственном освоении необходимо чёткое понимание физических основ плодородия почвы [5]. Основопологающими показателями физического состояния почв являются структурно-агрегатный состав и все виды плотности. Наиболее известными являются плотность сложения и плотность твёрдой фазы. Эти показатели обусловлены сочетанием свойств материнской породы и современного почвообразовательного процесса.

Подтип тёмно-серых лесных почв формируется под лесами паркового типа, где дерновый процесс доминирует над оподзоливанием. Однако многими учёными-почвоведом, изучающими серые лесные почвы Западной Сибири, неоднократно отмечалось существенное варьирование плотности сложения по всему почвенному профилю [6, 7]. Данный факт можно отнести к региональным особенностям почвообразования серых лесных почв.

Цель исследований - изучение и оценка пространственной неоднородности агрофизических свойств тёмно-серых лесных почв Северного Зауралья.

Методика. Материалом для написания статьи послужили многолетние результаты полевых исследований кафедры почвоведения и агрохимии Государственного аграрного университета Северного Зауралья. В период с 1965 г. по настоящее время сотрудниками кафедры было заложено и описано 123 полнопрофильных разреза тёмно-серых лесных почв. Все разрезы были заложены на целинных участках. Одновременно с морфологическим описанием определяли плотность сложения методом Качинского в двенадцатикратной повторности. Определение плотности сложения и отбор проб вели до глубины 1 м с шагом 10 см. Взвешивание свежих образцов проводили в полевых условиях. После этого отбирали образцы на влажность и лабораторные анализы. Плотность твёрдой фазы определяли пикнометрическим методом, пористость – расчётным, по формуле:

$$P_{\text{общ.}} = (1 - d_v / d) * 100\%,$$

где d_v – плотность сложения почвы, $г/см^3$; d – плотность твёрдой фазы $г/см^3$.

После обработки результатов данные усреднялись по генетическим горизонтам.

Статистическую обработку полученных данных выполняли на кафедре математики и информатики ГАУ Северного Зауралья с помощью табличного процессора Microsoft Excel 2016 (надстройка «Анализ данных», инструмент «Описательная статистика»). Были определены меры центральной тенденции (среднее, мода, медиана), меры изменчивости (стандартное отклонение, дисперсия, размах вариации), меры отклонения формы распределения (асимметрия, эксцесс).

Оценку пространственной неоднородности осуществляли с помощью коэффициента вариации (C_v), который определяется как процентное отношение стандартного отклонения к среднему по выборке. Вариабельность оценивали по шкале, предложенной В.И. Савичем, для почвенных показателей (таблица 1).

Таблица 1 - Оценка степени изменчивости по значению коэффициента вариации

Коэффициент вариации (C_v), %	Варьирование	Балл
0 – 5	Незначительное	10
6 – 10		9
11 – 15	Небольшое	8
16 – 20		7
21 – 30	Среднее	6
31 – 40		5
41 – 45	Высокое	4
46 – 50		3
51 – 60		2
>60	Очень высокое	1

Результаты. Агрофизические свойства считаются одними из важнейших элементов плодородия почв. К основным физическим свойствам относят плотность сложения и твёрдой фазы, пористость, структурно-агрегатный состав и водоустойчивость структурных отдельностей.

Плотность – одно из фундаментальных свойств почвы, от которого во многом зависит урожайность сельскохозяйственных культур. Она оказывает влияние на рост корней растений, так как уплотнённая почва является существенной преградой для их проникновения [8]. От плотности зависит способность почвы накапливать и удерживать влагу, мобилизовывать питательные вещества, создавать условия для жизнедеятельности микробиоты.

Было установлено, что плотность сложения зависит от гумусированности горизонта, а плотность твёрдой фазы тесно коррелирует с минералогическим составом материнской породы [9].

По мнению ведущих учёных, на серых лесных почвах со средне- и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом оптимальная плотность сложения для зерновых культур находится в диапазоне от 1,00 до 1,30 $г/см^3$, для пропашных культур – от 0,9 до 1,1 $г/см^3$ [10-12]. Схожая плотность сложения характерна для целинных тёмно-серых и черноземных почв. Однако при многолетнем их использовании в пашне плотность сложения существенно возрастает [13-15].

