

ПРЕДИКТОРЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ВОДОРАЗДЕЛЬНО-ЗАНДРОВЫХ ТИПОВ МЕСТНОСТИ ВОРОНЕЖСКОЙ НАГОРНОЙ ДУБРАВЫ

Е.Н. Тихонова✉, Г.А. Одноралов, Э.И. Трещевская,
Н.Н. Харченко, И.В. Голядкина

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» (ВГЛТУ),
Россия, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

tichonova-9@mail.ru

Приведены результаты исследования трофогенного потенциала почвообразующих пород и почв водораздельно-зандровых типов местности Воронежской нагорной дубравы — неотъемлемого компонента лесопарковой зоны г. Воронежа. Установлено, что исходные почвообразующие породы исследуемых типов местности на 96 % состоят в основном из среднезернистого песка, при этом на долю песчаного алеврита приходится 64,2, а физической глины — 2,7 кг/м². Показано, что в тяжелой фракции флювиогляциальных песков водораздельно-зандрового типа местности преобладают минералы, устойчивые к физико-химическому выветриванию. Общее содержание минералов тяжелых фракций составляет 0,11 %, или 1,1 кг на 1 т породы. Выявлено, что культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданные на водно-ледниковых среднечетвертичных песках, за 70 лет синтезировали 91,6 т/га органического вещества, что соответствует 962·106 кДж/га энергии. Определено, что в результате процесса лесного почвообразования за этот же период в песчаном местообитании содержание физической глины возросло в корнеобитаемом двухметровом слое с 2,7 до 36,7 кг/м². Показано, что искусственно созданная ландшафтная экосистема, накопившая в живом и мертвом органическом веществе потенциально активную энергию, биофильные химические элементы, постепенно создает гумусовый аккумулятивный горизонт почвенного покрова. Депонирование углерода в двухметровой корнеобитаемой толще составляет 28,3 т/га. Установлено, что искусственные лесные ландшафты водораздельно-зандровых типов местности лесостепи обладают очень низким лесорастительным потенциалом и близки к опасности разрушения.

Ключевые слова: Центральная лесостепь, Воронежская нагорная дубрава, сосна обыкновенная, пески флювиогляциальные, зандрово-водораздельные ландшафты

Ссылка для цитирования: Тихонова Е.Н., Одноралов Г.А., Трещевская Э.И., Харченко Н.Н., Голядкина И.В. Предикторы биологической продуктивности водораздельно-зандровых типов местности Воронежской нагорной дубравы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 35–47.
DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-35-47

Средообразующая роль леса по мере сокращения его площади становится все очевиднее. Мировое индустриальное развитие все больше загрязняет окружающую среду парниковыми газами, что, по мнению многих исследователей, является главной причиной потепления климата на планете со всеми вытекающими катастрофическими последствиями [1–3]. Для того чтобы снизить риски негативного воздействия, следует вывести из углеродного цикла избыток диоксида углерода в атмосфере и аккумулировать его в биомассе, увеличив биологическую продуктивность экосистем, и в первую очередь леса [4–6].

Исходя из того, что предиктором биологической продуктивности или интенсивности синтеза органического вещества лесных насаждений является, прежде всего, трофогенный потенциал почвообразующих пород и почв необходимо более детальное исследование литогенной и педогенной основы ландшафта [7–9].

Цель работы

Цель работы — выявление лесорастительных возможностей литогенного компонента водораздельно-зандровых типов местности Воронежской нагорной дубравы и определение органической массы, продуцированной насаждениями, и емкости карбонового депо в пределах исследуемой территории.

Объекты и методы исследования

Для достижения поставленной цели были последовательно решены следующие задачи: проведено почвенное лесотипологическое исследование с составлением почвенной карты и карты типов леса. Изучен лесорастительный потенциал почвообразующих пород и почв, определены размеры почвенного поглощающего комплекса и степень насыщенности основаниями. Определена емкость углеродного депо во всех основных типах леса и на всей исследованной площади.

Объектом исследования служила лесопарковая часть Воронежской нагорной дубравы, входящая в состав зеленой зоны города, площадью 592 га (кварталы 46–55 Правобережного лесничества ВГЛТУ). С запада объект ограничивает трасса Воронеж — Москва, с севера — разделительная просека (кварталы 44–45), с юга — городская застройка.

Согласно физико-географическому районированию Центрально-Черноземной области исследуемая территория находится в пределах Окско-Донского плоскоместья в подзоне типичной лесостепи в левобережном придолинно-террасовом районе [10–11]. Климатические условия — умеренно-континентальные. Годовая амплитуда температур — около 30 °С, суммарная солнечная радиация — 378 кДж/см². Средняя годовая температура воздуха составляет +5,5 °С, средняя температура июля и января составляет соответственно +19,5 °С и –10,5 °С. Средняя годовая сумма осадков 544 мм. Тип водного режима периодически промывной. Коэффициент увлажнения — 0,75...1,20.

В литологическом отношении водораздел представлен отложениями водно-ледниковых потоков среднечетвертичного отдела плейстоцена. Цоколем ему служат плиоценовые глины (верхний неоген), перекрытые свитой серых крупнозернистых флювиогляциальных кварцевых песков мощностью до 20 м с эрратическими валунами у основания. Формирование этой свиты связано с днепровским оледенением. Над ней залегает свита супесей, песков, суглинков и глин, часто с ржаво-охристыми и зеленовато-синими пятнами. Встречаются и погребенные почвы. Накопление осадков происходило здесь в одинцовское межледниковье, в начале московского оледенения [12, 13]. Коллоидные системы глин подверглись тиксотропным изменениям и сильно деформировались, образуя в стенке разрезов причудливые формы. Общая мощность этой свиты — около 10 м. В результате таяния московского ледника сформировалась следующая свита средне- и

мелкозернистых кварцевых песков, также с прослойками суглинков, мощностью до 7 м. Все эти отложения оформлены в виде Воронежского оза — единственного памятника ледниковой эпохи, запечатленной в рельефе области. Склоны водораздела прорезаны крупными балками, разделяющими оз на ландшафтные группы, покрытые делювиальными отложениями.

