

Научная статья

УДК 625.77:631.4

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-5-91-108

Влияние насаждений *Quercus robur* L. и *Juglans rupestris* Engelm. на свойства степных почв

О.Е. Клименко[✉], д-р биол. наук, вед. науч. сотр.; ResearcherID: [E-7955-2017](https://orcid.org/0000-0002-9142-521X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9142-521X>

Н.И. Клименко, канд. с.-х. наук; ResearcherID: [ABG-5722-2021](https://orcid.org/0000-0002-0305-8924),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0305-8924>

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, спуск Никитский, д. 52, пгт Никита, г. Ялта, Республика Крым, Россия, 298648; olga.gnbs@mail.ru[✉], klymenko.gnbs@mail.ru

Поступила в редакцию 12.10.22 / Одобрена после рецензирования 09.01.23 / Принята к печати 12.01.23

Аннотация. Целью исследования было определить состояние *Quercus robur* L. и *Juglans rupestris* Engelm. и их влияние на свойства сегрегационных черноземов. Исследование проводили в 2020–2021 гг. в степном Крыму. Контролем служила многолетняя травянистая залежь. Для характеристики общего состояния деревьев использовали 4-балльную шкалу оценки состояния интродуцентов. Для анализа почв применяли стандартные методы. Установлены лучшая сохранность и большее количество 50-летних растений в отличном и хорошем состоянии для *Q. robur* (67 и 56 % соответственно) по сравнению с *J. rupestris* (48 и 42 % соответственно) в данных экологических условиях, что объясняется большими адаптационными возможностями дуба как аборигенного вида. Обе древесные культуры влияли на свойства почв. В их фитоценозах образовалась подстилка, более значительная под *J. rupestris*, темногомусовый горизонт также оказался более мощным под насаждением *J. rupestris* (80 см), чем под *Q. robur* и залежью (72 и 70 см соответственно). Под *Q. robur* плотность почвы ниже, чем под *J. rupestris*, на 0,02–0,18 г/см³. Под древесными растениями произошло улучшение структуры почвы: снижение количества глыбистых агрегатов, увеличение числа агрономически ценных и зернистых частиц. Максимальным коэффициент структурности был в почве под дубом (4,4–6,6), что превышало контроль в 2,5–4,9 раза. Под древесными растениями из профиля почвы значительно вымыты карбонаты, особенно под *J. rupestris*. Величина рН_{Н₂О} щелочной почвы под древесными растениями снизилась на 0,2–0,4 и была тесно связана с карбонатностью ($r = 0,83–0,91$). Содержание гумуса под обеими породами существенно выше, чем под залежью, – на 0,30–0,86 %. Облесение обусловило накопление валовых форм элементов питания, в большей степени под *J. rupestris*, снижалось соотношение С:N. Древесные породы запасали больше мобильных форм элементов питания в почве. В древесных ценозах отмечено рассоление почвы. Таким образом, *J. rupestris* и *Q. robur* экологически устойчивы в условиях центральной степи Крыма и могут быть использованы для повышения лесистости в степных районах. Это будет способствовать улучшению плодородия почвы.

Ключевые слова: лесные культуры, облесение, *Quercus robur* L., *Juglans rupestris* Engelm., чернозем, свойства почвы, степь, плодородие, Крым

Благодарности: Работа выполнена в рамках госзадания Никитского ботанического сада № 0829-2019-0031.

Для цитирования: Клименко О.Е., Клименко Н.И. Влияние насаждений *Quercus robur* L. и *Juglans rupestris* Engelm. на свойства степных почв // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 5. С. 91–108. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-5-91-108>

Original article

The Influence of *Quercus robur* L. and *Juglans rupestris* Engelm. Plantations on the Properties of Steppe Soils

Olga E. Klimenko[✉], Doctor of Biology, Leading Research Scientist;

ResearcherID: [E-7955-2017](https://orcid.org/0000-0002-9142-521X), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9142-521X>

Nikolay I. Klimenko, Candidate of Agriculture; ResearcherID: [ABG-5722-2021](https://orcid.org/0000-0002-0305-8924),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0305-8924>

Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nikitsky spusk, 52, Nikita urb. settlement, Yalta, Crimea, 298648, Russian Federation; olga.gnbs@mail.ru[✉], klymenko.gnbs@mail.ru

Received on October 12, 2022 / Approved after reviewing on January 9, 2023 / Accepted on January 12, 2023

Abstract. The aim of the study has been to determine the condition of *Quercus robur* L. and *Juglans rupestris* Engelm. and their influence on the properties of segregated chernozems. The study was conducted in 2020–2021 in the steppe Crimea. The control has been a perennial grass fallow. To characterize the general condition of the trees, a 4-point scale for assessing the condition of the introduced species has been used. Standard methods have been used for soil analysis. A better preservation and a greater number of 50-year old plants in excellent and good condition have been established for *Q. robur* (67 и 56 %, respectively) compared to *J. rupestris* (48 и 42 %, respectively) in these environmental conditions, which is explained by the greater adaptive capabilities of oak as an indigenous species. Both tree crops have influenced soil properties. In their phytocenoses, a litter has been formed, more significant under *J. rupestris*. The dark humus horizon has also turned out to be thicker under the *J. rupestris* plantation (80 cm) than under the *Q. robur* plantation and the fallow (72 and 70 cm, respectively). Under *Q. robur* the soil density has been lower than under *J. rupestris* by 0.02–0.18 g/cm³. Under the woody plants, the soil structure has improved: the number of lumpy aggregates has decreased, and the number of agronomically valuable and granular particles has increased. The maximum coefficient of structure has been in the soil under the oaks (4.4–6.6), which exceeded the control by 2.5–4.9 times. Under the woody plants, carbonates have been significantly washed out of the soil profile, especially under *J. rupestris*. The pH_{H2O} value of the alkaline soil under the woody plants has decreased by 0.2–0.4 and has been closely related to carbonate content ($r = 0.83–0.91$). The humus content under both species has been significantly higher than under the fallow – by 0.30–0.86 %. Afforestation has resulted in the accumulation of total forms of nutrients, to a greater extent under *J. rupestris*, and the C:N ratio has decreased. Tree species have stored more labile forms of nutrients in the soil. Soil desalination has been noted in the tree cenoses. Thus, *J. rupestris* and *Q. robur* are ecologically stable in the conditions of the central steppe of Crimea and can be used to increase forest cover in steppe areas. This will help improve soil fertility.

Keywords: forest plantations, afforestation, *Quercus robur* L., *Juglans rupestris* Engelm., chernozem, soil properties, steppe, fertility, Crimea

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Nikitsky Botanical Garden no. 0829-2019-0031.



For citation: Klimenko O.E., Klimenko N.I. The Influence of *Quercus robur* L. and *Juglans rupestris* Engelm. plantations on the Properties of Steppe Soils. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2024, no. 5, pp. 91–108. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-5-91-108>

Введение

Создание лесных насаждений в степи является важным звеном в защите почв от ветровой и водной эрозии, сохранении и накоплении влаги, повышении биоразнообразия и восстановлении деградировавших почв после их длительно-интенсивного использования под пашню. В последние десятилетия в связи с изменением климата создание агролесокультурных ландшафтов приобретает все большее значение [21–23]. Для устройства лесных насаждений обычно используют аборигенные для данной местности виды или близкие с ними по экологическим потребностям к почвенно-климатическим условиям места закладки. В степи, где древесная растительность отсутствует, часто применяют интродуценты. Однако не все виды древесных растений в силу своих биологических особенностей могут приспособиться к жестким почвенно-климатическим условиям степи и существовать в них. Для создания таких насаждений необходимы длительные эксперименты по интродукции растений из разных мест земного шара, их акклиматизации и разработка ассортиментов для того или иного региона, района, города и т. д. [15, 16, 18]. При создании лесных насаждений сами древесные растения активно влияют не только на микроклимат, но и на свойства почвы (содержание и запасы органического вещества, влаги), изменяют структурное и агрегатное состояние почвы, способствуют перераспределению элементов питания по ее профилю [1, 12, 26]. Установлено также, что степень и направленность воздействия на почву зависит от вида интродуцента [9, 19, 20, 26]. Однако в большинстве случаев исследования проводят в смешанном древостое, что не позволяет выявить влияние конкретного вида древесного растения на свойства почвы [3, 22]. Таким образом, влияние многих распространенных, а также редко встречающихся интродуцентов на почвы степи изучено недостаточно.

