

16. Pleskachev Yu. N., Belenkov A. I., Tyumakov A. Yu., et al. Precision (coordinate) farming: reality and prospects. *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2016. № 2 (42). Pp. 96-101.
17. Dubovik D. V., Lazarev V. I., Aydiev A. Ya. et al. The effectiveness of various methods of basic tillage and direct sowing when cultivating winter wheat on chernozem soils. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2019. № 12. Pp. 26-29.
18. Ilves A. L., Smolina L. P. Standards for adjusting the fertility indicators of sod-podzolic soil. *Agrarian Russia*. 2020. № 4. Pp. 23-27.
19. Korchagin A. A., Shchukin I. M., Okorkova L. A., et al. The influence of fertilization and soil cultivation systems on the yield of grain crops in adaptive landscape farming systems of the Vladimir Opolye. *Vladimir farmer*. 2021. № 3 (97). Pp. 38-44.
20. Vlasenko N. G. Basic methodological principles for the formation of modern plant protection systems. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2016. № 4. Pp. 25-29.
21. Voronov S. I., Kirichkova I. V., Novikov S. Yu. Cultivation of winter rye at different levels of intensification in the Central Non-Black Earth Region. *Agrarian Russia*. 2023. № 11. Pp. 3-6.
22. Egorov N. M. Predecessors of winter wheat in the dry steppe zone of light chestnut soils of the Lower Volga region: Science and youth: new ideas and solutions: materials of the International scientific.-practical conferences. Volgograd, 2017. Pp. 460-464.
23. Zelenov A. V., Urishev R. Kh., Protopopov V. M. Techniques for preserving the fertility of light chestnut soils in field biologized crop rotations of the Lower Volga region. *Problems of rational use of environmental complexes in arid territories: materials of the International scientific. – practical conferences*. Volgograd, 2015. Pp. 52-54.
24. Sarychev A. N., Mikhalkov D. E., Mishchenko E. V., et al. Features of the formation of yield and quality indicators of winter wheat grain in the agroforestry landscape. *Agrarian Russia*. 2023. № 10. Pp. 25-30.

Информация об авторах

Воронов Сергей Иванович, доктор биологических наук, профессор, член-корр. РАН, директор ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (Российская Федерация, 143026, г. Москва, Большой Бульвар, 30с1, Инновационный центр Сколково), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8103-3909>, e-mail: vsi08@mail.ru

Зеленов Александр Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории сортовых технологий озимых зерновых культур и систем применения удобрений, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», (Российская Федерация, 143026, Москва, Большой Бульвар, 30с1, Инновационный центр Сколково), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: Zelenov.A@bk.ru

Author's Information

Voronov Sergey Ivanovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences Director, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center" Nemchinovka" (Russian Federation, 143026, Moscow, Bolshoi Boulevard, 30c1, Skolkovo Innovation Center), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8103-3909>, e-mail: vsi08@mail.ru

Zelenov Aleksander Vasilievich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Varietal Technologies of Winter Grain Crops and Fertilizer Application Systems, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center" Nemchinovka" (Russian Federation, 143026, Moscow, Bolshoi Boulevard, 30c1, Skolkovo Innovation Center), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: Zelenov.A@bk.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-03

MEDIUM-TERM CHANGES IN THE AGGREGATE COMPOSITION OF SOUTHERN CHERNOZEM UNDER THE INFLUENCE OF AFFORESTATION OF THE PENZA-KAMENSK STATE FOREST BELT

Aparin B. F., Mingareeva E. V.

*Central Museum of Soil Science named after V. V. Dokuchaev – Branch of the Federal State Budgetary Institution
Federal Research Center "Soil Institute named after V.V. Dokuchaev"*

St. Petersburg, Russian Federation

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

Corresponding author E-mail: elena.mingareeva@yandex.ru

Received 19.10.2023

Submitted 24.11.2023

The study was carried out within the framework of the project №22-16-20056 "Contribution of linear protective forest plantations to organic carbon deposition in soils of Volgograd region" with the financial support of the Russian Science Foundation and the Administration of Volgograd region

Summary

For the first time, studies of the profile structure of the aggregate composition of chernozem have been carried out using dated samples from the Bioresource Collection of the Central Soil Museum by V. V. Dokuchaev. The degree and nature of the influence of 70-year-old forest plantations on the aggregate composition of arable soils have been established.

Abstract

Introduction. In recent years, scientists have paid special attention to the study of the structure of aggregates, mechanisms and factors of formation of the percentage ratio of aggregates, i.e. fractions of different sizes, as well as aggregative stability and its influence on plant growth and productivity. Nevertheless, genetic aspects of aggregate percentage formation are less often studied. However, it should be noted that without studying the percentage ratio of aggregates as a typomorphic feature of soil-forming processes, it is difficult to predict changes in the percentage ratio of aggregates as a result of climate warming and anthropogenic impact. Thus, it is inevitably necessary to study the aggregate composition throughout the depth of the soil profile. The paper presents the results of the first research of the aggregate composition profile structure of southern chernozem using dated samples from the Bioresource Collection of the Central Museum of Soil Science. The degree and nature of the influence of 70-year-old forest plantations on the aggregate composition of arable soils were determined. **Object.** The object of the study is textural carbonate chernozems (southern) at the station "Belye Prudy", located in Danilovsky district of Volgograd region. **Materials and methods.** Soil samples were collected under two-year old tree plantings on arable land along a transect crossing three forest protection strips from west to east in 1950 and 2021 to a depth of 300 cm. A total of 3 soil transects were established with an average distance between transects of 360 m. **Results and conclusions.** According to the results of the study, based on the comparative analysis of the percentage ratio of aggregates of soils, soil-forming and underlying rocks, the structure of the aggregate composition profile of southern chernozem on loess-like sediments was studied for the first time. It was found that the percentage of aggregates of southern chernozem was formed on a structured mineral matrix represented by loess-like clays. A comparative study of soil samples from 1950 and 2021 revealed a different degree and character of change in the aggregate composition of arable soils under the influence of afforestation. The structure coefficient corresponds to a good structural condition. No principal changes in the profile structure of the aggregate composition of arable soils during the period from forest planting to the mature state were revealed. Significant correlations were established in the content of aggregates of different sizes, as well as with the content of some fractions of granulometric composition. No correlations between the content of aggregate composition fractions, humus and environmental reaction (pH) were revealed.