Таким образом, в формировании лесных ландшафтов объекта исследований участвуют породы, образующие комплексы из чередующихся прослоек песков, супесей, алевроитов, глин. Поэтому верхняя часть почвенного профиля может быть песчаной или супесчаной, в средней части суглинистой, а в нижней — вновь песчаной. Часты случаи, когда песчаная толща подстилается на глубине 1,5...2,0 м тяжелыми суглинками. Такая гетеролитность ландшафта существенно влияет на взаимодействие между горными породами и лесными насаждениями. В почвообразовательном процессе здесь не отдельные слои, а весь флиш. Кроме того, все отложения, формирующие водораздел, являются дериватами кислых пород Балтийского щита. Все это придает уникальность и своеобразие Воронежской нагорной дубраве. В границах объекта выделяется три типа местности: водораздельно-зандровый, плакорный и склоновый.

Для характеристики почв и изучения связи их с производительностью насаждений были выполнены следующие работы:

- определено содержание гумуса по методу Тюрина в модификации Центрального научно-исследовательского института агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО) по ГОСТ 26213–91;
- рН солевой вытяжки потенциметрически по ГОСТ 26483–85;
- гидролитическая кислотность по Каппену в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–2021;
- обменные кальций и магний по Гедройцу трилонометрически по ГОСТ 26487–85;
- подвижный фосфор и калий по Чирикову в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26204–91;
- азот общий по Кьельдалю по ГОСТ 26107–84;
- гранулометрический состав пипеточным методом по ГОСТ 12536–2014.

Отбор почвенных проб по генетическим горизонтам в соответствии с ГОСТ 17.14.3.01–83. Минералогические и спектральные анализы были выполнены в химической лаборатории геологической экспедиции [14].

При производстве работ заложено 40 шурфов глубиной 2,0 м (основной корнеобитаемый слой) и послойно отобраны пробы почв. Возле каждого разреза были заложены проб-

ные площади (0,25 га) с определением средней высоты, диаметра ствола и возраста главной лесообразующей породы. Исследованы модельные деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с определением массы хвои, мелких и крупных ветвей, стволов и корней во всех ярусах насаждений, травяном покрове и лесной подстилке [15]. В работе приведена масса органического вещества, высушенная при 105 °С. Более подробно использованные нами методики описаны ранее в работах [7, 16].

Результаты и обсуждение

Многолетние исследования убеждают нас в том, что связи между продуктивностью леса и почвенными параметрами следует искать не на самом высоком таксационном уровне (тип или подтип почв), а на самом низком (генезис и состав материнских пород). Так, пески представлены в основном обломками кварца, в котором концентрации всех химических элементов, кроме кремния, очень низкие. В глинистых же минералах, слагающих фракцию частиц размером меньше 0,001 мм, повышена концентрация многих элементов. Кроме того, высокая дисперсность глинистых минералов способствует адсорбции ими ионов из окружающего раствора, формированию почвенного поглощающего комплекса, увеличению емкости биологического круговорота веществ и, соответственно, определяет состав и продуктивность лесных насаждений.

Таким образом, тип леса и запас создаваемой им биомассы зависят главным образом от количества глины, накопленной в местообитании (почва + материнская порода + кора выветривания). В связи с этим нами опубликована шкала лесорастительных возможностей литогенных компонентов ландшафта, по которой можно оценить перспективы роста и развития конкретного биоценоза [17]. Разработанные нами градации показывают, что, к примеру, сосна обыкновенная, типичный олиготроф, может найти себе место обитания в ландшафте, сложенном кварцевым песком с примесью глины до 100 кг/м² в двухметровой корнеобитаемой толще. И чем ближе, в конкретном случае, этот показатель к верхнему пределу трофности для данного типа лесорастительных условий, тем больше запас прочности у насаждения. Переход в следующий диапазон содержания частиц физической глины (100...250 кг/м²) увеличивает бонитет сосновых культур и обеспечивает возможность произрастания широколиственных пород пониженных бонитетов. Сравнивая с этими данными результаты конкретных исследова-

ний типов местности можно оценивать запасы прочности произрастающих насаждений, перспективы их развития и прогнозировать будущее состояние конкретного участка биосферы.

Водораздельно-зандровый тип местности покрыт бором свежим травяным, сформировавшимся на рыхлых флювиогляциальных песках междуречья Дон — Воронеж. Тип лесорастительных условий А₂ [18, 19]. Общая площадь типа леса составляет 23 % (или 136 га) обследованной лесной площади. В составе насаждений лесные культуры сосны обыкновенной. Формула древостоя — 10С + ед. Д, Б, Ос. Бонитет главной породы II–III. Возраст 67 лет, средняя высота 17 м, средний диаметр ствола 22 см, полнота 0,4. Среднее количество деревьев 408 шт./га. В редком подлеске произрастают бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosus* Scop.), ракитник русский (*Chamaecytisus ruthenicus* Fisch. ex Wolf.). В травяном покрове встречаются ястребинка зонтичная (*Hieracium umbellatum* L.), горная петрушка (*Angelica oreoselinum* (L.) M. Hiroe), герань кроваво-красная (*Geranium sanguineum* L.), сон-трава (*Pulsatilla* Mill.), Иван-да-Марья (*Melampyrum nemorosum* L.), золотая розга (*Solidago virgaurea* L.). По данным бурения, грунтовая вода находится на глубине 5,0 м. Почвенно-литологическое строение данного типа местности приводится по описанию разреза 630, заложенного в кв. 48 Правобережного лесничества ВГЛТУ (табл. 1).

В «Классификации и диагностике почв СССР» данному строению почвенного профиля соответствует светло-серая лесная среднемощная связнопесчаная на флювиогляциальных рыхлых песках (рисунок) [20]. Исследуемые почвы могут быть отнесены к серым типичным среднемощным малогумусированным песчаным на древнеаллювиальных песках [21]. В соответствии с мировой базой почвенных ресурсов (WRB, 2024) исследуемые почвы относятся к Haplic Luvisols [22].

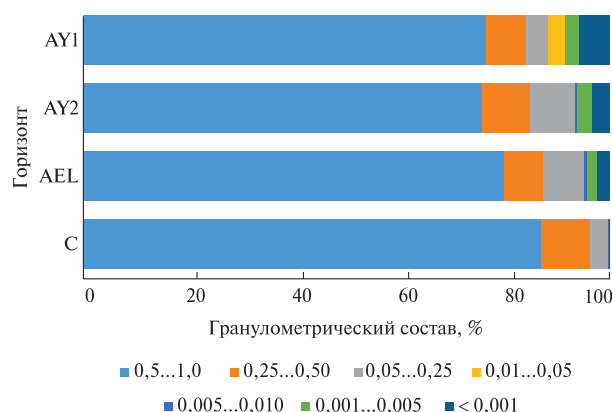
Анализ гранулометрического состава и массы гранулометрических фракций по генетическим горизонтам показывает, что почвообразующая порода на 96 % состоит из песка, в основном среднезернистого (табл. 2). На долю песчаного алеврита (0,05...0,01 мм) приходится 64,2 кг, а физической глины — всего лишь 2,7 кг. Разумеется, такое количество тонкодисперсной части не может обеспечить произрастание естественного леса, поэтому здесь сформировались сухие песчаные степи с низким проективным покрытием и слабой армирующей способностью корневых систем.