Анализ 123 почвенных разрезов показал, что в гумусовом горизонте A_1 тёмно-серых лесных почв плотность сложения в среднем равна 1,03 $г/см^3$ при стандартном отклонении 0,13 $г/см^3$ (таблица 2). На разброс значений относительно среднего, то есть плосковершинное распределение, указывает отрицательная величина коэффициента эксцесса ($Ex=-0,87$). Асимметрия левосторонняя, незначительная. Пространственная вариабельность плотности сложения тёмно-серых лесных почв в гумусовом горизонте оценивается как небольшая (коэффициент вариации равен 13%).

Вариабельность плотности сложения наглядно иллюстрирует диаграмма размаха $Boxplot$ («ящик с усами»). По рисунку 1 видно, что половина исследованных образцов имеет плотность сложения гумусового горизонта A_1 в диапазоне от 0,91 до 1,13 $г/см^3$, что оптимально для выращивания зерновых и пропашных культур.

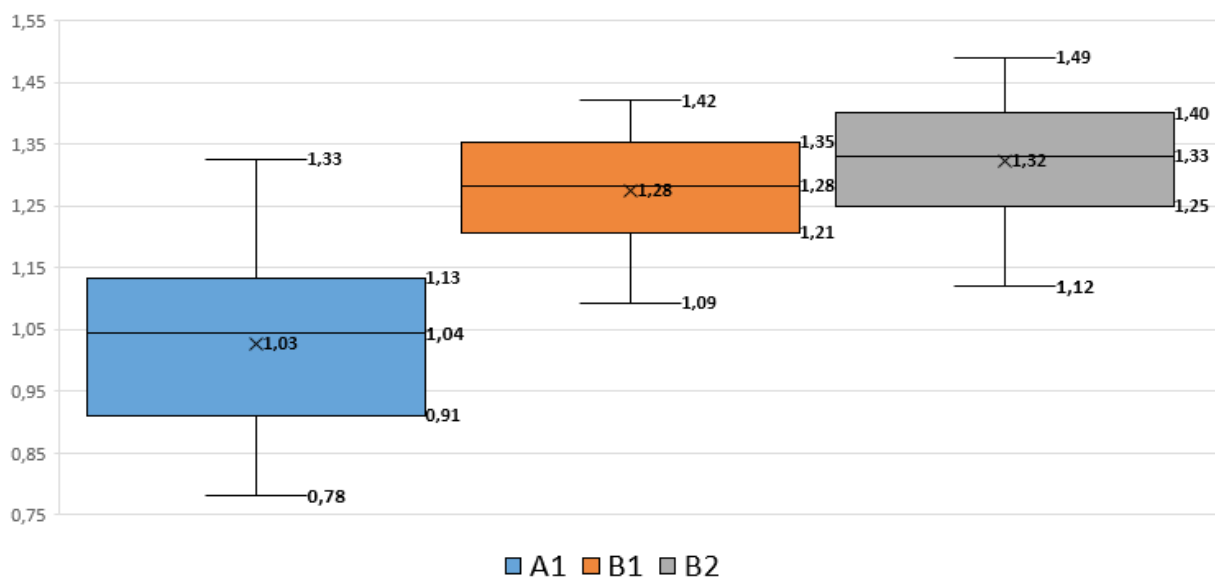
С увеличением глубины профиля плотность сложения тёмно-серых лесных почв возрастает. В горизонте B_1 изучаемый показатель изменяется в диапазоне от 1,09 до 1,42 $г/см^3$, в среднем по выборке он равен 1,28 $г/см^3$. Дисперсия и размах вариации ниже, чем в гумусовом горизонте. Вариабельность оценивается как незначительная (коэффициент вариации составляет 7%). Горизонт B_1 в тёмно-серых лесных почвах не будет препятствовать аэрации и движению воды вниз по профилю, тем самым не оказывая негативного влияния на растущие сельскохозяйственные культуры.