Keywords: types of lands, southern chernozems, forest belts, aggregate composition of soils, soil-forming rocks.

Citation. Aparin B. F., Mingareeva E. V. Medium-term changes in the aggregate composition of southern chernozem under the influence of afforestation of the Penza-Kamensk state forest belt. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 1(73). 31-42 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-03.

Author's contribution. The authors of this study was directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. The authors of this article is familiar with the final version presented and approved it.

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

УДК 631.4

СРЕДНЕСРОЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АГРЕГАТНОГО СОСТАВА ЧЕРНОЗЕМА ЮЖНОГО ПОД ВЛИЯНИЕМ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЛЕСОПОЛОСЫ ПЕНЗА-КАМЕНСК

Апарин Б. Ф., доктор сельскохозяйственных наук
Мингареева Е. В., старший научный сотрудник

Центральный музей почвоведения имени В. В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ "Почвенный институт
им. В. В. Докучаева"

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного
лесоразведения Российской академии наук»

г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках проекта №22-16-20056 «Вклад линейных защитных лесных насаждений в депонирование органического углерода в почвах Волгоградской области» при финансовой поддержке Российского научного фонда и Администрации Волгоградской области

Актуальность. В последние годы ученые уделяют особое внимание изучению вопросов строения агрегатов, механизмов и факторов формирования процентного соотношения агрегатов, т.е. фракций разной размерности, а также агрегативной устойчивости и её влияния на рост и продуктивность растений. Тем не менее, реже исследуются генетические аспекты формирования процентного соотношения агрегатов. Но, стоит отметить, что без изучения процентного соотношения агрегатов, как типоморфного признака почвообразовательных процессов сложно прогнозировать изменения про-

центного соотношения агрегатов в результате потепления климата и антропогенного воздействия. Таким образом, неизбежно возникает необходимость в исследовании агрегатного состава на всю глубину профиля почв. В статье представлены результаты впервые проведенных исследований структуры профиля агрегатного состава чернозема южного с использованием датированных образцов из Биоресурсной коллекции Центрального музея почвоведения. Установлены степень и характер влияния лесонасаждений 70-летнего возраста на агрегатный состав пахотных почв. **Объект.** Объектом исследования являются черноземы текстурно-карбонатные (южные) на стационаре «Белые пруды», расположенные в Даниловском районе Волгоградской области. **Материалы и методы.** Отбор почвенных образцов осуществлялся в 1950 г. под двухлетними посадками деревьев на пахотных землях по трансекте, пересекающей три лесозащитные полосы с запада на восток, и в 2021 гг. до глубины 300 см. Всего было заложено 3 почвенных разреза с расстоянием между разрезами в среднем 360 м. **Результаты и выводы.** По результатам исследования, на основе сравнительного анализа процентного соотношения агрегатов почв, почвообразующих и подстилающих пород, впервые была изучена структура профиля агрегатного состава чернозема южного на лессовидных отложениях. Было установлено, что процентное соотношение агрегатов чернозема южного сформировалось на структурированной минеральной матрице, представленной лессовидными глинами. Выполненное сравнительное исследование почвенных образцов 1950 и 2021 гг. выявило разную степень и характер изменения агрегатного состава пахотных почв под влиянием лесонасаждений. Коэффициент структурности соответствует хорошему структурному состоянию. Принципиальных изменений в структуре профиля агрегатного состава пахотных почв за период от посадки леса до зрелого состояния не выявлено. Установлены существенные корреляционные взаимосвязи в содержании агрегатов разной размерности, а также с содержанием некоторых фракций гранулометрического состава. Корреляционных связей между содержанием фракций агрегатного состава, гумусом и реакцией среды (pH) не выявлено.

Ключевые слова: типы угодий, черноземы южные, лесополосы, агрегатный состав почв, почвообразующие породы.

Цитирование. Апарин Б. Ф., Мингареева Е. В. Среднесрочные изменения агрегатного состава чернозема южного под влиянием лесонасаждений государственной лесополосы Пенза-Каменск. *Известия НВ АУК*. 2023. 1(73). 31-42. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-03.

Авторский вклад. Авторы этого исследования принимали непосредственное участие в планировании, проведении или анализе этого исследования. Авторы данной статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Агрегатный состав (АС) является важной физической характеристикой почв, с которой связаны особенности тепло-, газо- и водообмена почвы с атмосферой, средой обитания, с условием роста и развития растений. Исторически, в исследовании агрегатного состава преобладает два аспекта: агрономический и экологический. В последние годы внимание ученых привлекают следующие вопросы: строение агрегатов, механизмы и факторы формирования АС, агрегативная устойчивость, влияние на продуктивность растений [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Значительно реже предметом исследования являются генетические аспекты формирования АС. Между тем, без изучения АС¹ как типоморфного признака почвообразовательных процессов сложно прогнозировать изменения АС в результате антропогенного воздействия или потепления климата. Это неизбежно вызывает необходимость исследования агрегатного состава на всю глубину профиля почв. Взаимосвязанные изменения агрегатов разной размерности по всей глубине почвы характеризуют структуру профиля агрегатного состава (САС).

Цель работы – исследовать изменения структуры профиля агрегатного состава агрочернозема южного под влиянием лесонасаждений государственной защитной лесной полосы (ГЗЛП) Пенза-Каменск.

Методы и материалы. АС изучался в почвенных образцах, отобранных из разрезов черноземов текстурно-карбонатных (южных) и заложенных на территории бывшего стационара комплексной экспедиции АН СССР «Белые пруды» по вопросам полезащитного лесоразведения. Стационар расположен на плоско-увалистом водоразделе рек Бузулук и Терса в Даниловском районе Волгоградской области.

¹ АС – это процентное соотношение агрегатов – фракций разной размерности: макроагрегаты – >10 мм; мезоагрегаты – 10-1 мм; микроагрегаты – <1 мм.

Образцы отбирались в 1950 и 2021 гг. В 1950 г. образцы до глубины 300 см были отобраны Е. А. Афанасьевой из трех разрезов (р.209, 210 и 211) под двухлетними посадками деревьев на пахотных землях по трансекте, пересекающей три лесозащитные полосы с запада на восток (рисунок 1).