Т а б л и ц а 1

Строение почвенного профиля серых типичных почв

Soil profile structure of Haplic Luvisols

Горизонт	Границы, см	Мощность, см	Описание
O	0...2	2	Растительный опад разной степени разложения
AY1	2...13	11	Серый, свежий, связнопесчаный, непрочный-комковатый, рыхлый, много корней, переход постепенный
AY2	13...23	10	Серый, с буроватым оттенком, свежий, рыхлопесчаный, бесструктурный, встречаются корни, переход постепенный
AEL	23...83	60	Буровато-серый, свежий, рыхлопесчаный, бесструктурный, встречаются отдельные корни, переход постепенный
C	83...203	140	Желтовато-серый, влажный, песчаный, рыхлый, бесструктурный

Гранулометрический состав серых типичных почв
The particle size distribution in Haplic Luvisols

Для закрепления песков и увеличения биомассы зандровых ландшафтов были созданы культуры сосны, сформировавшие обмен веществ и биологический круговорот в новом антропогенном ландшафте, что и дало импульс для начала лесного почвообразовательного процесса. Аналогичные посадки сосны обыкновенной проводились на территории всей лесостепной зоны в конце XIX, в начале и середине XX в. в ходе реализации государственных программ по лесовосстановлению и лесоразведению [23]. В настоящее время участки сосновых насаждений Воронежской нагорной дубравы выполняют защитную и рекреационную функции.

В результате синергетики между органической и минеральной частями ландшафта ускоряются гипергенные процессы и синтез коллоидов, происходит миграция и аккумуляция вещества и энергии, обособляются гумусовый и иллювиальный почвенные горизонты. В них, как видно из табл. 2, происходит заметное накопление глины, формируется почвенный поглощающий комплекс (ППК), изменяется и

сам их состав. Если в породе глинистая часть представлена только мелкопылеватой предколлоидной фракцией (0,005...0,001 мм), то в почвенных горизонтах — илом (менее 0,001 мм). Эта часть почв наиболее активна, поэтому участвует во всех физико-химических обменных процессах.

В результате почвообразования за 70 лет в песчаном местообитании содержание глины возросло в двухметровом слое с 2,7 до 36,7 кг/м². При этом надо отметить, что именно верхний двухметровый слой является основным корнеобитаемым слоем для сосновых насаждений [24]. Сравнение этого показателя со шкалой лесорастительного потенциала [17] показывает, что продукционные возможности рассматриваемого местообитания ниже средних, что подтверждается данными минералогических исследований (табл. 3).

В тяжелой фракции флювиогляциальных песков преобладают минералы, устойчивые к физико-химическому выветриванию, о чем свидетельствует их прозрачность. К ним относятся ставролит-дистено-рутиловые ассоциации с турмалином, силлиманитом и гранатом. Среди неустойчивых к выветриванию в незначительных количествах присутствуют амфиболы, эпидот.

Главным минералом легкой фракции является устойчивой к выветриванию кварц, содержание которого приближается к 100 %. Его зерна слабо- и среднеокатанные, прозрачные. Общее содержание тяжелой фракции составляет 0,11 %, или 1,1 кг на 1 т породы, и, если учесть, что участвовать в биологическом круговороте могут лишь химические элементы, высвобождающиеся из неустойчивых к выветриванию минералов, а их меньше половины, то очевидно, что их роль в почвообразовании крайне ограничена. Термический анализ глинистых частиц меньше 0,005 мм показал, что

Т а б л и ц а 2

Масса гранулометрических фракций серых типичных почв**Mass of different particle-size fractions in Haplic Luvisols**

Горизонт	Глубина залегания, см	Масса горизонта, кг/м ²	Плотность, кг/м ³	Запасы гумуса, кг/м ²	Масса гранулометрических фракций, кг/м ²						
					1...0,25	0,25...0,05	0,05...0,01	0,01...0,005	0,005...0,001	<0,001	<0,01
AY1	11	149,6	1,36	3,95	122,1	11,8	6,6	5,1	—	4,0	9,1
AY2	20	125,1	1,39	0,32	98,0	12,3	10,6	—	0,35	3,8	4,1
AEL	80	834,4	1,39	0,42	686,2	60,4	66,6	—	6,7	14,1	20,8
C	200	1946,7	1,39	0,19	1696,1	183,0	64,2	—	2,7	—	2,7

они состоят, в основном, из гидромусковита, серицита и гидрослюд. В качестве примесей отмечается присутствие органического вещества, полевого шпата, опала. Все гидрослюды являются переходным звеном между слюдами и каолинитом.

Оценив лесорастительные возможности водно-ледниковых песков на территории Воронежской нагорной дубравы, рассмотрим состояние культур сосны, сформировавших боровые условия лесопроизрастания (табл. 4).

Исследования показали, что насаждения сосны одновозрастной за 67 лет синтезировали 91,6 т/га органического вещества, что делает данные ландшафты схожими с ландшафтами лесотундры или северной мерзлотной тайги, которые формируют фитомассу в 100 т/га [25–27].

Кроме этого показателя продуктивности леса существует еще один, характеризующий годовой прирост растительности, в данном случае 4,0 т/га.

Третий показатель — опад, т. е. количество ежегодно отмирающего растительного материала, по ранее опубликованным нами данным, составляет 1,67 т/га [28]. Количество органического вещества, заключенного в опаде и годовом приросте, характеризует синтез и разрушение растительного вещества в течение года. Отношение опада к фитомассе показывает, насколько прочно данный тип насаждения удерживает органическое вещество в ландшафте. Исследования показывают, что в задровых борах междуречья Дон — Воронеж на опад расходуется всего только 1,8 %, тогда как в таежных лесах он варьирует от 2 до 4 %, а в дубравах и того меньше — 1,5 % [16, 29].