Горизонт B_2 характеризуется более высокой плотностью сложения, чем горизонты A_1 и B_1 . Формирование плотности сложения в этом горизонте происходит за счет процессов увлажнения-иссушения, иллювиирования и постоянного

Таблица 2 - Статистические характеристики агрофизических свойств тёмно-серых лесных почв Северного Зауралья

Горизонты	m	Med	Mo	s	σ^2	Ex	A	max-min	min	max	Cv
Плотность сложения, г/см ³											
A ₁	1,03	1,04	н/о*	0,13	0,018	-0,87	-0,09	0,55	0,78	1,33	13
B ₁	1,28	1,28	1,41	0,09	0,007	-0,88	-0,27	0,33	1,09	1,42	7
B ₂	1,32	1,33	1,34	0,09	0,008	-0,77	-0,19	0,37	1,12	1,49	7
Плотность твёрдой фазы, г/см ³											
A ₁	2,25	2,22	1,94	0,32	0,102	-0,86	0,24	1,24	1,64	2,88	14
B ₁	2,25	2,24	2,61	0,28	0,076	-0,58	0,04	1,23	1,62	2,85	12
B ₂	2,16	2,14	2,5	0,26	0,066	-0,32	0,21	1,31	1,63	2,94	12
Пористость, % от объёма											
A ₁	54	56	н/о	7,19	51,65	-0,97	-0,48	27	38	65	13
B ₁	43	42	н/о	6,05	36,66	-0,5	0,08	26	30	56	14
B ₂	38	38	34	6,16	37,95	-0,47	0,1	27	25	52	16

Примечание: m – средние значения; Med – медиана; Mo – мода; s – стандартное отклонение; σ^2 – дисперсия выборки; Ex – коэффициент эксцесса; A – коэффициент асимметрии; min – минимум; max – максимум; Cv – коэффициент вариации, %.
* - мода не определена

Рисунок 1 - Диаграмма размаха плотности сложения тёмно-серых лесных почв, г/см³

давления вышележащего слоя.

В тёмно-серых лесных почвах Северного Зауралья нижняя часть иллювиального горизонта (B₂) характеризуется повышенным уплотнением – 1,32 г/см³ при размахе значений от 1,12 до 1,49 г/см³. Пространственная неоднородность незначительная – коэффициент вариации составляет 7%. Максимальная плотность сложения 1,49 г/см³ не может оказать негативного влияния на почвообразование и развитие сельскохозяйственных культур.

Таким образом, в ходе анализа обобщенных результатов плотности сложения было установлено, что тёмно-серые лесные почвы Северного Зауралья находятся в зоне оптимума для зерновых и пропашных культур и не имеют

признаков естественного переуплотнения иллювиального горизонта. Коэффициент пространственной и внутрипрофильной неоднородности составляет 7-13%.

Плотность твёрдой фазы зависит от гранулометрического, минералогического состава и обогащенности гумусом. В отличие от плотности сложения, плотность твёрдой фазы характеризуется постоянством во временном промежутке.

Наши исследования показали, что в гумусовом горизонте A₁ тёмно-серых лесных почв плотность твёрдой фазы в среднем по исследованным почвенным образцам составляет 2,25 г/см³ при размахе значений в выборке от 1,64 до 2,88 г/см³ (рисунок 2). Это на 15-20% меньше значений почвообразующей породы. Дан-