Рисунок 1 – Расположение разрезов на трансекте ГЗЛП
Figure 1 – Location of transects on the transect of the state protective forest belt

Расстояние между разрезами составляет около 360 м. Срок сельскохозяйственного использования почв на момент отбора был около 150 лет. Образцы почв хранятся в Центральном музее почвоведения им. В. В. Докучаева и включены в состав Биоресурсной коллекции. В 2021 г. сотрудниками музея в местах заложения разрезов Афанасьевой (р. 209-211) под 70-летними лесонасаждениями были отобраны образцы из разрезов-аналогов: под западной лесополосой (ЛП) – р.1.21 (р.210), под центральной ЛП – р.2.21 (р.209) и под восточной ЛП – р.4.21 (р.211). Древостой в западной и центральной ЛП представлен *Acer negundo* (клен ясенелистный), а в восточной – *Fraxinus pennsylvanica* (ясень пенсильванский).

Черноземы сформированы на одном генетическом типе почвообразующих (ПП) и подстилающих пород – лессовидных легких глинах (табл. 1). Среднее содержание фракции физической глины ($<0,01$ мм) в почвах составило 70% (стандартное отклонение (σ) = 7,9%) и мало отличается от почвообразующей и подстилающей породы. Фракции крупного и среднего песка (1-0,25 мм) отсутствуют, а количество мелкого песка (0,25-0,05 мм) в среднем составляет 3%. Таким образом, агрегатный состав почв сформирован из частиц трех фракций гранулометрического состава (ГС) почв: 0,05-0,01, 0,005-0,001 и $<0,001$ мм.

АС в образцах определяли по общепринятой методике сухого просеивания на глубину профилей почв. Для статистического анализа полученных данных в программе MS Excel были рассчитаны: среднее арифметическое (М); стандартное отклонение (σ), коэффициент корреляции (г) Пирсона, исследовалась взаимосвязь АС с рН, содержанием гумуса и гранулометрическим составом, при уровне значимости $p = 0,05$.

Результаты и обсуждение. АС почвообразующих и подстилающих пород. Для того чтобы определить механизмы, факторы и движущие силы изменения структуры профиля агрегатного состава почв проведен сравнительный анализ АС образцов почвообразующих (с глубины 90-100 см) и подстилающих пород из 3 разрезов (250-260 см) (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание агрегатов и преобладающих фракций ГС почвообразующих и подстилающих пород

Table 1 – Content of aggregates and predominant HS fractions of soil-forming and underlying rocks

Разрез / Section	Глубина образца, см / Specimen depth, cm	Содержание агрегатов (мм), % / Aggregate content (mm), %								Фракции ГС (мм), % / HS fractions (mm), %		
		>10	10-7	7-5	5-3	3-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	0,05-0,01	0,005-0,001	<0,001
210	90-100	54	9	6	8	14	3	3	3	27	25	39
	250-260	21	7	6	8	19	4	10	24	30	22	38
1.21	90-100	59	6	6	7	13	4	3	2	16	27	38
209	90-100	61	8	6	7	11	2	2	2	25	27	37
	250-260	22	8	8	9	21	5	9	18	52	17	18
2.21	90-100	46	14	8	9	16	3	2	2	28	29	35
211	90-100	78	5	3	3	6	1	1	1	27	23	37
	250-260	48	5	4	6	12	4	7	15	30	22	38
4.21	90-100	44	8	8	10	24	3	3	2			

Исследованные почвы (р.209, 210, 211) имеют одностипный АС подстилающих пород. В нем выделяются две группы агрегатов. Первую группу образуют преобладающие агрегаты: >10, 3-1 и <0,25 мм. Их суммарное количество составляет 61-75%. Во вторую группу входят остальные агрегаты с относительно низким содержанием (<10%) каждой фракции. Поскольку в ГС породы отсутствуют частицы >0,25 мм, можно предположить, что все агрегаты размерностью крупнее 0,25 мм образовались в результате агрегирования частиц мелкозема <0,05 мм (таблица 1).

Известно, что АС почв формируется в результате взаимосвязанных разнородных индивидуальных процессов: механических, физических, биологических и биохимических. В настоящее время подстилающие породы находятся вне зоны воздействия движущих сил процессов формирования АС. Коэффициент увлажнения в летний период колеблется от 0,32 до 0,23. Глубина весеннего промачивания описываемых почв в разные по увлажнению годы колебалась от 70 до 120 см с максимумом 180 см. Значительных изменений влажности на глубине 3-3,5 м по годам практически не происходило [10]. Благодаря большой глубине в подстилающих породах слабо изменяются температура и влажность, практически отсутствуют роющие животные, содержание гумуса меньше 1% и мало корней. Вероятно, что АС подстилающей породы сформировался после окончания этапа осадкообразования, еще до начала современного процесса почвообразования. Основным механизмом формирования АС могли быть объемные деформации, вызванные изменением фазового состояния влаги в отложениях в результате испарения или промерзания. Они приводили к растрескиванию породы, её агрегированию. Очевидно, что эти процессы происходили при многократно повторяющихся циклах увлажнения и иссушения, промерзания и оттаивания. Процесс агрегирования отложений сопровождал процесс осадкообразования. Он развивался последовательно снизу вверх. По мере увеличения мощности отложений влияние гидротермического фактора на нижележащие слои ослабевало. Это способствовало сохранению АС погребенных слоев. Новые слои осадков могли подвергаться физическим процессам агрегирования при других параметрах климата. Это приводило к образованию АС с другим соотношением фракций. Исходя из изложенного, АС почвообразующих пород можно рассматривать как продукт завершающих циклов осадкообразования. Подтверждением этого является агрегатный состав ПП. В его составе можно выделить, как и в подстилающей породе, также 2 группы фракций (таблица 1). Однако соотношение агрегатов в них существенно отличается. В составе первой группы абсолютно преобладают агрегаты >10 мм. Вторую позицию по содержанию занимает фракция 3-1 мм. Все остальные фракции находятся во второй группе.

Сравнение агрегатного состава ПП и подстиляющих пород показывает, что они, в целом, однородны по характеру соотношения фракций. Основным отличием является разница в содержании фракции $<0,25$ мм (таблица 1). Большое сходство в АС дает основание предположить единство механизма процесса агрегирования мелкозема почвообразующих и подстиляющих пород. Он проходил в разное время при неодинаковом соотношении гидротермических параметров.