Итак, культуры сосны, созданные на водно-ледниковых среднечетвертичных песках, за 70 лет синтезировали всего лишь 91,6 т/га органического вещества. В его структуре домини-

Т а б л и ц а 3

Минеральный состав тяжелой фракции флювиогляциальных песков водораздельно-зандрового типа местности (%)**Mineral composition of the heavy fraction of the fluvioglacial sands of watershed and outwash plain terrains (%)**

Минерал	Содержание, %
Рутил	11
Сфен	<1
Циркон	16
Моноцит	—
Дистен	21
Ставролит	14
Турмалин	12
Силлиманит	15
Андалузит	—
Эпидот	1
Роговая обманка	3
Гранат	6

рует надземная масса и, прежде всего, стволы и крупные ветви, которые на длительное время удерживают в себе вещество и связанную с ним энергию [30].

Образовавшийся таким образом лесной ландшафт может существовать только при условии постоянного массообмена между геохимически активным живым веществом и инертным веществом почвообразующих горных пород. Для выполнения подобной работы система должна быть обеспечена энергией. Величина используемой энергии зависит от уровня организации системы: чем она поликомпонентнее, чем сложнее и совершеннее связи внутри нее, тем система устойчивее, биологически продуктивнее и энергетически выгоднее.

Т а б л и ц а 4

Величина органической массы соснового древостоя, т/га
Organic mass value of pine stands, t/ha

Элемент древостоя	Масса надземных органов					Масса корней			Общая масса
	Хвоя (листья)	Ветви		Ствол	Всего	Мелкие	Крупные	Всего	
		мелкие	крупные						
Сосна	3,3	2,1	4,5	51,0	60,9	1,9	22,1	24,0	84,9
Подлесок (раkitник, бересклет)	0,6	0,7	–	1,9	3,2	0,9	–	0,9	4,1
Лесная подстилка	–								1,4
Травы	–								1,2
Общая биомасса насаждения	–								91,6

Т а б л и ц а 5

Химически активная энергия, аккумулированная в насаждении сосны 70-летнего возраста
Chemically active energy accumulated in the 70-year-old pine stands

Элемент древостоя		Запасы энергии, заключенной в фитомассе надземных органов ($\eta \cdot 10^6$)					Запасы энергии, заключенной в фитомассе корней ($\eta \cdot 10^6$)			Общий запас
		Хвоя (листья)	Ветви		Ствол	Всего	Мелкие	Крупные	Всего	
			мелкие	крупные						
Сосна	ккал/га	8,25	5,23	11,25	12,75	152,25	4,75	55,25	60,0	212,25
	кДж	34,65	22,0	47,25	318,75	639,45	19,95	232,05	252,0	891,45
Подлесок (раkit- ник, бересклет)	ккал/га	1,5	1,75	—	4,75	8,0	2,25	—	2,25	10,25
	кДж	6,3	7,35	—	19,95	25,2	9,45	—	9,45	43,05
Лесная подстилка	ккал/га	—	—	—	—	—	—	—	—	3,5
	кДж	—	—	—	—	—	—	—	—	14,7
Травы	ккал/га	—	—	—	—	—	—	—	—	3,0
	кДж	—	—	—	—	—	—	—	—	12,7

О количестве накопленной сосновым насаждением энергии можно судить по данным, приведенным в табл. 5.

Низкая энергообеспеченность, бедность неорганической части ландшафта, одновозрастный и однопорodный состав насаждений, малое количество участвующих в работе системы компонентов, малая комплексность связанных между собой организмов, слабое соответствие среде обитания вызывают постепенную деградацию сосны. В работе [31] также отмечена зависимость устойчивости сосняков в сухой степи от почвенно-гидрологических условий, определяемых сочетанием механического состава почвогрунтов и уровня залегания грунтовых вод.

Практически за 70 лет своего существования бор свежий травяной, сформированный на зандровых песках, аккумулировал в своей фитомассе $962 \cdot 10^6$ кДж/га энергии, из которой на ежегодный прирост расходуется

до $42 \cdot 10^6$ кДж/га, возвращается в ландшафт с опадом $16,8 \cdot 10^6$ кДж/га и расходуется на минерализацию лесной подстилки $15 \cdot 10^6$ кДж/га. Основная часть химически активной энергии все же зафиксирована в стволовой части насаждения. В целом биоэнергетика, увеличиваясь вместе с ростом и развитием насаждений, формирует соответствующий данному ландшафту характер обмена веществ, запускает биологический круговорот, био- и геохимические процессы, формирует почву.

Таким образом, искусственно созданная ландшафтная экосистема, накопившая в живом и мертвом органическом веществе потенциально активную энергию, биофильные химические элементы (C, N, P, K, Ca и др.), постепенно создает гумусовый аккумулятивный горизонт почвенного покрова (табл. 6).

Результаты исследований показывают, что в результате синергии живой и неживой материи сформировалась биокосная энергетическая

Т а б л и ц а 6

Химический состав серых типичных почв**The chemical composition of Haplic Luvisols**

Горизонт	Глубина залегания горизонта, см	Мощность, см	Масса, кг/м ²	Гумус		Углерод		Азот		C:N	Фосфор	Калий
				кг/м ²	%	кг/м ²	%	кг/м ²	%		кг/м ²	
AY1	11	11	149,5	3,95	2,65	2,3	1,53	0,19	0,13	12	0,042	0,04
AY2	20	10	125,1	0,32	0,26	0,19	0,15	0,01	0,01	15	0,08	0,03
AEL	80	60	833,8	0,42	0,06	0,25	0,03	0,07	0,008	4	0,52	0,30
C	200	140	2042,8	0,19	0,01	0,09	0,005	—	—	—	—	—

Т а б л и ц а 7

Физико-химические показатели местообитания бора травяного на флювиогляциальных песках**Physico-chemical indicators of the pine forest on fluvioglacial sands**

Горизонт	pH (KCl)	Содержание, мг/экв на 100 г почвы					Степень насыщенности основаниями, %
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Σ Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	H ⁺ (гидр.)	Емкость катионного обмена	
AY1	4,1	0,30	0,20	0,50	1,46	1,96	26
AY2	4,4	0,70	0,15	0,85	1,28	2,13	40
AEL	4,3	0,25	0,10	0,35	1,13	1,48	24
C	4,7	н. д.	н. д.	н. д.	0,36	н. д.	н. д.

система, в верхнем перегнойно-аккумулятивном горизонте которой накопилось 3,95 кг/м² гумуса, конденсировавшего 84·10⁶ кДж/га кинетической энергии. Во всей остальной двухметровой корнеобитаемой толще в рассеянном состоянии находится еще 0,93 кг/м² органического вещества или 18,9·10⁶ кДж/га химически активной энергии.