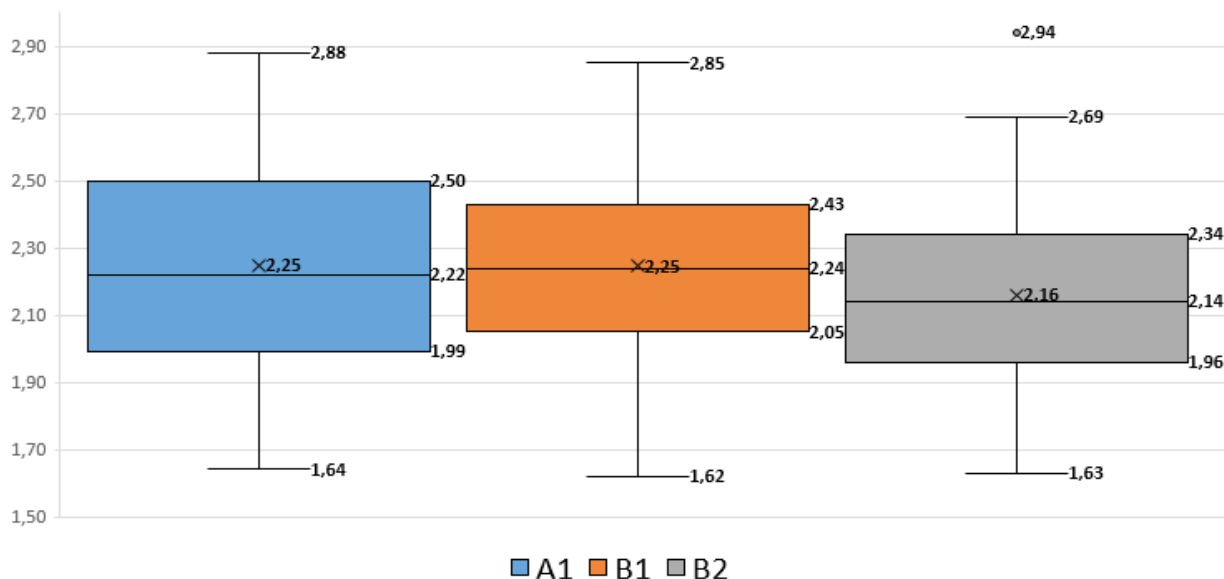


Рисунок 2 - Диаграмма размаха плотности твёрдой фазы тёмно-серых лесных почв, г/см³

ный факт обусловлен процессом естественного накопления гумуса в горизонте A_1 . Половина исследованных почвенных образцов имеет значения плотности твёрдой фазы в диапазоне от 1,99 (высокогумусные почвы) до 2,50 г/см³ (наименее гумусированные). Экссесс отрицательный ($E_x = -0,86$), следовательно, значения равномерно разбросаны относительно средней величины с тенденцией правосторонней асимметрии. Пространственная неоднородность тёмно-серых лесных почв по плотности твёрдой фазы гумусового горизонта характеризуется как небольшая (коэффициент вариации равен 14%).

В горизонте B_1 среднее значение плотности твёрдой фазы не отличается от гумусового горизонта и составляет 2,25 г/см³, однако дисперсия ниже, то есть горизонт B_1 более однороден. Вариабельность можно оценить как небольшую (коэффициент вариации равен 12%). В горизонте B_2 плотность твёрдой фазы уменьшается до 2,16 г/см³. Плотность твёрдой фазы половины исследованных образцов находится в диапазоне от 1,96 до 2,34 г/см³. Вариабельность небольшая ($C_v = 12\%$).

Знание плотности сложения и твёрдой фазы даёт возможность расчётным путём довольно точно определить общую пористость, а следовательно, прогнозировать условия аэрации всего почвенного профиля.

Характер пористости обуславливается физическими и физико-химическими процессами, протекающими в почве: растрескиванием её под действием увлажнения-высыхания, нагрева-охлаждения, набухания-сжатия; передвижением жидкой фазы и деятельностью живой

фазы; выщелачиванием и выносом различных химических соединений в нижележащие горизонты. Степень пористости также зависит от почвенной структуры, гранулометрического состава и содержания гумуса. Пористость убывает вниз по почвенному профилю.

Гумусовый горизонт (A_1) тёмно-серых лесных почв характеризуется очень широким размахом значений общей пористости от 38 до 65% при среднем значении 54% от объёма почвы (рисунок 3). У половины исследованных образцов пористость находится в диапазоне от 47 до 59% от объёма, что соответствует удовлетворительному состоянию. Распределение плосковершинное (экссесс равен -0,97), следовательно, имеет место разброс значений относительного среднего. Левосторонняя асимметрия ($A = -0,48$) указывает на преобладание в выборке почвенных образцов с пористостью выше среднего уровня. Вариабельность можно оценить как небольшую (коэффициент вариации равен 13%).

В горизонте B_1 пористость закономерно снижается по сравнению с гумусовым горизонтом и составляет в среднем 43%. Диапазон варьирования довольно широкий – от 30 до 56%. Это указывает на то, что часть тёмно-серых лесных почв Северного Зауралья может иметь нарушения аэрации подпахотного горизонта в дождливые годы. Вариабельность чуть выше, чем в верхней части почвенного профиля ($C_v = 14\%$). В горизонте B_2 пористость в среднем равна 38%, однако дисперсия и размах вариации больше, чем в горизонте B_1 . Вариабельность значений в выборке оценивается как небольшая (коэффициент вариации составляет 16%).