Цель нашего исследования – определить состояние дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и ореха скального (*Juglans rupestris* Engelm.) и их влияние на физические и химические свойства сегрегационных черноземов Крыма.

Объекты и методы исследования

Исследование проводили в 2020–2021 гг. в лаборатории степного садоводства Никитского ботанического сада (с. Новый Сад Симферопольского района Республики Крым). Объектами исследования были насаждения дуба черешчатого (далее – дуб) и ореха скального (далее – орех) в дендропарке, а также почвы под этими насаждениями. Место исследования относится к центрально-степному агроклиматическому району Крыма. Климат района засушливый, умеренно жаркий с умеренно мягкой зимой [5]. Среднегодовая температура воздуха составляет 10,5 °С, среднегодовое количество осадков – 480 мм.

Дендропарк, где заложены изученные насаждения, находится в нижней части широкого ложинообразного понижения, примыкающего с севера и северо-за-

пада к с. Новый Сад (самая северная точка – $45^{\circ}09'09,15''$ с. ш. $33^{\circ}59'36,11''$ в. д. и самая южная – $45^{\circ}08'54,45''$ с. ш. $33^{\circ}59'34,98''$ в. д., высота над уровнем моря – 124–128 м). Почвенный покров территории однороден по генезису и представлен сегрегационными постагрогенными среднемошными и мощными турбированными легкоглинистыми на красно-бурых легких глинах черноземами, по классификации почв России [26]. Согласно классификации WRB–2015 [24], почвы определены как *Naptic Chernozems (Clayic)*. Перед закладкой насаждений все почвы были плантажированы на глубину 60 см.

Деревья в дендропарке высажены в 1972 г. 5-летними саженцами группами по 30–60 экз., схемы посадки – 3×3 (орех) и 4×4 (дуб) м [8].

Для оценки роста и состояния растений в 2020 г. проведен учет биометрических показателей: высоты (высотомером оптическим ВА, точность измерения – 4 %) и диаметра ствола на высоте 1,3 м (мерной вилкой, точность измерения – 0,5 см). Если у дерева наблюдалось разветвление ствола ниже высоты 1,3 м, производили замеры самого крупного ствола. Диаметр горизонтальной проекции кроны определяли путем проецирования ее краев на горизонтальную поверхность и замера рулеткой в направлениях С–Ю и З–В с последующим вычислением среднего диаметра кроны. Общее состояние характеризовали по 4-балльной шкале оценки состояния древесных интродуцентов Р.В. Галушко [7]: 1 балл – плохое состояние, прирост слабый; 2 балла – удовлетворительное состояние, прирост побегов средний, цветение и плодоношение необильное и нерегулярное, растения страдают от неблагоприятных условий среды; 3 балла – хорошее состояние, растет, цветет и плодоносит нормально; 4 балла – отличное состояние, хороший ежегодный прирост побегов, нормальное цветение и плодоношение, растения не страдают от неблагоприятных условий внешней среды.

Для анализа изменения свойств почвы в центре каждого участка лесных культур на расстоянии 1–2 м от ствола дерева на глубину 120–180 см был заложен разрез и проведено полное морфологическое описание почвы. Для оценки природного варьирования свойств почвы на расстоянии 3–5 м от каждого разреза ручным буром на глубину 100 см заложено по 3 скважины. Для сравнения на участке, не занятом древесной растительностью и не распаханном с 1970 г. (далее – залежь), был выполнен разрез и дублирующие скважины. Участки древесной растительности и залежи находились на расстоянии 100–200 м друг от друга. Поверхность исследуемой территории ровная.

Образцы почв в разрезах отбирали по генетическим горизонтам, в скважинах – послойно каждые 20 см с кратким описанием свойств почвы. В образцах определяли плотность сложения почвы – буровым методом, структурный анализ выполняли по Н.И. Саввинову, полевую влажность почвы устанавливали термостатно-весовым методом [4]. Показатель рН водной суспензии из почвы определяли потенциметрически по ГОСТ 26423–85; солевой состав водной вытяжки – по ГОСТ 26424–85–26428–85; содержание органического вещества – методом И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова, В.П. Цыпленкова (ГОСТ 26213–91); валовый азот – по Й. Кьельдалю [6]; валовые формы фосфора и калия – по ГОСТ 26261–84; нитратный азот – потенциметрически (ГОСТ 26951–86); подвижный фосфор и обменный калий – по Б.П. Мачигину (ГОСТ 26205–91).

Для оценки полевой влажности и плотности сложения почвы образцы отбирали отдельно по 10-сантиметровым слоям до глубины 100 см, для структурно-агрегатного анализа – по 20-сантиметровым слоям до глубины 60 см (в 3-кратной повторности) [4].

Результаты исследования и их обсуждение

Quercus robur L. – одна из важнейших лесообразующих пород в европейской части нашей страны, формирующая широколиственные леса (дубравы) на юге лесной и лесостепной зон [10]. При создании лесных массивов в степи на протяжении XIX в. дуб черешчатый был признан главной породой, т. к. он достаточно засухоустойчив и холодостоек [11, 14]. В Крыму этот вид распространен в предгорьях. В степной зоне встречался по оврагам и балкам, в которых почти полностью уничтожен распашкой.

В исследованном насаждении дуба деревья находятся в основном в отличном, хорошем и удовлетворительном состоянии, плодоносят, сомкнутость крон – 0,8–0,9 (рис. 1). Из элементов угнетения отмечается усыхание нижних ветвей. Травяной покров изреженный (проективное покрытие – 20–30 %) и представлен в основном злаками. В подросте у стволов деревьев встречаются единичные экземпляры бирючины обыкновенной (*Legustrum vulgare* L.) и вишни магалебской (*Prunus mahaleb* L.). Поверхность почвы достаточно уплотнена в результате антропогенной нагрузки (место отдыха местного населения).

Juglans rupestris в природе распространен в горных лесах Северной Америки (Техас, Нью-Мексико) до высоты 2000 м над ур. м. В культуре с 1868 г. Деревья очень засухоустойчивы и рекомендованы для зеленого строительства на неорошаемых участках степных почв в виде небольших групп [8].

Большинство растений ореха имеют возраст 50 лет и в условиях степи находятся в целом в удовлетворительном состоянии: проявляют суховершинность, наблюдается усыхание скелетных ветвей, ослабленный рост, многие деревья погибли, сомкнутость крон составляет 0,3–0,4 (рис. 1). Это связано с недолговечностью насаждений ореха скального в степи и необходимостью их возобновления в возрасте 50–60 лет.



Рис. 1. Насаждения дуба (слева) и ореха (справа) в возрасте 50 лет в отделе степного садоводства Никитского ботанического сада, 2021 г.