В составе гумуса основная доля приходится на углерод (57,7 %). Его количество в верхнем слое составляет 2,3 кг/м², а во всем профиле углерода депонировано 2,84 кг/м², или 28,4 т/га. Соотношение между массой углерода и азота в составе гумуса свидетельствует о его гуматной природе.

Содержание подвижных фосфора и калия свидетельствует о чрезвычайно низкой их концентрации в почвенном растворе и слабой обеспеченности леса основными элементами питания. Общая картина лесорастительного потенциала местообитания водораздельно-зандрового типа местности будет неполная, если не рассмотреть физико-химические показатели данных почв (табл. 7).

При рассмотрении гранулометрического состава литогенной части ландшафта, нами было отмечено очень низкое содержание физической глины (меньше 0,01 мм) в почвообразующих породах и на полное отсутствие в ней илистой

и коллоидной составляющих (меньше 0,001 мм). А именно эта часть ответственна за обменные процессы в ППК. Отмечалось также, что в процессе почвообразования при взаимодействии леса и породы в результате биологического круговорота происходит некоторое накопление тонкодисперсных частиц и формирование начального почвенного профиля по иллювиальному типу.

Результаты исследования показывают, что ППК не насыщен основаниями. Степень насыщенности почв по профилю варьирует от 24 до 40 %. Сумма обменных Ca⁺⁺ и Mg⁺⁺ не выше 0,85 мг/экв на 100 г почвы, а в емкости катионного обмена доминирует водород гидролитической кислотности. Содержание катиона кальция в 1 т породы составляет всего лишь 70 г, а магния — 16 г. Таким образом, подводя итог оценки лесорастительных возможностей водораздельно-зандровых ландшафтов следует отметить, что даже в таких условиях они в состоянии депонировать 28,3 т/га углерода в двухметровой корнеобитаемой толще. Кроме того, биологический компонент единой экосистемы, именуемой бором травяным свежим на рыхлых флювиогляциальных песках водораздела, в результате газообмена и адсорбции диоксида углерода поглощает и удерживает углерод в фитомассе в некотором количестве (табл. 8). При расчетах содержания углерода применяли

Т а б л и ц а 8

**Углерод, депонированный фитомассой сосновых насаждений
водораздельно-зандровых типов местности (т/га)**
Carbon deposited by the pine forest of watershed and outwash plain terrains (t/ha)

Элемент древостоя	Запасы углерода в фитомассе надземных органов					Запасы углерода в фитомассе корней ($\eta \cdot 10^6$)			Общий запас
	Хвоя (листья)	Ветви		Ствол	Всего	Мелкие	Крупные	Всего	
		мелкие	крупные						
Сосна	1,5	0,9	2,25	25,5	30,15	0,95	11,1	12,0	42,2
Подлесок (раkitник, бересклет)	0,3	0,3	–	0,95	1,55	0,45	–	–	2,0
Лесная подстилка	–								0,8
Лесной опад	–								0,7
Травы	–								0,54
Прирост	–								2,0
Общий запас в насаждении	–								48,2

конверсионные коэффициенты, рекомендуемые в Национальном докладе о кадастре антропогенных выбросов парниковых газов из источников и их абсорбции поглотителями за 1990–2022 гг. [32]

Данные табл. 8 показывают, что 1 га изреженного соснового насаждения удерживает 48,2 т углерода, что является достаточно невысоким показателем. Так, по оценкам запасов углерода в лесах России на основе данных первого цикла государственной инвентаризации лесов, средний запас углерода в фитомассе лесостепной зоны составляет $71,2 \pm 1,8$ т/га [33]. Если сравнивать пул органического углерода в растительной биомассе соснового насаждения, то он в 1,7 раза выше, чем в двухметровой корнеобитаемой толще дерново-подбуров. При этом необходимо учитывать, что пул органического углерода почвы значительно более стабилен по сравнению с растительной биомассой [34]. Запасы почвенного углерода в сосновых лесах, формирующихся на почвах легкого гранулометрического состава в таежных и хвойно-широколиственных лесах значительно выше, чем в лесостепной зоне. Так, в почвах сосняков Брянского полесья только в слое 0...50 см было депонировано углерода 47, а в почвах Карельского перешейка — до 116 т/га [35–38]. В дальнейшей работе необходимо оценить сукцессионные изменения в изучаемых типах местности Воронежской нагорной дубравы за 100-летний период роста и развития культур сосны. Важность повторных измерений в лесных экосистемах на одних и тех же пробных площадях, в том числе и с точки зрения оценки углеродного баланса, подчеркивается в работе [37].

Выводы

1. Исходные почвообразующие породы водораздельно-зандровых типов местности Воронежской нагорной дубравы на 96 % состоят из песка, в основном среднезернистого. На долю песчаного алевролита приходится 64,2 кг, а физической глины — 2,7 кг. В результате процесса лесного почвообразования за 70 лет в песчаном местообитании содержание глины возросло в корнеобитаемом двухметровом слое с 2,7 до 36,7 кг/м².

2. В тяжелой фракции флювиогляциальных песков водораздельно-зандрового типа местности преобладают минералы, устойчивые к физико-химическому выветриванию. Общее содержание минералов тяжелых фракций составляет 0,11 %, или 1,1 кг на 1 т породы.

3. Культуры сосны, созданные на водно-ледниковых среднечетвертичных песках, за 70 лет синтезировали 91,6 т/га органического вещества, что соответствует $962 \cdot 10^6$ кДж/га энергии.

4. Искусственно созданная ландшафтная экосистема, накопившая в живом и мертвом органическом веществе потенциально активную энергию, биофильные химические элементы, постепенно создает гумусовый аккумулятивный горизонт почвенного покрова. Депонирование углерода в двухметровой корнеобитаемой толще серых типичных почв составляет 28,3 т/га.

5. Искусственные лесные ландшафты водораздельно-зандровых типов местности лесостепи обладают очень низким лесорастительным потенциалом и близки к опасности разрушения. Их необходимо исследовать, проводить мониторинг и мероприятия по увеличению фитомассы, в том числе за счет увеличения подлеска.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 123102700029-3 «Биогеохимический мониторинг цикла углерода в природных и антропогенных экосистемах Воронежской области в условиях глобального изменения климата (FZUR-2023-0001)».