Таким образом, мы приходим к заключению, что АС исследуемых почв сформировался на унаследованной агрегированной минеральной матрице ПП при абсолютном преобладании агрегатов >10 мм и узком соотношении остальных размерностей агрегатов.

Окончательное формирование САС как типоморфного признака гумусово-аккумулятивного процесса произошло при среднегодовой температуре $+5,4^{\circ}\text{C}$ и сумме осадков 390 мм. Оно связано с изменением факторов, механизмов и процессов агрегирования с глубиной – уменьшением величин контрастности и частоты возникновения градиентов температуры и влажности, массы корней, плотности живого населения, содержания гумуса.

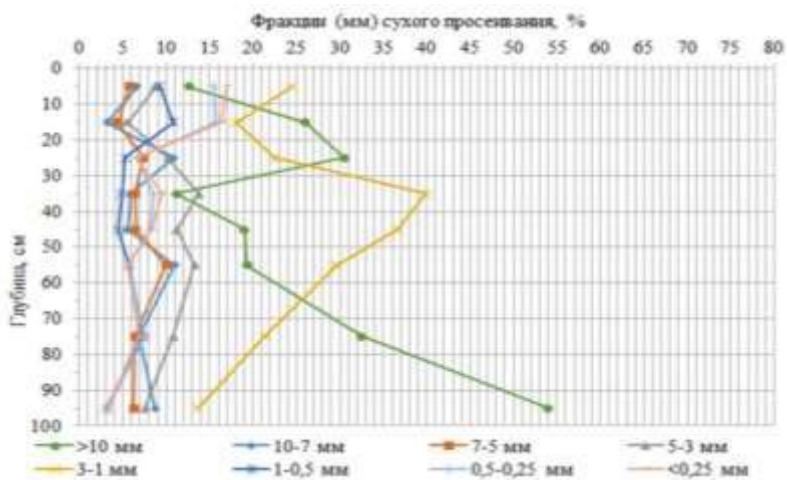
САС пахотных почв. В агрегатном составе профилей пахотных почв разрезов, заложенных в 1950 г. (р.209. 210 и 211), как и в ПП, выделяются две группы агрегатов. К первой группе относятся преобладающие фракции >10 и 3-1 мм с суммарной долей 34-57% (рисунок 2). Во вторую группу входят все остальные фракции. По характеру изменения АС профили почв можно разделить на 2 части по границе 50 см. Верхняя часть – это область широкого варьирования содержания всех фракций по глубине, особенно для фракций первой группы. Специфичен АС почв в слое 0-20 см в разрезах 210 и 211. В этом слое агрегаты 0,5-0,25 и $<0,25$ мм, относительно других, становятся преобладающими и в сумме составляют около 32%. В нижележащем слое (20-30 см) количество микроагрегатов во всех разрезах резко уменьшается (рисунок 2). Еще одной особенностью АС можно отметить наиболее высокое содержание во всех разрезах фракции 3-1 мм в слое 30-40 см.

В нижней части профиля почв (50-100 см) происходит постепенное изменение АС с хорошо выраженной тенденцией к уменьшению и сближению содержания фракций. Исключением являются агрегаты >10 мм, количество которых с глубиной возрастает, достигая максимума в ПП.

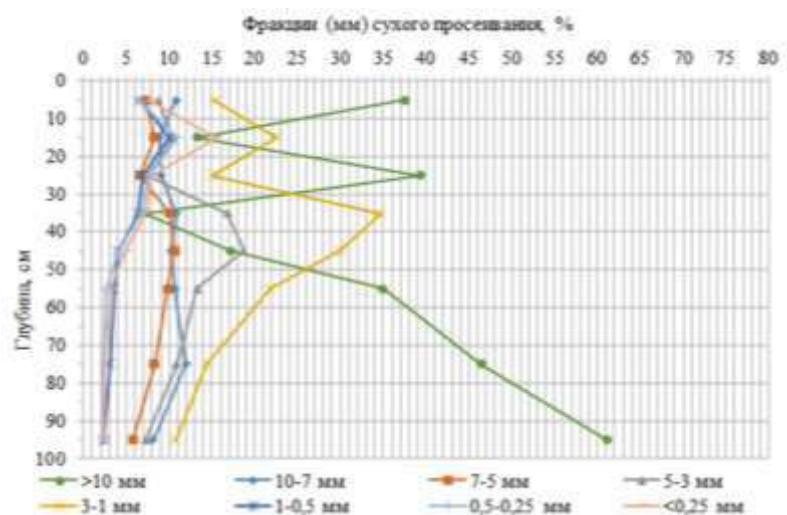
Длительное сельскохозяйственное использование почв оказывает как прямое (разрушение и консолидация агрегатов), так и косвенное (изменение факторов агрегирования) воздействие на АС. Особую роль в формировании АС играет механическая обработка верхнего слоя (0-30 см) почв, которая приводит к разрушению структуры. В условиях сплошной распашки это способствует развитию ветровой эрозии. Действительно, в исследуемых почвах разрезов 209 и 211 наблюдается более низкое содержание илистой фракции в верхней части профиля (0-20 см). Содержание гумуса в верхних 10 см почв составляет 4,8-5,7% с максимумом в разрезе р.211 (восточная лесополоса). С глубины 30 см во всех почвах содержание гумуса значительно уменьшается, причем, глубина гумусового профиля² во всех разрезах составляет 60 см. Реакция среды в почвах изменяется от нейтральных значений pH в верхней части профиля до щелочных в нижних.

В структуре профиля АС выделяются две характерные особенности: синхронные и асинхронные изменения в содержании фракций по глубине. Асинхронный тип (подобно зеркальному отражению) характерен для 2-х фракций >10 и 3-1 мм. Увеличение количества одной фракции сопряжено с уменьшением другой. В р.209 наблюдается асинхронный тип изменения фракции >10 мм по отношению к остальным. Синхронный тип изменения свойственен двум парам фракций: $<0,25$ и 0,5-0,25 мм, а также 10-7 и 7-5 мм. Близка к этому типу профильная изменчивость пар 5-3 и 3-1 мм. Заметим, что синхронный тип изменения наблюдается у смежных, близких по содержанию фракций. Ниже границы смены частей (50 см) САС представляет собой последовательный ряд, как по абсолютному содержанию одноименных фракций, так и по относительному. АС во всех разрезах оказался близок. Это свидетельствует о сходстве процессов и факторов агрегирования мелкозема.