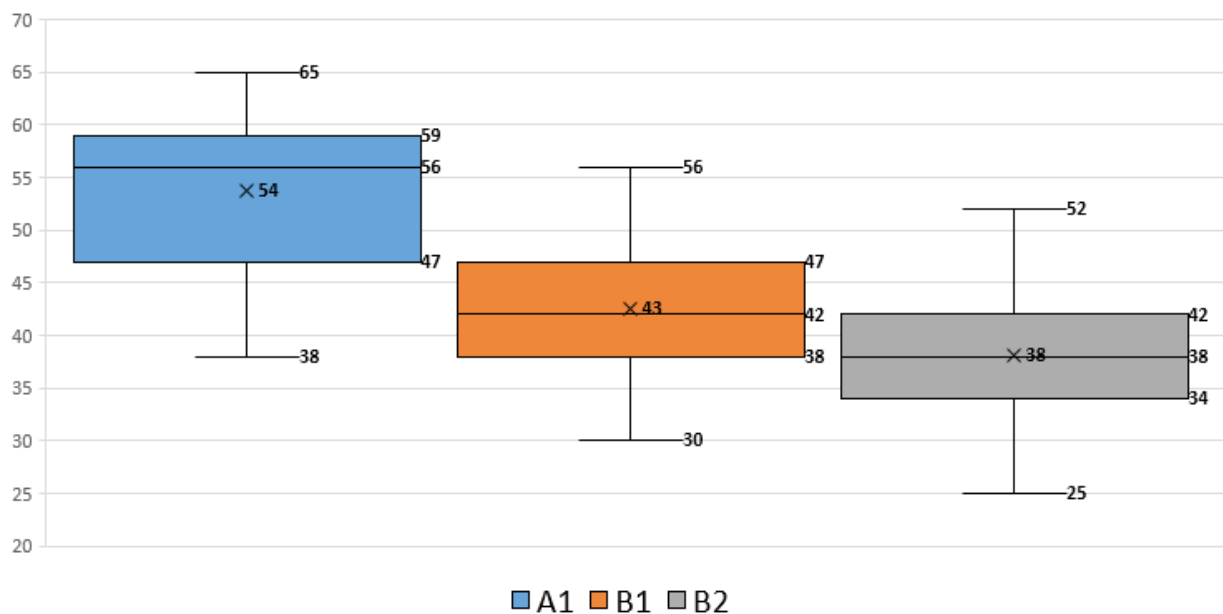


Рисунок 3 - Диаграмма размаха пористости тёмно-серых лесных почв, % от объёма

Выводы. Тёмно-серые лесные почвы в Северном Зауралье занимают 357,4 тыс. га, из которых около 283,5 тыс. га вовлечены в сельскохозяйственный оборот, преимущественно под пашню. В настоящее время тёмно-серые лесные почвы являются наиболее перспективными для расширения пахотного фонда юга Тюменской области.

Проведенный статистический анализ больших массивов данных показал, что целинные тёмно-серые лесные почвы Северного Зауралья характеризуются оптимальными значениями плотности сложения: в горизонте A_1 среднее значение $1,03 \text{ г/см}^3$ с диапазоном варьирования от $0,78$ до $1,33 \text{ г/см}^3$, что благоприятно для выращивания зерновых и пропашных культур. В горизонтах B_1 и B_2 плотность сложения возрастает до $1,28 \text{ г/см}^3$ и $1,32 \text{ г/см}^3$ соответственно. Это не будет препятствовать аэрации и движению воды вниз по профилю. Пространственная неоднородность оценивается как небольшая.

Плотность твёрдой фазы тёмно-серых лесных почв варьирует в широких пределах от $1,62$ до $2,94 \text{ г/см}^3$, что объясняется влиянием реликтового осолодения, а также процессами миграции гумусовых веществ вглубь профиля.

Общая пористость тёмно-серых лесных почв изменяется от 25 и до 65% от объёма почвы, закономерно снижаясь вглубь почвенного профиля. В ходе проведённого анализа было установлено, что лишь незначительная часть тёмно-серых лесных почв имеет низкую общую пористость и склонна к нарушению условий аэрации в период весеннего снеготаяния или за-

тяжных дождей осенью. Общая пористость таких почв достигает 30% и менее.