Список литературы

- [1] Липка О.Н., Корзухин М.Д., Замолотчиков Д.Г. Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата // Лесоведение, 2021. № 5. С. 531–546.
- [2] Рожков В.А., Карпачевский Л.О. Лесной покров России и охрана почв // Почвоведение, 2006. № 10. С. 1157–1164.
- [3] Mensah S., Noulekoun F., Dimobe K., Seifert T., Glele Kakai R. Climate and Soil Effects on Tree Species Diversity and Aboveground Carbon Patterns in Semi-Arid Tree Savannas // Sci. Rep., 2023, no. 13. DOI: 10.1038/s41598-023-38225-3
- [4] Замолотчиков Д.Г., Грабовский В.И., Каганов В.В. Экосистемные услуги и пространственное распределение защитных лесов Российской Федерации // Лесоведение, 2021. № 6. С. 581–592.
- [5] Лукина Н.В., Шанин В.Н., Тебенькова Д.Н. Почвенный углерод и экосистемные услуги лесов // Почвы — стратегический ресурс России: Тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв, Сыктывкар, 10–14 августа 2022 г. Сыктывкар: Изд-во ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2021. С. 547–548.
- [6] Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г., Кракснер Ф., Онучин А.А. Переход к устойчивому управлению лесами России: теоретико-методические предпосылки // Сибирский лесной журнал, 2017. № 6. С. 3–25. DOI 10.15372/SJFS2170601
- [7] Sheshnitsan S., Odnorolov G., Tikhonova E. Influence of Soil Texture on Carbon Stocks in Deciduous and Coniferous Forest Biomass in the Forest-Steppe Zone of Oka–Don Plain // Soil Systems, 2024, v. 8, no. 4, p. 118. DOI 10.3390/soilsystems8040118
- [8] Riestra D., Noellemeyer E., Quiroga A. Soil Texture and Forest Species Condition the Effect of Afforestation on Soil Quality Parameters // Soil Sci., 2012, v. 177, pp. 279–287. DOI 10.1097/SS.0b013e318245d0fe
- [9] Li J., Nie M., Powell J.R., Bissett A., Pendall E. Soil Physico-Chemical Properties Are Critical for Predicting Carbon Storage and Nutrient Availability across Australia // Environ. Res. Lett., 2020. DOI 10.1088/1748-9326/ab9f7e
- [10] Дроздов К.А. Элементарные ландшафты среднерусской лесостепи. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1991. 176 с.
- [11] Горбунов А.С., Быковская О.П. Высотная организация равнинных ландшафтов (на примере Центрального Черноземья России) // Вестник Карагандинского университета. Серия: Биология. Медицина. География, 2021. Т. 104. № 4. С. 122–133. DOI 10.31489/2021BMG4/122-133
- [12] Михно В.Б., Горбунов А.С., Быковская О.П. Генезис и динамика ландшафтных местностей Центрального Черноземья // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2022. № 1. С. 16–27.
- [13] Быковская О.П., Горбунов А.С., Бевз В.Н. Донское оледенение и его унаследованность в современной ландшафтной структуре Центрального Черноземья // Пути эволюционной географии: Материалы Всерос. науч. конф., посвященной памяти профессора А.А. Величко, Москва, 23–25 ноября 2016 г. М.: Изд-во Института географии РАН, 2016. С. 58–63.
- [14] Оdnоралов Г.А., Тихонова Е.Н., Трегубов О.В., Голядкина И.В. Литогенная основа продуктивности Воронежской нагорной дубравы // Лесотехнический журнал, 2017. Т. 7. № 2(26). С. 26–34.
- [15] Методические рекомендации наземной оценки количественных и качественных характеристик лесов на сети тестовых полигонов в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИПГЗ) в части разработки системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах. М.: Рослесинфорг, 2023. 42 с.
- [16] Иркворский Э.Р., Оdnоралов Г.А. Влияние биогеогеографических зон на состояние дубовых насаждений // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2013. № 92. С. 265–275.
- [17] Оdnоралов Г.А., Тихонова Е.Н., Голядкина И.В., Малинина Т.А. Оценка биологической продуктивности лесной среды в условиях урбанизации (на примере Воронежской нагорной дубравы) // ИзВУЗ Лесной журнал, 2020. № 2(374). С. 60–72.
- [18] Фомин В.В., Иванова Н.С., Залесов С.В., Попов А.С., Михайлович А.П. Лесные типологии в Российской Федерации // ИзВУЗ Лесной журнал, 2023. № 6. С. 9–30.
- [19] Fomin V.V., Zalesov S.V., Popov A.S., Mikhailovich A.P. Historical Avenues of Research in Russian Forest Typology: Ecological, Phytocoenotic, Genetic, and Dynamic Classifications // Can. J. For. Res., 2017, v. 47, pp. 849–860 DOI: 10.1139/cjfr-2017-0011
- [20] Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
- [21] Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- [22] Мировая реферативная база почвенных ресурсов. Междунар. система почв. классификации для диагностики почв и составления легенд почв. карт: пер. с англ. С. Фортовой, науч. ред. пер. М.И. Герасимова, П.В. Красильникова. М.: МАКС ПРЕСС, 2024. 248 с.
<https://doi.org/10.29003/m4174.978-5-317-07235-3>
- [23] Неведров Н.П., Саржанов Д.А., Проценко Е.П., Васенев И.И. Пространственно-временная изменчивость эмиссии CO₂ из альфегумусовых песчаных почв лесостепной зоны на примере г. Курска // Почвоведение, 2022. № 11. С. 1366–1377.
- [24] Diers M., Weigel R., Culmsee H., Leuschner C. Soil Carbon and Nutrient Stocks under Scots Pine Plan-