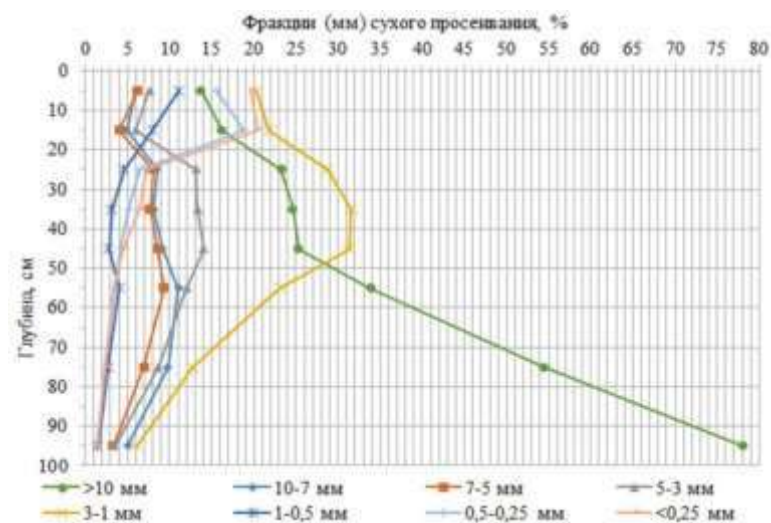
² За нижнюю границу гумусового горизонта принято содержание гумуса 2%.



р.210



р.209



р.211

Рисунок 2 – Агрегатный состав пахотных почв (1950 г.)
Figure 2 – Aggregate composition of arable soils (1950)

Структура профиля АС постагрогенных черноземов под лесонасаждениями. Сравнительный анализ факторов агрегирования современных лесных почв и их пахотных предшественников выявил, что в верхнем слое произошло увеличение содержания фракции ила. Незначительно понизилась граница обнаружения карбонатов. До глубины 40 см произошел сдвиг pH в более кислую сторону, а ниже – в более щелочную. В слое 0-10 см увеличилось содержание гумуса, а глубже оно увеличилось только в почве восточной лесополосы. Мощность гумусовых профилей сравниваемых пар за 70 лет не изменилась. Биогенный фактор агрегирования, связанный с жизнедеятельностью почвенных беспозвоночных, играет важную роль в формировании агрегатного состава почв [1]. Этот фактор существенно изменился [11]. В почвах полезащитных ЛП доминантными и субдоминантными видами являются дождевые черви, большая роль которых в формировании структуры общепризнана. По данным Е. А. Афанасьевой и С. Н. Карандиной, под лесонасаждениями из дуба, ясеня пушистого и клена татарского основная масса корней сосредоточена в верхнем полуметровом слое почв, наблюдается четкая дифференциация профиля по распределению массы корней разного диаметра (рисунок 3). Основная масса корней меньше 1 мм сосредоточена в слое 0-10 см, а максимальное количество корней 1-2 мм приходится на глубину 40-50 см.

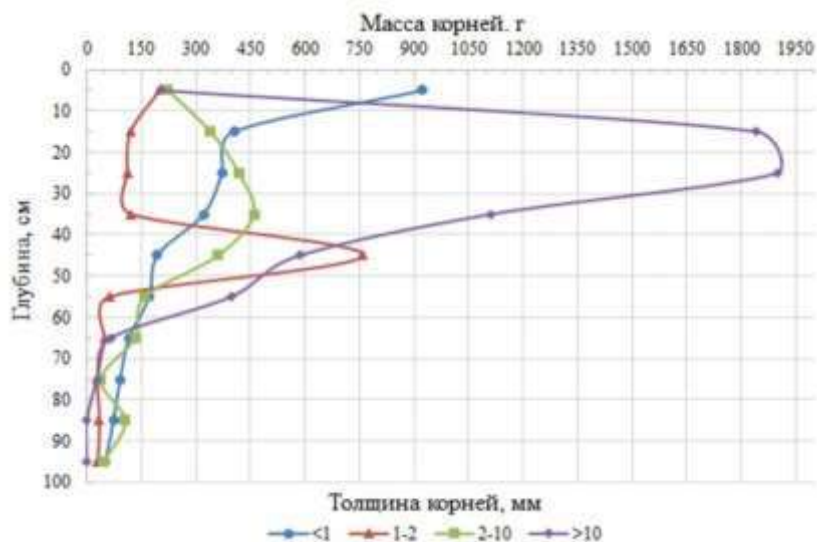
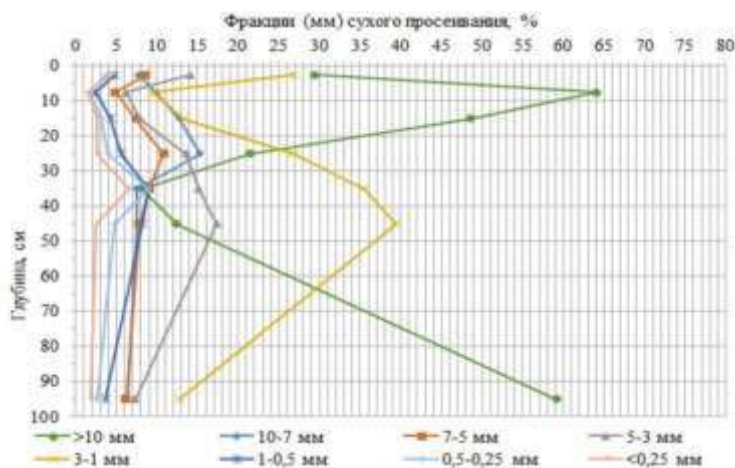


Рисунок 3 – Распределение корней разной толщины по профилю почв по данным Е. А. Афанасьевой
Figure 3 – Distribution of roots of different thicknesses along the soil profile according to data