Fig. 1. The oak (left) and walnut (right) plantations aged 50 years in the steppe gardening department of the Nikitsky Botanical Garden, 2021

В насаждении ореха травяной покров представлен в основном пыреем ползучим (*Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski), встречается также мятлик узколистный (*Poa angustifolia* L.), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.), луки (*Allium* L.), проективное покрытие составляет 100 %. В подросте единично

отмечены каркас южный (*Celtis australis* L.), бирючина обыкновенная, яблоня (*Malus domestica* (Suckow) Borkh.), шелковица (*Morus alba* L.), дуб черешчатый.

Исследование выявило, что сохранный 50-летних дубов была более высокой, чем ореха (табл. 1). Дубы отличались большими по сравнению с орехом диаметрами ствола, кроны и высотой. В данных экологических условиях они находились в лучшем состоянии: деревьев, характеризовавшихся как отличные и хорошие, зафиксировано более 50 %, у ореха, наоборот, экземпляров в удовлетворительном и плохом состоянии оказалось больше 50 %.

Таблица 1

**Биоэкологические особенности исследованных древесных растений
в условиях степного Крыма, 2021 г.
The bioecological features of the studied woody plants
in the conditions of the steppe Crimea, 2021**

Вид	Количество деревьев, шт.		Сохранность, %	Средние*			Распределение, %, по общему состоянию, баллы			
	посаженных	выживших		высота, м	диаметр ствола, см	диаметр кроны, м	4	3	2	1
Дуб	24	16	67	12,8±0,7	27,1±1,5	6,9±0,5	44	12	38	6
Орех	60	29	48	9,1±0,4	20,7±2,6	4,8±0,2	28	14	34	24

*Здесь и далее: среднее арифметическое ± стандартная ошибка.

Следует отметить, что среди растений ореха, находящихся в учете, более 1/3 (38 %) и мели 2 и более стволов, т. к. основной ствол дерева усыхает из-за недостатка влаги. У дуба таких деревьев было всего 3 (19 %). Это свидетельствует о больших адаптационных возможностях дуба как аборигенного вида в экологических условиях центральной степи Крыма.

На залежи почвенный разрез был расположен в пределах ассоциации типа *Festuca rupicola* + *Poa pratensis* (+*Poa angustifolia*, *Coronilla varia*). Флористическое богатство залежи составляет порядка 50 видов с преобладанием корневищных и плотнодерновинных группировок [17].

Исследование почв показало, что на участках сформировались черноземы сегрегационные постагрогенные среднемоштные (под дубом и залежью) и мощные (под орехом). В почве под древесными насаждениями образовался органогенный горизонт – подстилка глубиной до 7 см под орехом и до 5 см под дубом, состоящая из листьев, мелких веточек, ветоши. Под дубом подстилка в нижней части обильно пронизана грибным мицелием, под орехом мицелий встречался фрагментарно. Под залежью и орехом на глубине 0(7)–12 см отмечен горизонт дернины, сформированный разнотравно-злаковой растительностью, обильно представленной под орехом. Ниже – темногомусовый горизонт мощностью 60 см под залежью и дубом и 67 см под орехом, имеющий под залежью мелкокомковато-зернистую, а под лесными культурами – комковато-мелкоореховатую структуру. Переходный гумусовый горизонт был более мощным под орехом (до глубины 80 см), под залежью и дубом распространялся до глубины 70 и 72 см соответственно. Кроме того, под насаждением ореха наблюдалось передвижение гумуса по ходам корней на глубину 120 см, что обусловлено «...наличием крупных трещин в почвенном слое, образованных корневой си-

стемой деревьев» [20, с. 37]. В нижележащих горизонтах различий в морфологии между почвами под разными угодьями не наблюдалось.

При сельскохозяйственном использовании почв под действием постоянных вспашек, применения тяжелой техники происходит уплотнение верхних слоев и разрушение структуры почвы. По мнению многих исследователей и нашим данным, при агролесомелиорации на залежи улучшается структура почвы, особенно верхних слоев [2, 9, 17, 19, 20, 22, 26]. Анализ плотности сложения почвы показал, что в слое 5–10 см под древесными культурами она была на уровне (орех) показателя под залежью или несколько ниже (дуб) (табл. 2). Ниже по профилю плотность почвы возрастала под всеми угодьями и под древесными породами была выше, чем под залежью, что также отмечается некоторыми авторами для южных черноземов под лиственными породами [20].

Таблица 2

Плотность сложения и полевая влажность почвы под залежью и древесными насаждениями, 2020 г.
The density of soil structure and field moisture under the fallow and tree plantations, 2020

Глубина, см	Объемная масса, г/см ³			Полевая влажность, %	
	Залежь	Дуб	Орех	Дуб	Орех
5–10	1,08	1,01	1,08	25,9*	19,2
10–20	1,24	1,25	1,29	16,9*	14,5
20–30	1,34	1,39*	1,49	17,6*	13,2
30–40	Нет данных	1,44*	1,55	18,7	18,0
40–50	1,40	1,49	1,57	18,5	16,9
50–60	1,40	1,57	1,59	19,2*	14,3
60–70	1,44	1,60*	1,65	11,3	12,7
70–80	1,44	1,63*	1,70	11,9*	8,4
80–90	1,48	1,63*	1,75	15,5*	7,2
90–100	1,48	1,58*	1,76	15,1*	7,8

*Разница с соответствующим слоем почвы под орехом статистически значима ($p \leq 0,05$).

Под дубом плотность сложения была ниже, чем под орехом, по всему 100-сантиметровому слою на 0,02–0,18 г/см³, существенно ниже – в слоях 20–40 и 60–100 см, по-видимому, за счет более мощной и разветвленной корневой системы дуба. Меньшая плотность сложения почвы под дубом связана также с более высокой влажностью почвы под этой породой. Показатель был максимальным под подстилкой в слое 5–10 см и имел еще 2 максимума – в слоях 50–60 и 80–100 см. Наиболее значительное превышение влажности почвы под дубом по сравнению с орехом обнаружено на глубинах 5–30, 50–60 и 70–100 см. Более высокая влажность почвы под дубом связана, на наш взгляд, со внушительными параметрами крон и их большей сомкнутостью по сравнению с орехом, что уменьшает испарение с поверхности. Установлена прямая отрицательная сильная достоверная корреляционная связь между плотностью и влажностью почвы под древесными растениями ($r = -0,70$, при числе проб – 10).

При смене типа растительности изменяется и структурное состояние почвы, которое определяет многие ее физические свойства [21]. Под залежью в почве достаточно высокой была доля глыбистой фракции, которая увеличивалась с глубиной, что является следствием многолетнего использования почвы под пашню, где содержание глыбистых частиц на тяжелых почвах

Таблица 3

Структурное состояние почвы под залежью и древесными насаждениями, 2020 г.
The structural condition of the soils under the fallow and tree plantations, 2020