- tations in Comparison to European Beech Forests: A Paired-Plot Study across Forests with Different Management History and Precipitation Regimes // *For. Ecosyst.*, 2021, v. 8, no. 47. DOI:10.1186/s40663-021-00330-y
- [25] Вараксин Г.С., Поляков В.И., Люминарская М.А. Биологическая продуктивность сосны обыкновенной в Средней Сибири // *Лесоведение*, 2008. № 3. С. 14–19.
- [26] Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Пряжников А.А., Замолотчиков Д.Г. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // *Лесоведение*, 1993. № 5. С. 3–10.
- [27] Уткин А.И., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И. Опыт мониторинга биологической продуктивности искусственных насаждений // *Лесоведение*, 1996. № 2. С. 13–29.
- [28] Одноралов Г.А., Голядкина И.В., Тихонова Е.Н. Лесорастительный потенциал задрово-водораздельных ландшафтов Воронежской нагорной дубравы // Биологическое разнообразие и биоресурсы степной зоны в условиях изменяющегося климата: сб. материалов Междунар. науч. конф., посвященной 95-летию Ботанического сада Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, 24–29 мая 2022 г. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2022. С. 703–708.
- [29] Рысин Л.П., Савельева Л.И. Сосновые леса России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 289 с.
- [30] Гульбе Я.И., Гульбе А.Я., Ермолова Л.С., Гульбе Т.А. Исследования по биологической продуктивности лесов в Институте лесоведения РАН // *Лесохозяйственная информация*, 2019. № 4. С. 7–22.
- [31] Усольцев В.А., Колтунова А.И. О биологической продуктивности и устойчивости сосны на экотоне «лесостепь» // *Степи Северной Евразии: Материалы VI Междунар. симп. и VIII Междунар. школы-сем. молодых ученых «Геоэкологические проблемы степных регионов»*, Оренбург, 18–23 июня 2012 г. Оренбург: ИПК Газпромпечат, 2012. С. 754–762.
- [32] Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых монреальским протоколом за 1990–2021 гг.: в 2 ч. Ч. 1. М.: Изд-во Института глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, 2024. 479 с.
- [33] Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Золина Т.А., Селезнев А.А. Запасы углерода в фитомассе лесов России: новая количественная оценка на основе данных первого цикла государственной инвентаризации лесов // *Лесохозяйственная информация*, 2024. № 1. С. 29–55.
- [34] Чернова О.В., Рыжова И.М., Подвезенная М.А. Изменение величины и структуры запасов углерода в регионах южной тайги и лесостепи Европейской России за исторический период // *Живые и биокосные системы*, 2017. № 19. DOI 10.18522/2308-9709-2017-19-2
- [35] Кузнецова А.И., Лукина Н.В., Горнов А.В. Запасы углерода в песчаных почвах сосновых лесов на западе России // *Почвоведение*, 2020. № 8. С. 959–969.
- [36] Морковина С.С., Харченко Н.Н., Шешнищан С.С., Панявина Е.А., Иванова А.В., Водолажский А.И. Эколого-экономическая оценка результативности комплекса лесохозяйственных практик в вопросах поддержания углеродного баланса // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2024. Т. 28. № 5. С. 104–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-104-117
- [37] Nevedrov N., Fomina M., Smitskaya G. Soil successions of Carbic Podzols (Arenic) under Scots Pine plantations in Kursk region // *Environment, Energy and Earth Sciences Web of Conferences. International Scientific Forum on Sustainable Development and Innovation (WFSDI 2021)*, 2021, v. 295. DOI 10.1051/e3sconf/202129504001
- [38] Коротков С.А., Захаров В.П., Лежнев Д.В., Шматков И.Н. Особенности депонирования углерода лесными культурами на примере восточной части Вологодской области // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2025. Т. 29. № 3. С. 27–39. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-27-39

Сведения об авторах

Тихонова Елена Николаевна✉ — канд. биол. наук, доцент, зав. кафедрой «Ландшафтная архитектура и почвоведение», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», tichonova-9@mail.ru

Одноралов Геннадий Алексеевич — канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», kafedra.laip@inbox.ru

Трещевская Элла Игоревна — д-р с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ehllt@yandex.ru

Харченко Николай Николаевич — д-р биол. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», forest.vrn@gmail.com

Голядкина Инна Вячеславовна — канд. с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», golyadkina@post.vgltu.ru

Поступила в редакцию 13.05.2025.

Одобрено после рецензирования 16.07.2025.

Принята к публикации 04.08.2025.

BIOLOGICAL PRODUCTIVITY PREDICTORS OF WATERSHED AND OUTWASH PLAIN TERRAINS IN VORONEZH UPHILL OAKERY

E.N. Tikhonova✉, G.A. Odnoralov, E.I. Treschevskaya,
N.N. Kharchenko, I.V. Golyadkina

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov (VSFTU), 8, Timiryazeva st.,
394087, Voronezh, Russia

tikhonova-9@mail.ru

The article studies the trophogenic potential of soil-forming rocks and soils of watershed and outwash plain terrains in Voronezh upland oak forest as an integral component of the urban forested area. It was established that the original soil-forming rocks of the studied types of the terrain are composed of 96 % sand, mostly of medium grain. The share of siltstone is 64,2 kg, and silt-and-clay — 2,7 kg. As a result, forest soil formation in the sand habitat, which lasted 70 years, the amount of clay in the rooting depth layer (2 m) increased from 2,7 to 36,7 kg/m². In the heavy fraction of the fluvioglacial sands of the watershed and outwash plain terrains, minerals that are resistant to physico-chemical weathering are predominant. The total mineral content of heavy fractions is 0,11 %, or 1,1 kg per ton of rock. *Pinus silvestris* L. stands created on middle-quaternary fluvio-glacial sands synthesized 91,6 t/ha of organic matter over 70 years, which corresponds to 962 106 kJ/ha of energy. An artificially created landscape ecosystem, accumulating potentially active energy and biochemical elements in living and dead organic matter, is gradually creating a humus accumulation horizon of soil cover. Carbon deposition in the rooting depth layer is 28,3 t/ha. The artificially created forest landscapes of watershed and outwash plain terrains of forest- steppe have very low forest potential and are close to destruction, however they have fulfilled their tasks and require further research, monitoring and increasing the biomass, including increasing the undergrowth.

Keywords: Central Forest Steppe, Voronezh upland oak forest, *Pinus silvestris* L., fluvioglacial sands, watershed and outwash plain landscapes

Suggested citation: Tikhonova Ye.N., Odnoralov G.A., Treshchevskaya E.I., Kharchenko N.N., Golyadkina I.V. *Prediktory biologicheskoy produktivnosti vodorazdel'no-zandrovykh tipov mestnosti Voronezhskoy nagornoj dubravy* [Biological productivity predictors of watershed and outwash plain terrains in Voronezh uphill oakery]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 35–47.
DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-35-47