Список источников

1 Ренёв Е.П., Ерёмин Д.И., Ерёмина Д.В. Оценка основных показателей плодородия почв, наиболее пригодных для расширения пахотных угодий в Тюменской области // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 4. С. 27-31.

2 Каюгина С.М., Ерёмин Д.И. Пространственная вариабельность мощности генетических горизонтов серых лесных почв Северного Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2020. № 10 (163). С. 3-12.

3 Каюгина С.М. Особенности строения тёмно-серых лесных почв лесостепной зоны Зауралья // Инновационные технологии в АПК: теория и практика: сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курган, 2021. С. 289-293.

4 Ерёмин Д.И. Особенности морфогенетических свойств серых лесных почв юга Тюменской области // Вестник Курганской ГСХА. 2017. № 3 (23). С. 8-11.

5 Зинченко С.И., Шейн Е.В., Зинченко М.К. Вариабельность агрофизических характеристик серых лесных почв // Новая наука: от идеи к результату. 2017. Т. 1. № 3. С. 226-231.

6 Шапорина Н.А., Сайб Е.А. Вариабельность агрофизических показателей комплекса склоновых почв Предсалаирья // Почвы и окружающая среда. 2020. Т. 3. № 2. С.4.

7 Шапорина Н.А., Чичулин А.В., Чумбаев А.С. Пространственная вариабельность

водно-физических свойств темно-серой лесной почвы в условиях Предсалаирья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 10. С. 144-149.

8 Сарсенов А.Е., Куан А.К. Влияние плотности почвы на рост, развитие и урожай сельскохозяйственных культур // Наука и Образование. 2019. Т. 2. № 4. С. 247.

9 Шейн Е.В., Гончаров В.М. Агрофизика. М.: Феникс, 2019. 184 с.

10 Конищев А.А., Перфильев Н.В., Гарифуллин И.И. Исследование взаимосвязи «оптимальной плотности сложения» с влажностью почвы и урожайностью ячменя // Агрофизика. 2019. № 2. С. 25-31.

11 Перфильев Н.В., Вьюшина О.А., Конищев А.А., Гарифуллин И.И. Исследование взаимосвязи «оптимальной плотности» почвы с урожайностью зерновых культур // Агрофизика. 2017. № 4. С. 16-24.

12 Баскаков И.В., Орбинский В.И., Гивевский А.М., Чернышов А.В. Оптимальная плотность почвы – резерв повышения урожайности // Сельский механизатор. 2017. № 11. С. 12-13.

13 Ерёмин Д.И., Груздева Н.А. Агрогенные изменения плотности серых лесных почв в Северном Зауралье // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2017. Т. 47. № 5 (258). С. 13-22.

14 Зинченко С.И. Изменение плотности сложения в агроэкосистемах серой лесной почвы // Владимирский земледелец. 2020. № 4 (94). С. 4-7.

15 Шахова О.А. Изменение агрофизических свойств серой лесной почвы при различных видах зяблевой обработки в условиях северной лесостепи Тюменской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (66). С. 33-37.

References

1 Renev E.P., Eremin D.I., Eremina D.V. Ocenka osnovnyh pokazatelej plodorodija pochv naibolee prigodnyh dlja rasshirenija pahotnyh ugodij v Tjumenskoj oblasti [Assessment of the main indicators of soil fertility most suitable for the expansion of arable land in the Tyumen region]. Achievements of Science and Technology of AIC. 2017; (31-4): 27-31. (In Russ).

2 Kayugina S.M., Eremin D.I. Prostranstvennaja variabel'nost' moshhnosti geneticheskikh gorizontov seryh lesnyh pochv Severnogo Zaural'ja [Spatial variability in the thickness of genetic horizons of gray forest soils of the Northern Trans-

Urals]. The Bulletin of KrasGAU. 2020; (10-163): 3-12. (In Russ).

3 Kayugina S.M. Osobennosti stroenija tjumno-seryh lesnyh pochv lesostepnoj zony Zaural'ja [Features of the structure of dark gray forest soils of the forest-steppe zone of the Trans-Urals]. Innovative technologies in the agro-industrial complex: theory and practice: collection of articles based on the materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference. Kurgan; 2021: 289-293. (In Russ).