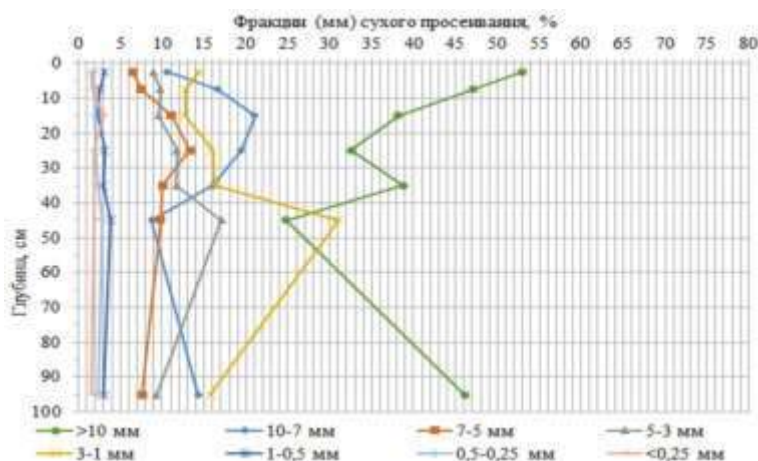
Посадка леса в 1948 г. сняла важный фактор агрегирования пахотных почв – механическое воздействие. По мере роста деревьев под их пологом уменьшился градиент изменений температуры и влажности поверхностных горизонтов, являющиеся важной движущей силой физических процессов агрегирования.

За 70 лет в агрегатном составе лесных почв (р.1.21, 2.21, 4.21) наблюдаются те же особенности, что и отмеченные для пахотных почв (р.209, 210, 211). В них также выделяются 2 группы по соотношению содержания фракций и две части (0-50 и 50-100 см) по характеру профильной изменчивости содержания агрегатов разной размерности (рис. 4). Граница в 50 см может быть связана с характером распределения основной массы корневой системы (рис. 3). Слой 0-50 см представляет собой область значительной перегруппировки АС. Она проявляется в асинхронном изменении фракций >10 и 3-1 мм в широком диапазоне значений. Амплитуда изменений в содержании остальных фракций значительно меньше. В профилях почв р.1.21 и 4.21 обращает внимание сужение различий в содержании всех фракций (за исключением 3-1 мм) на глубине 30-40 см. Характерно, что в этом слое, как и в пахотных почвах, наблюдается резкое снижение содержания агрегатов >10 мм, и возрастает содержание 3-1 мм (рис. 4). Очевидно, что такое изменение в содержании фракций в лесных почвах на этой глубине не связано с типом землепользования. Причина такой особенности САС не ясна. Параметры современных факторов агрегирования на этой глубине не дают оснований рассматривать их в качестве движущих сил. Не исключено, что

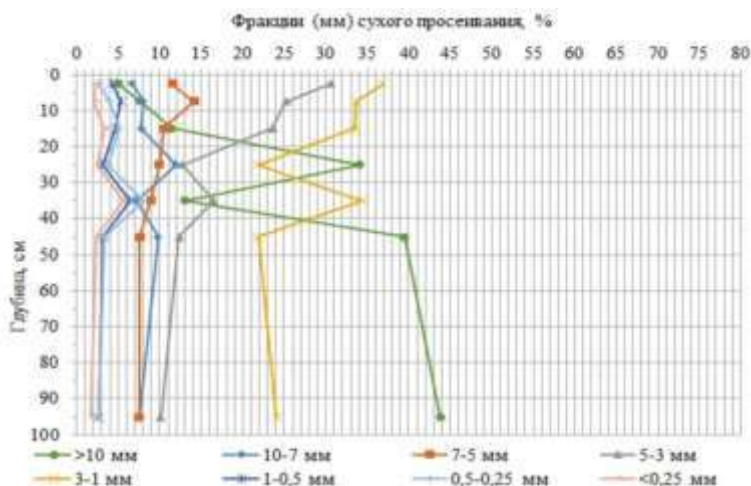
эта особенность АС унаследована от материнской породы. Среди индивидуальных особенностей изменений АС в разрезах лесных почв можно отметить значительное увеличение количества агрегатов 5-3 и 3-1 мм в слое 0-10 см в почве восточной ЛП (р.4.21).



р.1.21



р.2.21



р.4.21

Рисунок 4 – Агрегатный состав лесных почв (2021 г.)
Figure 4 – Aggregate composition of forest soils (2021)

Слой 50-100 см – зона резкого изменения соотношения преобладающих фракций – увеличение доли фракции >10 мм и уменьшение 3-1 мм. Их суммарная доля в АС по профилю лесных почв заметно больше, чем в пахотных и составляет 41-74%. Во всех разрезах за 70 лет почти в 3 раза уменьшилась доля микроагрегатов (<1мм), при сохранении постепенного изменения в содержании фракций 10-7, 7-5, 5-3 мм по глубине.

Анализ структуры профиля АС пахотных и лесных почв выявил их общие особенности: слоистость АС в слое 0-50 см для всех фракций, кроме преобладающих (>10 и 3-1 мм), связанная с их перегруппировкой в узком диапазоне значений; асинхронный характер изменения содержания преобладающих фракций в широком диапазоне по глубине профиля. Коэффициент структурности ($K_{стр.}$) почв 1950 г. и почв под лесом (2021 г.) характеризует хорошее ($K_{стр.}$ 0,67-1,5) и отличное АС ($K_{стр.}$ >1,5). Наиболее высокий $K_{стр.}$ в современных почвах западной и центральной ЛП, как и в почвах 1950 г., приходится на глубину 20-30 см, а восточной – 0-10 см. За 70 лет в р.1.21 и 2.21 в слое 0-20 см произошло уменьшение $K_{стр.}$ (от 0,3 до 1,15) и его увеличение в слое 20-30 см (от 0,8 до 1,5). В почве восточной ЛП (р.4.21) в слое 0-20 см $K_{стр.}$ увеличился в 3,5-5,5 раз и в слое 20-30 см – уменьшился на 0,6.

Корреляционный анализ³ выявил существенные взаимосвязи для доминирующих фракций АС (>10, 5-3, 3-1 и <0,25 мм) с содержанием фракций разной размерности (таблица 2). Взаимосвязь агрегатов >10 мм (отрицательная) проявилась с агрегатами <0,25 ($r = -0,52$), 5-3 ($r = -0,63$), 3-1 мм ($r = -0,84$); агрегатов 3-1 мм (положительная) с агрегатами 0,5-25 ($r = 0,29$) и 1-0,5 мм ($r = 0,40$); агрегатов <0,25 мм с 10-7 ($r = -0,39$) и 7-5 мм ($r = -0,46$).