Ценоз	Глубина, см	Распределение, %, фракций по размеру, мм										Распределение, %, суммы фракций по размеру, мм		K _{стр} **
		более 10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	<0,25	>10 + <0,25	10–0,25		
Залежь	0–20	16,2±1,3	11,8±0,9	6,9±0,5	5,1±0,6	14,7±1,5	28,5±2,3	2,1±0,6	3,0±0,4	11,7±0,7	27,9±1,2	72,0±1,0	2,6±0,3	
	20–40	37,2±0,8	15,4±2,1	10,2±0,4	7,7±1,1	12,9±1,1	9,7±0,7	1,8±0,4	3,1±0,5	2,0±0,4	39,2±0,7	60,8±1,3	1,6±0,2	
	40–60	50,6±2,6	12,1±1,3	8,0±0,5	5,5±0,3	9,8±1,0	7,6±0,5	1,8±0,4	2,7±0,3	1,9±0,2	52,5±2,4	47,5±0,9	0,9±0,1	
Дуб	0–20	12,3±4,3	12,5±0,8	20,4±1,8*	15,3±1,1*	20,0±3,1*	11,4±2,3*	2,5±1,0*	3,0±1,5	2,6±0,7*	14,9±3,9*	85,1±3,9*	6,6±1,6	
	20–40	14,1±1,1*	16,2±1,5	16,3±1,1*	10,1±0,6*	17,6±1,1*	14,1±0,7*	3,8±0,4*	5,0±0,6	2,8±0,2*	16,9±0,9*	83,1±0,9*	4,9±0,3*	
	40–60	14,0±3,4*	11,6±2,1	11,0±0,5*	9,4±0,3*	18,5±2,0*	18,2±2,0*	4,3±0,4*	7,4±0,5*	5,7±0,3*	19,7±3,3*	80,3±3,3*	4,4±0,8*	
Орех	0–20	11,5±1,6	14,1±1,2	18,0±0,5*	24,4±1,0*	7,6±0,1*	11,7±0,4*	8,1±0,7*	2,6±0,3	2,0±0*	13,6±1,6*	86,4±1,6*	6,4±0,9*	
	20–40	29,8±0,4*	13,6±1,5	11,7±0,4	13,1±0,3*	5,6±0,3*	10,5±0,4	10,9±0,8*	3,3±0,6	1,4±0,4	31,2±0,6*	68,8±0,6*	2,2±0,1	
	40–60	16,7±1,5	12,5±1,6	11,0±1,4	8,8±0,3*	16,9±1,0*	17,5±1,8*	4,7±0,6*	6,9±1,6	5,0±1,3	21,7±0,9*	78,3±0,9*	3,6±0,2*	

* Разница с залежью значима ($p \leq 0,05$, при числе проб – 3). ** Коэффициент структурности.

иногда достигает 60–70 % [26]. Под лесными культурами содержание глыб значительно снизилось, особенно на глубине 20–60 см, в большей степени под дубом. Следует отметить, что в слое 20–40 см количество крупных частиц (>10 мм) под дубом было существенно ниже, чем под орехом (табл. 3).

Под дубом лидирующее место занимала фракция размером 2–3 мм, содержание которой максимально в слое 0–20 см и незначительно уменьшалось с глубиной. Под орехом преобладала фракция размером 3–5 мм, но только в слое 0–20 см, с глубиной ее доля резко снижалась. Сумма зернистых агрегатов размером 1–5 мм в почве под залежью была максимальной в слое 0–20 см (48,3 %), ниже по профилю она снижалась до 30,3 % (20–40 см) и 22,9 % (40–60 см). Под древесными культурами доля этой фракции в слое 0–20 см оказалась ниже, чем под залежью (46,7 и 43,7 % под дубом и орехом соответственно), а в нижележащих слоях была в основном выше, особенно под дубом, и составила 41,8–46,1 % (в слое 0–40 см различия в содержании фракций этого размера между дубом и орехом были существенными). Это свидетельствует о более значительном влиянии на формирование зернистой структуры в слое 0–20 см травянистых растений, а древесных – в более глубоких слоях за счет большего распространения корней деревьев в глубину.

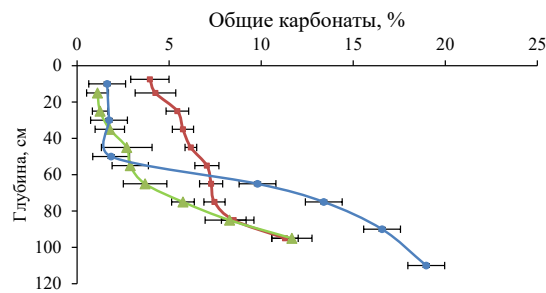
Содержание пылеватой фракции (<0,25 мм) под залежью было довольно значительным в слое 0–20 см и резко снижалось с глубиной. Под древесными породами количество этой фракции существенно меньше, чем под залежью, но имело тенденцию увеличиваться с глубиной, причем под дубом в слое 20–40 см доля частиц пыли оказалась существенно выше, чем под орехом. Это же явление наблюдали В.И. Турусов с соавт. [21] на сегрегационных черноземах Центрального Черноземья.

Почва под лесными породами была более оструктуренной, о чем свидетельствует коэффициент структурности. Состояние структуры под древесными культурами было отличным ($K_{стр} > 1,5$) по всему 60-сантиметровому слою почвы. Максимальный коэффициент отмечен для почв под дубами. Как достаточно высокий он также характеризовался для почв под растениями ореха в слое 0–20 см, что превышало показатель для почв под залежью в 2,6 раза. При этом под дубом в слое 20–40 см было существенно больше число наиболее ценных мелких фракций размером 1–3 мм – на 4–12 % – по сравнению с орехом.

Карбонатность почвы – важный генетический признак и диагностический показатель антропогенного воздействия [9]. Установлено, что наличие и содержание общих карбонатов в профиле почв под изученными ценозами было различным (рис. 2).

Рис. 2. Содержание общих карбонатов (в пересчете на CaCO_3) в почвах под залежью и древесными насаждениями, 2020 г. (— залежь; — дуб; — орех). Здесь и далее на рисунках: горизонтальные отрезки – ошибка среднего при числе проб – 4

Fig. 2. The total carbonate content (in terms of CaCO_3) in the soils under the fallow and tree plantations, 2020 (— fallow; — oak; — walnut). Hereinafter in the figures: horizontal segments – the error of mean with the number of samples equal to 4



Так, под залежью вскипание от 10 % HCl отмечалось с глубины 50 см, под растениями ореха – с 73–77 см, в биоценозе дуба – с поверхности. Содержание общих карбонатов (в пересчете на CaCO_3) в слое 0–60 см было очень низким под залежью и орехом (различия средних несущественны, $p \leq 0,05$). Под дубом их количество в этом слое существенно выше, чем под 2 другими угодьями, но также описывается как невысокое и колеблется в пределах 4–7 %. Это связано с тем, что почва перед закладкой насаждений подвергалась плантажной вспашке на глубину 60 см. Ниже указанной глубины, в слое 60–80 см, максимальное содержание общих карбонатов зафиксировано под залежью, минимальное – под орехом. В слое 80–120 см их количество было одинаковым под лесными культурами и существенно ниже, чем под залежью. Это может свидетельствовать о вымывании карбонатов из нижележащих слоев почвы за счет дренирования ее глубокой корневой системой древесных растений, что подтверждается ранее проведенными исследованиями [13].

Почвы исследуемой территории характеризовались как щелочные. Величина pH_{H_2O} была минимальная в гумусовом горизонте и увеличивалась с глубиной (рис. 3). В слое 5–10 см под залежью и орехом она оказалась практически одинаковой, под дубом – существенно выше в связи с более высоким содержанием карбонатов.