4 Eremin D.I. Osobennosti morfogeneticheskikh svojstv seryh lesnyh pochv juga Tjumenskoj oblasti [Features of the morphogenetic properties of gray forest soils in the south of the Tyumen region]. Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2017; (3-23): 8-11. (In Russ).

5 Zinchenko S.I., Shein E.V., Zinchenko M.K. Variabel'nost' agrofizicheskikh harakteristik seryh lesnyh pochv [Variability of agro-physical characteristics of gray forest soils]. Novaja nauka: ot idei k rezul'tatu. 2017; (1-3): 226-231. (In Russ).

6 Shaporina N.A., Saib E.A. Variabel'nost' agrofizicheskikh pokazatelej kompleksa sklonovyh pochv Predsair'ja [Variability of agro-physical indicators of the complex of slope soils of the Cis-Salairye]. The Journal of Soils and Environment. 2020; (3-2): 4. (In Russ).

7 Shaporina N.A., Chichulin A.V., Chumbaev A.S. Prostranstvennaja variabel'nost' vodno-fizicheskikh svojstv temno-seroj lesnoj pochvy v uslovijah Predsair'ja [Spatial variability of water-physical properties of dark gray forest soil under the conditions of Cis-Salair]. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2018; (10): 144-149. (In Russ).

8 Sarsenov A.E., Kuan A.K. Vlijanie plotnosti pochvy na rost, razvitie i urozhaj sel'skhozajstvennyh kul'tur [Influence of soil density on the growth, development and yield of agricultural crops]. Science and Education. 2019; (2-4): 247. (In Russ).

9 Shein E.V., Goncharov V.M. Agrofizika [Agrophysics]. Moscow: Phoenix; 2019. (In Russ).

10 Konishchev A.A., Perfil'ev N.V., Garifullin I.I. Issledovanie vzaimosvjazi «optimal'noj plotnosti slozheni [Investigation of the relationship between "optimal body density" and soil moisture and barley yield]. Agrophysics. 2019; (2): 25-31. (In Russ).

11 Perfilyev N. V., Vyushina O. A., Konishchev A. A., Garifullin I. I. Issledovanie vzaimosvjazi «optimal'noj plotnosti» pochvy s urozhajnost'ju zernovyh kul'tur [Study of the relationship between the "optimal density" of the soil and the yield of grain

crops]. Agrophysics. 2017; (4): 16-24. (In Russ).

12 Baskakov I.V., Orobinsky V.I., Gievskii A.M., Chernyshov A.V. Optimal'naja plotnost' pochvy – rezerv povysheniya urozhajnosti [Optimal soil density – a reserve for increasing productivity]. Selskiy Mechanizator. 2017; (11): 12-13. (In Russ).

13 Eremin D.I., Gruzdeva N.A. Agrogennye izmeneniya plotnosti seryh lesnyh pochv v Severnom Zaural'e [Agrogenic changes in the density of gray forest soils in the Northern Trans-Urals]. Siberian Herald of Agricultural Science. 2017; V. 47. (5-258): 13-22. (In Russ).

14 Zinchenko S.I. Izmenenie plotnosti slozheniya v agroekosistemah seroj lesnoj pochvy [Change in bulk density in agroecosystems of gray forest soil]. Vladimir agricolist. 2020; (4-94): 4-7. (In Russ).

15 Shakhova O.A. Izmenenie agrofizicheskikh svojstv seroj lesnoj pochvy pri razlichnykh vidakh zjablevoj obrabotki v uslovijah severnoj le-sostepi Tjumenskoj oblasti [Changes in the agro-physical properties of gray forest soil under different

types of autumn cultivation in the conditions of the northern forest-steppe of the Tyumen region]. Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2021; (3-66): 33-37. (In Russ).

Информация об авторах

Д.И. Ерёмин – доктор биологических наук, доцент; AuthorID 318870.

С.М. Каюгина – AuthorID 742065.

Information about the authors

D.I. Eremin – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor; AuthorID 318870.

S.M. Kayugina – AuthorID 742065.

Статья поступила в редакцию 22.04.2022; одобрена после рецензирования 5.05.2022; принята к публикации 26.05.2022.

The article was submitted 22.04.2022; approved after reviewing 5.05.2022; accepted for publication 26.05.2022.