Таблица 2 – Существенные корреляционные взаимосвязи между агрегатами разной размерности
Table 2 – Significant correlations between aggregates of different dimensions

Размерность агрегатов (мм) / Aggregate dimension (mm)	7-5	5-3	3-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25
>10	-0,35	-0,63	-0,84	-0,66	-0,62	-0,52
10-7	0,75	-	-	-0,43	-0,54	-0,49
7-5	-	0,71	0,30	-	-0,38	-0,39
5-3	-	-	0,80	-	-	-
3-1	-	-	-	0,39	0,31	-
1-0,5	-	-	-	-	0,85	0,65
0,5-0,25	-	-	-	-	-	0,89

Корреляционный анализ АС и содержания гумуса и реакцией среды (рН) независимо от типа угодий не выявил существенных взаимосвязей.

Наиболее существенные взаимосвязи АС с ГС проявились для агрегатов >10 и <0,25 мм с фракциями ГС 0,05-0,01 и <0,001 мм. Коэффициент корреляции для макроагрегатов составил $r = -0,40$ и $0,42$, а для агрегатов <0,25 мм: $r = 0,69$ и $-0,55$.

Выводы. На основе сравнительного анализа АС почв, почвообразующих и подстилающих пород впервые исследована структура профиля агрегатного состава чернозема южного на лессовидных отложениях. Специфика структуры САС определяется асинхронным изменением по глубине соотношения 2 фракций (>10 и 3-1 мм) и делением профиля на 2 части по границе 50 см, которая соответствует границе резкого уменьшения массы корней древесных растений.

Установлено, что АС чернозема южного сформировался на структурированной минеральной матрице, представленной лессовидными глинами. Сравнительное исследование датированных почвенных образцов чернозема южного из Биоресурсной коллекции ЦМП им. В. В. До-

³Корреляционные взаимосвязи содержания фракций АС с исследуемыми свойствами почв (гумус, рН и содержание фракций ГС) считались существенными при выборке $n = 48$ и $r \geq 0,29$ ($t_r = 2,01$), а между содержанием агрегатов разных размерностей ($n = 104$) $r \geq 0,2$ ($t_r = 2,0$). При расчете корреляционных взаимосвязей между содержанием АС разных размерностей учитывались данные, полученные для прикопок к современным разрезам.

кучаева (1950 года отбора) с современными образцами (2021 г.) выявил разную степень и характер изменения агрегатного состава пахотных почв под влиянием лесонасаждений. Под влиянием лесонасаждений в почвах значительно уменьшилось содержание микроагрегатов в слое 0-20 см и возросло содержание фракций >10 и 5-3 мм в верхней части профиля. Коэффициент структурности, в целом, остался в пределах показателей хорошего структурного состояния.

Принципиальных изменений в структуре профиля агрегатного состава пахотных почв за период от посадки леса до зрелого состояния не произошло, что свидетельствует об агрегативной устойчивости чернозема южного.

Установлены существенные корреляционные взаимосвязи в содержании агрегатов различной размерности, а также с содержанием некоторых фракций гранулометрического состава. Корреляционных связей между содержанием фракций АС, гумусом и реакцией среды (рН) не выявлено.

Представляет особый интерес исследование связи САС почв с содержанием и распределением корней разного диаметра.

Conclusions. On the basis of the comparative analysis of the AC of soils, soil-forming and underlying rocks, the structure of the aggregate composition profile of southern chernozem on loess-like sediments has been studied for the first time. The specificity of the AC structure is determined by the asynchronous change of the ratio of 2 fractions (>10 and 3-1 mm) along the depth and the division of the profile into 2 parts along the boundary of 50 cm, which corresponds to the boundary of sharp decrease in the mass of roots of woody plants.

It was established that the AC of southern chernozem was formed on a structured mineral matrix represented by loess-like clays. A comparative study of dated soil samples of southern chernozem from the Bioresource Collection of the V. V. Dokuchaev Central Marine Research Center. Dokuchaev (1950) with modern samples (2021) revealed different degree and nature of changes in the aggregate composition of arable soils under the influence of afforestation. Under the influence of afforestation in soils significantly decreased the content of microaggregates in the 0-20 cm layer and increased the content of fractions >10 and 5-3 mm in the upper part of the profile. The structural coefficient, in general, remained within the range of good structural condition indicators.

There were no principal changes in the profile structure of aggregate composition of arable soils during the period from forest planting to the mature state, which indicates the aggregative stability of southern chernozem.

Significant correlations were found in the content of aggregates of different sizes, as well as with the content of some fractions of granulometric composition. No correlations between the content of AC fractions, humus and the reaction of the medium (pH) were revealed.

It is of special interest to study the relationship of soil SAS with the content and distribution of roots of different diameter.

Библиографический список

1. Totsch K. U., Amelung W., Gerzabek M. H., Guggenberger G., Klumpp E. etc. Review Article. Microaggregates in soils. *Plant Nutr. Soil Sci.* 2018. V. 181. Pp.104-136.
2. Rodríguez-Roble U., Arredondo T., Huber-Sannwald E., Ramos-Leal J. A., Yépez E. A. Technical note: Application of geophysical tools for tree root studies in forest ecosystems in complex soils. *Biogeosciences*. 2017. No 14. Pp. 5343-5357.
3. Lehmann J., Kinyangi J. Organic matter stabilization in soil microaggregates: implications from spatial heterogeneity of organic carbon contents and carbon forms. *Biogeochemistry*. 2007. V. 85. Pp. 45-57.
4. Fonte S. J., Barrios E., Six J. Earthworms, soil fertility and aggregate-associated soil organic matter dynamics in the Quesungual agroforestry system. *Geoderma*. 2010. V. 155. Pp. 320-328.
5. Белобров В. П., Юдин С. А., Ярославцева Н. В. и др. Изменение физических свойств черноземов при прямом посеве. *Почвоведение*. 2020. № 7. С. 880-890.
6. Кураченко Н. Л., Хижняк С. В. Пространственное варьирование структурно-агрегатного состава черноземов и серых лесных почв Красноярской лесостепи в предельно однородных условиях почвообразования. *Вестник АГАУ*. 2010. № 1 (63). С. 35-40.
7. Кураченко Н. Л., Бабаев М. В. Гумусовые вещества в формировании структурной организации почв техногенных ландшафтов. *Вестник КрасГАУ*. 2014. № 9. С. 63-67.
8. Лебедева И. И., Чевердин Ю. И., Титова Т. В., Гребенников А. М., Маркина Л. Г. Структурное состояние миграционно-мицелярных (типичных) агрочерноземов Каменной степи в условиях разновозрастной пашни. *Почвоведение*. 2017. № 2. С. 227-238.
9. Бухонов А. В., Худяков О. И., Борисов А. В. Изменения структурно-агрегатного состояния почв нижнего Поволжья за последние 3500 лет в связи с динамикой климата. *Почвоведение*. 2018. № 6. С. 710-719.
10. Aparin B. F., Mingareeva E. V., Sukhacheva E. Y., Sanzharova N. I. Concentrations of radionuclides (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , and ^{137}Cs) in chernozems of Volgograd oblast sampled in different years. *Eurasian Soil Science*. 2017. V. 50. № 12. Pp. 1395-1405.
11. Пятинина Е. В. Козловская лесная дача как уникальный рефугиум макропедофауны. Агроресомелиорация и защитное лесоразведение – история и перспективы развития. Волгоград, 2023.