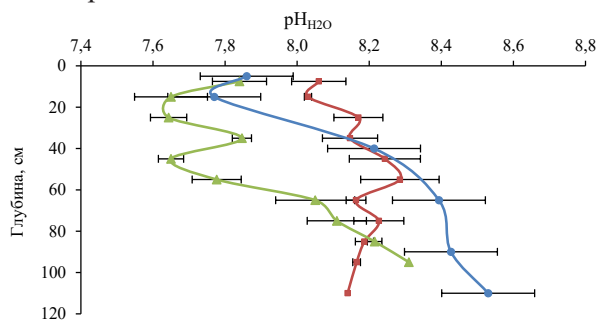


Рис. 3. Величина pH_{H_2O} почвы под залежью и древесными насаждениями, 2020 г. (—залежь; — дуб; — орех)

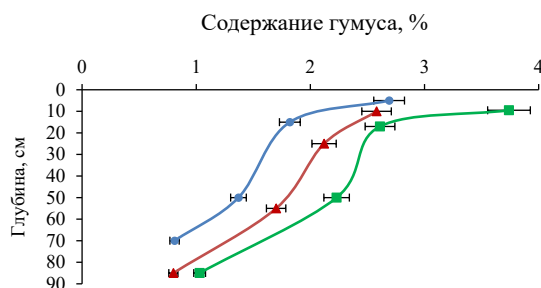
Fig. 3. The pH_{H_2O} value of the soils under the fallow and tree plantations, 2020 (—fallow; — oak; — walnut)

В слое 10–30 см pH_{H_2O} снижался под всеми ценозами в связи с перемешиванием естественных слоев почвы при вспашке. В почве под орехом pH_{H_2O} существенно ниже, чем под залежью и дубом, в слое 20–70 см. С глубины 60 см pH_{H_2O} почвы под залежью резко возрастал и под лесными культурами был ниже на 0,2–0,4, чем под залежью, за счет более глубокого проникновения корневой системы деревьев и подкисления среды корневыми экссудатами, а также большей выщелоченности карбонатов из-за высокой водопроницаемости почвы, обусловленной ходами корней. Данное явление установлено нами ранее [26] и подтверждается в ряде исследований [9, 27, 29]. В целом pH_{H_2O} в большей степени определялся содержанием карбонатов в почве под всеми ценозами ($r = 0,83–0,91$).

Содержание гумуса – основной показатель плодородия почв – в слое 0–10 см было одинаковым под залежью и дубом и значительно ниже, чем под орехом (рис. 4). Последнее, очевидно, связано с наибольшим развитием травянистой растительности в фитоценозе ореха. С глубиной содержание гумуса уменьшалось, более резко – под залежью, и с глубины 30 см там было существенно ниже, чем под лесными культурами. Зафиксировано большим содержание гумуса по всему гумусовому горизонту под орехом по сравнению с дубом, наиболее существенная разница отмечается для слоя 20–60 см, но достоверно выше показатель для почвы под древесными растениями по сравнению с залежью – на 0,30–0,86 %. Запас гумуса в слое 0–80 см был также максимальным под орехом и составил 295 т/га, под дубом и залежью он ниже – 266 и 251 т/га соответственно.

Рис. 4. Содержание гумуса в почве под залежью и древесными насаждениями, 2020 г. (—залежь; — дуб; — орех)

Fig. 4. The humus content in the soils under the fallow and tree plantations, 2020 (—fallow; — oak; — walnut)



Содержание валовых форм элементов питания в почвах характеризует их потенциальное плодородие и накопление элементов в процессе развития ценоза. Количество валового азота в гумусовом слое колебалось в пределах 0,13–0,27 % и было минимальным под залежью (табл. 4). Под орехом в слое 0–60 см его было больше, чем под дубом, – 17,8 и 13,3 т/га соответственно, что превышало показатель для почвы под залежью (8,3 т/га). В связи с этим соотношение С:N было максимально для почвы под залежью, ниже – под лесными культурами и имело тенденцию к уменьшению по профилю под орехом, под дубом оказалось более стабильным. Это характеризует относительное накопление валового азота в почве под лесными породами, что отмечено ранее [13, 26].

Таблица 4

Содержание валовых форм элементов питания в почвах под залежью и древесными насаждениями, 2021 г.
The content of total forms of nutrients in the soils under the fallow and tree plantations, 2021

Ценоз	Глубина, см	C _{орг} *	Валовые формы, %			C:N
			N	P	K	
Залежь	0–10	2,69	0,23	Нет данных		11,7
	10–20	1,82	0,15			12,1
	60–80	0,81	0,07			11,6
Дуб	5–15	1,50	0,20	0,40	1,30	7,5
	20–30	1,23	0,17	0,38	1,26	7,2
	50–60	0,99	0,13	0,35	0,87	7,6
Орех	7–12	2,17	0,27	0,45	1,48	8,0
	12–22	1,51	0,21	0,27	1,19	7,2
	40–60	1,29	0,20	0,13	0,93	6,5
	80–90	0,60	0,13	0,25	0,83	4,6

*Общий органический углерод, %.

Содержание валового фосфора в почвах под лесными культурами в верхнем слое было достаточно высоким и примерно одинаковым. С глубиной под орехом оно значительно снижалось с большим варьированием по горизонтам. Под дубом в слое 20–60 см содержание валового фосфора оставалось достаточно высоким и превышало значение для почвы под орехом на 0,1–0,2 %. Такие цифры подтверждают ранее полученные данные [28].

Количество валового калия в почвах под лесными культурами также различалось: под орехом оно было более высоким в верхнем слое и резко снижалось на глубине 12–22 см. Под дубом в этом слое оно характеризовалось как еще достаточно высокое, однако сокращалось на глубине 50–60 см. Запасы валового калия в 60-сантиметровом слое почвы под орехом составили 94 т/га, под дубом – 90 т/га. Это свидетельствует о значительном и примерно равном вкладе этих лесных пород в обогащение почвы валовым калием.

Таким образом, биотоп ореха отличался большим содержанием валовых форм элементов питания за счет как своего опада, так и более мощного травяного покрова. Однако под дубом элементы накапливались более равномерно по почвенной толще из-за более глубокой и мощной корневой системы, запасы валового калия были сопоставимыми в почвах под обеими лесными культурами.

Содержание мобильных форм элементов питания характеризует эффективное плодородие почвы. Данные показывают, что уровень нитратного азота в почвах был низким под всеми ценозами и уменьшался с глубиной (рис. 5, а).

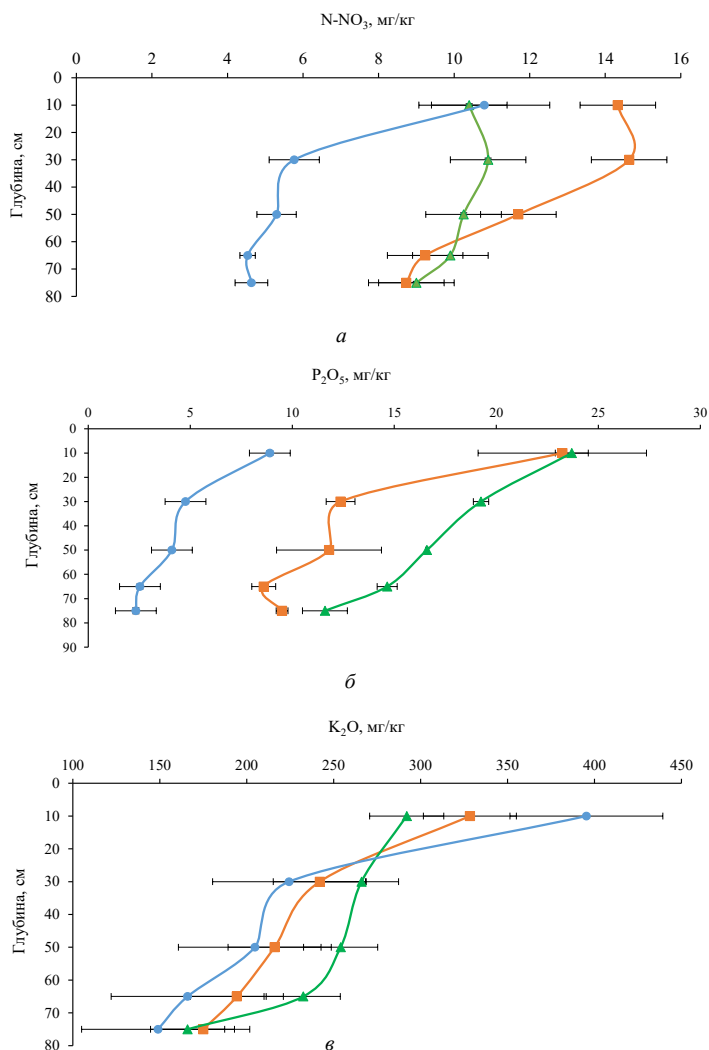


Рис. 5. Содержание в почве под залежью и древесными насаждениями, 2020 г.: а – нитратного азота; б – подвижного фосфора; в – обменного калия (— залежь; — дуб; — орех)

Fig. 5. The content in the soils under the fallow and tree plantations, 2020: а – nitrate nitrogen; б – labile phosphorous; в – exchange potassium (— fallow; — oak; — walnut)

Под лесными ценозами показатель был выше по сравнению с залежью, наиболее значительно – под дубом. В слое 0–30 см количество $N-NO_3$ под дубом было максимальным и существенно больше, чем под орехом и залежью. В слое 50–80 см его концентрация оказалась практически одинаковой под лесными ценозами и существенно выше, чем под залежью. Это обусловлено более глубокой корневой системой древесных растений и увеличением нитрификационной способности почв, причиной которой является деятельность микроорганизмов, живущих в ризосфере растений.

Содержание подвижного фосфора в почве под залежью было низким (рис. 5, б). Древесные растения способствовали существенному накоплению фосфо-

ра по всему профилю почвы, максимально – в слое 0–20 см, где количество этого элемента было почти одинаковым под обеими культурами и достоверно превышало показатель для почвы под залежью. Ниже по профилю количество P_2O_5 под орехом было несколько выше, чем под дубом (различия существенны только для слоя 20–40 см, $p < 0,05$).

Концентрация обменного калия в почве была высокой, максимальной – под залежью в слое 0–20 см (рис. 5, в). Ниже по профилю она постепенно уменьшалась до 150–200 мг/кг, была незначительно выше под древесными породами по сравнению с залежью и несколько выше под орехом по сравнению с дубом (различия статистически незначимы, $p > 0,05$).

Для почв степи, которые нередко бывают засоленными, важно знать состав легкорастворимых солей и влияние лесных культур на их содержание. Данные показывают, что почвы под всеми ценозами не были засолены легкорастворимыми солями до глубины 120–150 см, сумма солей составляла 0,04–0,07 %. Для почв под залежью сумма солей достаточно высокая на глубине 0–10 см, затем в слое 10–80 см она резко снижалась, возможно, из-за их поглощения травянистыми растениями и накоплением в поверхностном слое с опадом трав. Ниже по профилю, к почвообразующей породе, показатель опять возрастал (табл. 5).

Таблица 5

Катионно-анионный состав водной вытяжки из почв под залежью и древесными насаждениями, 2021 г.
The cation-anion composition of aqueous extract from the soils under the fallow and tree plantations, 2021

Ценоз	Глубина, см	Сумма солей, %	Сумма токсичных солей, %	Содержание, смоль(экв)/кг						
				CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
Залежь	0–10	0,06	0,01	0,02	0,68	0,04	0,09	0,60	0,08	0,15
	10–20	0,05	0,01	0,02	0,50	0,08	0,10	0,44	0,04	0,22
	60–80	0,05	0,01	0,02	0,52	0,04	0,02	0,44	0,04	0,12
	100–120	0,06	0,03	0,02	0,52	0,04	0,20	0,32	0,08	0,38
	130–140	0,07	0,04	0,02	0,44	0,04	0,46	0,32	0,08	0,56
Дуб	5–15	0,05	0,01	0	0,52	0	0,08	0,52	0,04	0,04
	20–30	0,04	0	0	0,48	0	0,08	0,48	0,04	0,04
	50–60	0,04	0	0	0,48	0	0,08	0,48	0,04	0,04
	80–90	0,04	0	0	0,44	0	0,08	0,44	0,04	0,04
	100–120	0,05	0,01	0	0,44	0	0,16	0,52	0,04	0,04
Орех	7–12	0,05	0	0	0,56	0	0,08	0,56	0,04	0,04
	12–22	0,05	0,01	0	0,52	0	0,20	0,48	0,20	0,04
	40–60	0,05	0,01	0	0,52	0	0,12	0,48	0,12	0,04
	80–90	0,04	0,01	0	0,44	0	0,12	0,40	0,12	0,04
	100–120	0,04	0,01	0	0,44	0	0,08	0,36	0,12	0,04
	130–150	0,04	0,01	0	0,44	0	0,08	0,32	0,16	0,04

В почвах под лесными культурами сумма солей была ниже, чем в почве под залежью, с небольшими отличиями в зависимости от вида древесного растения. Так, под дубом сумма солей меньше, чем под залежью, по всему профилю почвы. Соли по профилю распределялись достаточно равномерно с небольшим

увеличением в слоях 5–15 и 100–120 см. Под растениями ореха накопление солей отмечено только на глубине 12–60 см, когда сумма солей превышала показатель для почв как под дубом, так и под залежью. Ниже по профилю она значительно уменьшалась – на 0,01–0,03 %. Это свидетельствует о высоком дренарующем эффекте корней древесных растений, особенно в слоях более 80 см.

Что касается состава легкорастворимых солей, то под залежью наблюдалось некоторое содопроявление: содержание иона CO_3^{2-} на уровне 0,02 смоль(экв)/кг и присутствие токсичной щелочности (гидрокарбонатов натрия и магния) по всему профилю. В почве под древесными породами ион CO_3^{2-} отсутствовал. Под дубом токсичная щелочность также не отмечена, под орехом наблюдалось присутствие гидрокарбонатов магния в незначительных количествах (0,04–0,12 смоль(экв)/кг). Снижение токсичной щелочности связано, на наш взгляд, с увеличением подвижности кальция в почве под древесными породами по всему профилю, кроме верхнего, 10–15-сантиметрового слоя.

Установлено невысокое содержание хлоридов под залежью и их почти равномерное распределение по всему профилю. Под лесными культурами хлориды были полностью выщелочены из профиля, что свидетельствует о более высоких дренарованности и водопроницаемости почвы под древесными растениями по сравнению с травянистыми.

Из токсичных нейтральных солей в почвах всех ценозов обнаружены сульфаты натрия и магния, а под залежью еще и хлориды натрия в незначительных количествах. Концентрация сульфатов и натрия в слое 0–60 см на залежи была невысокой, в более глубоких слоях увеличивалась до 0,20–0,56 смоль(экв)/кг. Под лесными культурами их содержание ниже, чем под залежью, особенно сульфата натрия. Сульфат магния под залежью отсутствовал, но появлялся в незначительных количествах под древесными культурами, что связано, вероятно, с уменьшением концентрации водорастворимого натрия под этими растениями.

Под залежью содержание водорастворимого кальция было ниже, чем под лесными культурами, что обусловлено не столько накоплением элемента под ними, сколько уменьшением его подвижности под залежью за счет присутствия соды и гидрокарбонатов магния [25]. Под орехом наблюдалось накопление иона магния, тогда как под дубом отмечено некоторое снижение его содержания в слоях 5–15 и 100–120 см по сравнению с залежью. Это также может свидетельствовать о большей водопроницаемости почвы под дубом за счет развития более мощной корневой системы, что способствовало вымыванию солей магния из профиля почвы.