References

1. Totsch K. U., Amelung W., Gerzabek M. H., Guggenberger G., Klumpp E. etc. Review Article. Microaggregates in soils. *Plant Nutr. Soil Sci.* 2018. V. 181. Pp.104-136.
2. Rodríguez-Roble U., Arredondo T., Huber-Sannwald E., Ramos-Leal J. A., Yépez E. A. Technical note: Application of geophysical tools for tree root studies in forest ecosystems in complex soils. *Biogeosciences*. 2017. No 14. Pp. 5343-5357.
3. Lehmann J., Kinyangi J. Organic matter stabilization in soil microaggregates: implications from spatial heterogeneity of organic carbon contents and carbon forms. *Biogeochemistry*. 2007. V. 85. Pp. 45-57.
4. Fonte S. J., Barrios E., Six J. Earthworms, soil fertility and aggregate-associated soil organic matter dynamics in the Quesungual agroforestry system. *Geoderma*. 2010. V. 155. Pp. 320-328.
5. Belobrov V. P., Yudin S. A., Yaroslavl'tseva N. V., et al. Changes in the physical properties of chernozems during direct sowing. *Soil science*. 2020. № 7. Pp. 880-890.
6. Kurachenko N. L., Khizhnyak S. V. Spatial Variation of the Structural-Aggregate Composition of Chernozems and Gray Forest Soils of the Krasnoyarsk Forest-Steppe in Extremely Homogeneous Conditions of Soil Formation. *Vestnik ASAU*. 2010. № 1 (63). Pp. 35-40.
7. Kurachenko N. L., Babaev M. V. Humus Substances in the Formation of the Structural Organization of Soils of Technogenic Landscapes. *Vestnik KrasGAU*. 2014. № 9. Pp. 63-67.
8. Lebedeva I. I., Cheverdin Y. I., Titova T. V., Grebennikov A. M., Markina L. G. Structural State of Migration-Micellar (Typical) Agrochernozems of the Stone Steppe in the Conditions of Multi-Age Arable Land. *Soil science*. 2017. № 2. Pp. 227-238.
9. Bukhonov A. V., Khudyakov O. I., Borisov A. V. Changes in the Structural-Aggregate State of Soils in the Lower Volga Region for the Last 3500 Years in Connection with Climate Dynamics. *Soil science*. 2018. № 6. Pp. 710-719.
10. Aparin B. F., Mingareeva E. V., Sukhacheva E. Y., Sanzharova N. I. Concentrations of radionuclides (226Ra, 232Th, 40K, and 137Cs) in chernozems of Volgograd oblast sampled in different years. *Eurasian Soil Science*. 2017. V. 50. № 12. Pp. 1395-1405.
11. Pyatina E. V. Kozlovskaya Forest Dacha as a Unique Refugium of Macropedofauna. *Agroforestry and Protective Afforestation – History and Development Prospects*. Volgograd, 2023.

Информация об авторах

Апарин Борис Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, научный руководитель Центрального музея почвоведения им. В. В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ "Почвенный институт им. В. В. Докучаева" (Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Биржевой проезд, д. 6), ORCID 0000-0001-6012-0168, e-mail: elena.mingareeva@yandex.ru

Мингареева Елена Валерьевна, старший научный сотрудник Центрального музея почвоведения им. В. В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ "Почвенный институт им. В. В. Докучаева" (Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Биржевой проезд, д. 6), ORCID 0000-0003-3683-9273, e-mail: elena.mingareeva@yandex.ru

Author's Information

Aparin Boris Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Scientific Director of the Central Museum of Soil Science named after V. V. Dokuchaev – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Soil Institute named after V. V. Dokuchaev" (Russian Federation, 199034, St. Petersburg, Birzhevoy proezd, 6), ORCID 0000-0001-6012-0168, e-mail: elena.mingareeva@yandex.ru

Mingareeva Elena Valerievna, Senior Research Fellow of the Central Museum of Soil Science named after V. V. Dokuchaev – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Soil Institute named after V. V. Dokuchaev" (Russian Federation, 199034, St. Petersburg, Birzhevoy proezd, 6), ORCID 0000-0003-3683-9273, e-mail: elena.mingareeva@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-01-04

ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL FEATURES OF SPECIES OF THE GENUS *ATRAPHAXIS* IN ARID REGIONS OF SOUTH RUSSIA

Kalmykova E. V., Peredrienko A. I.

*Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: kalmykova.elena-1111@yandex.ru

Received 22.11.2023

Submitted 11.01.2024

The research was carried out on the topic of the State assignment of the Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences: No. 121041200195-4 "Formation of multifunctional cluster dendrological expositions and their renovation into bioresource artificial and green landscape spaces of recreational type in sparsely forested regions of Russia", financed by the Ministry of Science and higher education of the Russian Federation

Abstract

Introduction. The article analyzes the adaptation capabilities of steppe and semi-desert plants to unfavorable conditions (resistance to low and high temperatures in conditions of moisture deficiency) for their widespread use in enriching agrocenoses of forest-agrarian landscapes. The purpose of the work was to study the biological properties and ecological characteristics of populations of the genus *Atraphaxis*, to assess