Выводы

1. Установлено, что в жестких климатических условиях центрального Крыма наиболее адаптированным показал себя дуб черешчатый как аборигенный вид по сравнению с интродуцентом орехом скальным. Большинство 50-летних растений дуба были в отличном и хорошем состоянии, имели более значительные размеры и сомкнутость древостоя.

2. Под влиянием лесных насаждений изменялась морфология верхней (гумусированной) части почвенной толщи, образовался органогенный горизонт

(подстилка) мощностью 5–7 см, темногоумусовый и переходный гумусовый горизонты были более мощными под орехом (67 и 80 см соответственно), чем под залежью и дубом (60 и 70–72 см соответственно). Под растениями ореха карбонаты почвы характеризовались как выщелоченные на большую глубину (73–77 см) по сравнению с залежью (50 см). Под лесными культурами структура темногоумусового горизонта изменилась на комковато-мелкоореховатую по сравнению с мелкокомковато-зернистой на залежи.

3. Виды лесных культур влияли на физические свойства почвы: произошло некоторое уплотнение почвы, особенно значительное в нижних горизонтах, по сравнению с залежью, причем под дубом плотность сложения по всему профилю была ниже, чем под орехом, что в основном определялось увеличением влажности почвы под последним. Улучшалось структурное состояние почвы за счет уменьшения количества глыбистых частиц, увеличения числа агрономически ценных и зернистых агрегатов. Коэффициент структурности под древесными культурами был выше в 2–4 раза по сравнению с залежью, наиболее оструктуренной почва была под дубом.

4. Облесение приводило к изменению химических свойств степных почв: существенному снижению содержания общих карбонатов в слоях глубже 60 см, наиболее значительному под орехом, за счет дренирования этих слоев глубокой корневой системой деревьев; уменьшению рН водной вытяжки на 0,2–0,6 в зависимости от слоя почвы, что во многом определялось вымыванием карбонатов из почвы; увеличению содержания гумуса в слое 20–60 см на 0,30–0,86 %, максимально – под орехом вследствие более значительного развития травянистой растительности в фитоценозе; повышению запаса валового азота в 1,6 раза (дуб) и 2,0 раза (орех) и снижению соотношения C:N по сравнению с травянистой залежью; увеличению количества подвижных форм элементов питания – нитратного азота (в большей мере под дубом), обменных фосфора и калия (под орехом).

5. Почвы под всеми изученными ценозами были незасоленными до глубины 120–150 см. Древесные насаждения в степи способствовали уменьшению общего содержания солей и их токсичной составляющей по сравнению с травянистой растительностью. В составе солей также происходили изменения. В почвах под лесными культурами снижались щелочность, концентрации хлоридов и натрия и увеличивалась подвижность кальция. Для почв под дубом отмечено более значительное выщелачивание сульфатов и магния по сравнению с орехом, вероятно, за счет лучшей оструктуренности почвы, развития более мощной корневой системы и увеличения водопроницаемости почвы.

6. Таким образом, растения ореха скального и дуба черешчатого способствовали повышению плодородия почвы: увеличивали мощность гумусового горизонта, влажность и улучшали структуру, способствовали накоплению элементов питания и выщелачиванию солей по сравнению с травянистым ценозом. Однако почвы под этими двумя культурфитоценозами имели некоторые особенности. Под дубом оказалось больше влаги, была ниже плотность сложения, повышался коэффициент структурности, в почве накапливалось больше подвижного азота и зафиксировано существенно меньше токсичных сульфатов. Под растениями ореха гумусовый горизонт характеризовался как более мощный с большим накоплением гумуса, валового азота и подвижных форм фосфора и калия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Безрукова А.С., Козловский Б.Л., Куропятников М.В. Изучение влияния парковых насаждений Ботанического сада ЮФУ на параметры микроклимата // Живые и биокос. системы. 2018. № 26. Режим доступа: <https://jbks.ru/archive/issue-26/article-1> (дата обращения: 04.09.24).

Bezrukova A.S., Kozlovskij B.L., Kuropyatnikov M.V. Study of the Influence of Parkland of the Botanical Garden of the Southern Federal University on the Parameters of the Microclimate. *Zhivye i biokosnyye sistemy* = Live and Bio-Abiotic Systems, 2018, no. 26. (In Russ.). <https://doi.org/10.18522/2308-9709-2018-26-1>

2. Беляев А.Б. Многолетняя динамика свойств черноземов выщелоченных под разными лесонасаждениями // Почвоведение. 2007. № 8. С. 917–926.

Belyaev A.B. Long-Term Dynamics of the Properties of Leached Chernozems under Different Forest Plantations. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science, 2007, vol. 40, pp. 821–829. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1064229307080030>

3. Беляев А.Б. Лесные экосистемы и их влияние на свойства и плодородие почв лесостепи ЦЧР // Тр. ин-та геологии Дагестан. науч. центра РАН. 2014. № 63. С. 53–56.

Belyaev A.B. Forest Ecosystems and Their Impact on the Properties and Fertility of Forest-Steppe Soils of the Central Chernozem Region. *Trudy instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN* = Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the RAS, 2014, no. 63, pp. 53–56. (In Russ.).

4. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Methods of Studying the Physical Properties of Soils*. 3rd ed., revised and enlarged. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 416 p. (In Russ.).

5. Важов В.И. Агроклиматическое районирование Крыма // Труды Государственного Никитского ботанического сада. Ялта, 1977. Т. 71: Почвенно-климатические ресурсы Крыма и рациональное размещение плодовых культур. С. 92–120.

Vazhov V.I. Agroclimatic Zoning of Crimea. *Trudy Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* = Proceedings of the State Nikitsky Botanical Garden, 1977, vol. 71: Soil and Climatic Resources of Crimea and Rational Placement of Fruit Crops, pp. 92–120. (In Russ.).

6. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: МГУ, 1998. 272 с.

Vorobyova L.A. *Chemical Analysis of Soils*. Moscow, Moscow State University Publ., 1998. 272 p. (In Russ.).

7. Галушко Р.В., Горак Ю.С. О результатах интродукции древесных растений в Евпаторийском дендропарке // Бюл. ГНБС. 2002. Вып. 84. С. 53–57.

Galushko R.V., Gorak Yu.S. On the Results of the Introduction of Woody Plants in the Evpatoria Arboretum. *Byulluten Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* = Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden, 2002, iss. 84, pp. 53–57. (In Russ.).

8. Григорьев А.Г., Дзецина А.Н. Биоэкологические особенности видов рода *Juglans* L. при их интродукции в степной Крым // Бюл. ГНБС. 1987. Вып. 62. С. 59–64.

Grigor'ev A.G., Dzetsina A.N. Bioecological Features of Species of the Genus *Juglans* L. during Their Introduction into the Steppe Crimea. *Byulluten Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* = Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden, 1987, iss. 62, pp. 59–64. (In Russ.).

9. Гурин П.Д., Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Влияние лесопосадок и длительного сельскохозяйственного использования на свойства южных черноземов // Вестн. СПбГУ. Сер. 3. 2012. Вып. 2. С. 109–119.

Gurin P.D., Aparin B.F., Sukhacheva E.Yu. The Influence of Forest Plantations and Long-Term Agricultural Use on the Properties of Southern Chernozems. *Vestnik SPbGU. Seriya 3* = Vestnik of Saint Petersburg University. Series 3, 2012, iss. 2, pp. 109–119. (In Russ.).

10. Деревья и кустарники СССР: дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции: в 6 т. Т. II. Покрытосеменные / ред. С.Я. Соколов. М.; Л.: АН СССР, 1951. 611 с.

Trees and Shrubs of the USSR: Wild, Cultivated and Promising for Introduction: in 6 vol. Vol. II. Angiosperms. Ed. S.Ya. Sokolov. Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1951. 611 p. (In Russ.).

11. Ерусалимский В.И., Рожков В.А. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 88. С. 121–137.

Erusalimskii V.I., Rozhkov V.A. The Multifunctional Role of Protective Forest Plantations. *Byulleten Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* = Dokuchaev Soil Bulletin, 2017, iss. 88, pp. 121–137. (In Russ.). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-88-121-137>

12. Замолодчиков Д.Г., Каганов В.В., Мостовая А.С. Влияние лесных посадок на эмиссию диоксида углерода из почвы в Поволжье и Подонье // Лесоведение. 2022. № 4. С. 339–350.

Zamolodchikov D.G., Kaganov V.V., Mostovaya A.S. Forest Plantations Affect Carbon Dioxide Emission From Soils in Volga And Don Region. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2022, no. 4, pp. 339–350. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0024114822040118>

13. Казими́рова Р.Н. Почвы и парковые фитоценозы Южного берега Крыма. Киев: Аграр. наука, 2005. 183 с.

Kazimirova R.N. *Soils and Park Phytocenoses of the Southern Coast of Crimea*. Kyiv, Agrarna nauka Publ., 2005. 183 p. (In Russ.).

14. Макарычев С.В., Гейфе И.В., Лебедева Л.В., Шорина И.В. Тепло и влага в почвенном профиле под древесными породами в условиях дендрария // Вестн. Алтайск. гос. аграр. ун-та. 2017. № 7(153). С. 64–68.

Makarychev S.V., Gefke I.V., Lebedeva L.V., Shorina I.V. Heat and Moisture in Soil Profile under Tree Species under the Arboretum Conditions. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University, 2017, no. 7(153), pp. 64–68. (In Russ.).

15. Оптимизация систем защитных лесных насаждений степного Крыма (методические рекомендации). Киев: ДИА, 2011. 40 с.

Optimization of the Systems of Protective Forest Plantations of the Steppe Crimea (Methodological Recommendations). Kyiv, DIA Publ., 2011. 40 p. (In Russ.).

16. Поляков А.К. Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды / под общ. ред. чл.-корр. НАН Украины А.З. Глухова. Донецк: Ноулидж (Донецк. отд.), 2009. 268 с.

Polyakov A.K. *Introduction of Woody Plants in Technogenic Environments*. Ed. by corr. mem. of the NAS of Ukraine A.Z. Glukhov. Donetsk, Knowledge Publ. (Donetsk Branch), 2009. 268 p. (In Russ.).

17. Русина Г.В., Клименко О.Е., Клименко Н.И. Влияние травянистых ценозов различного происхождения на свойства почвы // Вісник аграрної науки. 1997. № 11. С. 9–12.

Rusina G.V., Klimenko O.E., Klimenko N.I. The Influence of Herbaceous Cenoses of Different Origins on Soil Properties. *Visnik agrarnoi nauki* = Bulletin of Agrarian Science, 1997, no. 11, pp. 9–12. (In Russ.).

18. Семенютина А.В. Актуальные проблемы озеленения урбанизированных территорий // Эколого-экономическая оптимизация природопользования: материалы Круглого стола. Волгоград: ВолГУ, 2004. С. 159–162.

Semenyutina A.V. Current Issues of Landscaping. *Ecological and Economic Optimization of Nature Management: Materials of the Round Table*. Volgograd, VolSU Publ., 2004, pp. 159–162. (In Russ.).

19. Сорокина О.А. Трансформация плодородия почв под лесными насаждениями на сопряженных элементах рельефа в степях Хакассии // Лесоведение. 2017. № 1. С. 60–72.

Sorokina O.A. Transformation of Soil Fertility under Forest Plantations on Adjacent Relief Elements in the Steppes of Khakassia. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2017, no. 1, pp. 60–72. (In Russ.).

20. Трофимов И.Т., Беховых Ю.В., Болотов А.Г., Сизов Е.Г. Влияние лиственных лесных насаждений на физические свойства почв // Вестн. Алтайск. гос. аграр. ун-та. 2014. № 1(111). С. 34–39.

Trofimov I.T., Bekhovykh Yu.V., Bolotov A.G., Sizov Ye.G. Effect of Broadleaved Forest Stands on Soil Physical Properties. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University, 2014, no. 1(111), pp. 34–39. (In Russ.).

21. Турусов В.И., Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Титова Т.В. Изменения физических свойств черноземов сегрегационных в агролесоландшафтах Центрального Черноземья // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 4. С. 95–112.

Turusov V.I., Cheverdin Yu.I., Bepalov V.A., Titova T.V. Changes in the Physical Properties of Segregational Chernozems in Agroforest Landscapes of the Central Chernozem Region. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2020, no. 4, pp. 95–112. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-4-95-112>

22. Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Сауткина М.Ю., Титова Т.В. Эколого-агрохимическая оценка почв Каменной Степи под лесным ценозом // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 5. С. 76–91.

Cheverdin Yu.I., Bepalov V.A., Sautkina M.Yu., Titova T.V. Ecological and Agrochemical Assessment of the Kamennaya Steppe Soils under Forest Cenosis. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2021, no. 5, pp. 76–91. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-5-76-91>

23. Чендев Ю.Г., Геннадиев А.Н., Лукин С.В., Соэр Т.Д., Заздравных Е.А., Белеванцев В.Г., Смирнова М.А. Изменение лесостепных черноземов под влиянием лесополос на юге Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2020. № 8. С. 934–947.

Chendev Yu.G., Gennadiev A.N., Lukin S.V., Sauer T.J., Zazdravnykh E.A., Belevantsev V.G., Smirnova M.A. Change of Forest-Steppe Chernozems under the Influence of Shelterbelts in the South of the Central Russian Upland. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science, 2020, no. 8, pp. 934–947. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0032180X20080031>

24. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015*. Rome. FAO, World Soil Resources Reports, 2015, no. 106. 192 p.

25. Klimenko O.E. Alkalization of Irrigated Soils Suitable for Orchard Growing in Steppe Crimea and Prospects for Their Use. *Eurasian Soil Science*, 2016, vol. 49, pp. 1180–1188. <https://doi.org/10.1134/S1064229316100082>

26. Klimenko O.E., Klimenko N.I. Changes in the Properties of Crimean Haplic Chernozems under the Impact of Forest Plantations. *Eurasian Soil Science*, 2021, vol. 54, pp. 750–762. <https://doi.org/10.1134/S1064229321050124>

27. Lawrence G.B., Lapenis A.G., Berggren D., Aparin B.F., Smith K.T., Shortle W.C., Bailey S.W., Varlyguin D.L., Babikov B. Climate Dependency of Tree Growth Suppressed by Acid Deposition Effects on Soils in Northwest Russia. *Environmental Science and Technology*, 2005, vol. 39, iss. 7, pp. 2004–2010. <https://doi.org/10.1021/es048759o>

28. Makarov M.I., Malysheva T.I. Phosphorus Compounds Under Different Plants in an Artificial Soil Formation Experiment. *Tree Species Effects on Soils: Implications for Global Change*, 2005, pp. 213–228. https://doi.org/10.1007/1-4020-3447-4_12

29. Mueller K.E., Eissenstat D.M., Hobbie S.E., Oleksyn J., Jagodzinski A.M., Reich P.B., Chadwick O.A., Chorover J. Tree Species Effects on Coupled Cycles of Carbon, Nitrogen, and Acidity in Mineral Soils at a Common Garden Experiment. *Biogeochemistry*, 2012, vol. 111, pp. 601–614. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9695-7>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article