References

- [1] Lipka O.N., Korzukhin M.D., Zamolodchikov D.G. *Rol' lesov v adaptatsii prirodnikh sistem k izmeneniyam klimata* [The role of forests in the adaptation of natural systems to climate change]. *Lesovedeniye* [Forest Science], 2021, no. 5, pp. 531–546.
- [2] Rozhkov V.A., Karpachevskiy L.O. *Lesnoy pokrov Rossii i okhrana pochv* [Forest cover of Russia and soil protection]. *Pochvovedeniye* [Soil Science], 2006, no. 10, pp. 1157–1164.
- [3] Mensah S., Noulekoun F., Dimobe K., Seifert T., Glele Kakai R. Climate and Soil Effects on Tree Species Diversity and Aboveground Carbon Patterns in Semi-Arid Tree Savannas. *Sci. Rep.*, 2023, no. 13. DOI: 10.1038/s41598-023-38225-3
- [4] Zamolodchikov D.G., Grabovskiy V.I., Kaganov V.V. *Ekosistemnyye uslugi i prostranstvennoye raspredeleniye zashchitnykh lesov Rossiyskoy Federatsii* [Ecosystem services and spatial distribution of protective forests of the Russian Federation]. *Lesovedeniye* [Forest Science], 2021, no. 6, pp. 581–592.
- [5] Lukina N.V., Shanin V.N., Teben'kova D.N. *Pochvennyy uglerod i ekosistemnyye uslugi lesov* [Soil carbon and ecosystem services of forests]. *Pochvy — strategicheskii resurs Rossii: Tezisy dokladov VIII s'yezda Obshchestva pochvovedov im. V.V. Dokuchayeva i Shkoly molodykh uchenykh po morfologii i klassifikatsii pochv* [Soils are a strategic resource of Russia: Abstracts of the VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society and the School of Young Scientists on Soil Morphology and Classification], Syktyvkar, August 10–14, 2022. Syktyvkar: IB FRC Komi SC UB RAS, 2021, pp. 547–548.
- [6] Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Kraksner F., Onuchin A.A. *Perekhod k ustoychivomu upravleniyu lesami Rossii: teoretiko-metodicheskiye predposylki* [Transition to sustainable forest management in Russia: theoretical and methodological prerequisites]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest J.], 2017, no. 6, pp. 3–25.
- [7] Sheshnitsan S., Odnoralov G., Tikhonova E. Influence of Soil Texture on Carbon Stocks in Deciduous and Coniferous Forest Biomass in the Forest-Steppe Zone of Oka–Don Plain. *Soil Systems*, 2024, v. 8, no. 4, p. 118. DOI 10.3390/soilsystems8040118
- [8] Riestra D., Noellemeyer E., Quiroga A. Soil Texture and Forest Species Condition the Effect of Afforestation on Soil Quality Parameters. *Soil Sci.*, 2012, v. 177, pp. 279–287. DOI 10.1097/SS.0b013e318245d0fe
- [9] Li J., Nie M., Powell J.R., Bissett A., Pendall E. Soil Physico-Chemical Properties Are Critical for Predicting Carbon Storage and Nutrient Availability across Australia. *Environ. Res. Lett.*, 2020. DOI 10.1088/1748-9326/ab9f7e
- [10] Drozdov K.A. *Elementarnyye landshafty srednerusskoy lesostepi* [Elementary landscapes of the middle Russian forest steppe]. Voronezh: VSU, 1991, 176 p.
- [11] Gorbunov A.S., Bykovskaya O.P. *Vysotnaya organizatsiya ravninnykh landshaftov (na primere Tsentral'nogo Chernozem'ya Rossii)* [Altitudinal organization of plain landscapes (on the example of the Central black earth region of

- Russia)]. Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Meditsina. Geografiya [Bulletin of the Karaganda university. Biology. Medicine. Geography series.], 2021, v. 104, no. 4, pp. 122–133. DOI 10.31489/2021BMG4/122-133
- [12] Mikhno V.B., Gorbunov A.S., Bykovskaya O.P. *Genesis i dinamika landshaftnykh mestnostey Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Genesis and dynamics of landscape areas in the Central black soil region]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya [Proceedings of Voronezh state university. Series: geography. geoeology], 2022, no. 1, pp. 16–27. DOI 10.17308/geo.2022.1/9082
- [13] Bykovskaya O.P., Gorbunov A.S., Bezv V.N. *Donskoye oledeneniye i yego unasledovannost' v sovremennoy landshaftnoy strukture Tsentral'nogo Chernozem'ya* [Don glaciation and its inheritance in the modern landscape structure of the Central Black Earth Region]. Puti evolyutsionnoy geografii: mater. Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii posvyashchennoy pamyati professora A.A. Velichko [Paths of evolutionary geography: Proc. of the All-Russian scientific conference dedicated to the memory of Professor A.A. Velichko], Moscow, November 23–25, 2016. Moscow: Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, 2016, pp. 58–63.
- [14] Odnoralov G.A., Tikhonova Ye.N., Tregubov O.V., Golyadkina I.V. *Litogennaya osnova produktivnosti Voronezhskoy nagornoy dubravy* [Lithogene basis of productivity of Voronezh highland oak forest]. Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry engineering journal], 2017, v. 7, no. 2(26), pp. 26–34. DOI 10.12737/article_5967e8e01143e9.03067340
- [15] *Metodicheskiye rekomendatsii nazemnoy otsenki kolichestvennykh i kachestvennykh kharakteristik lesov na seti testovykh poligonov v ramkakh realizatsii vazhneyshogo innovatsionnogo proyekta gosudarstvennogo znacheniya «Yedinaya natsional'naya sistema monitoringa klimaticheskikh aktivnykh veshchestv» (VIPGZ) v chasti razrabotki sistemy nazemnogo i distantsionnogo monitoringa pulov ugleroda i potokov parnikovykh gazov na territorii Rossiyskoy Federatsii, sozdaniya sistemy ucheta dannykh o potokakh klimaticheskikh aktivnykh veshchestv i byudzhet ugleroda v lesakh i drugikh nazemnykh ekologicheskikh sistemakh* [Methodological recommendations for ground-based assessment of quantitative and qualitative characteristics of forests on a network of test sites within the framework of the implementation of the most important innovative project of national importance «Unified National System for Monitoring Climate-Active Substances» (UNMSCAS) in terms of developing a system for ground-based and remote monitoring of carbon pools and greenhouse gas flows on the territory of the Russian Federation, creating a system for accounting for data on the flows of climate-active substances and the carbon budget in forests and other terrestrial ecological systems]. Moscow: Roslesinforg, 2023, 42 p.
- [16] Irkovskiy E.R., Odnoralov G.A. *Vliyaniye biogeogorizontov na sostoyaniye dubovykh nasazhdeniy* [Influence of the biogeohorizons on the condition of oak plantings]. Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Polythematic online scientific journal of Kuban state agrarian university], 2013, no. 92, pp. 265–275.
- [17] Odnoralov G.A., Tikhonova Ye.N., Golyadkina I.V., Malinina T.A. *Otsenka biologicheskoy produktivnosti lesnoy sredy v usloviyakh urbanizatsii (na primere Voronezhskoy nagornoy dubravy)* [Assessment of urban forest biological productivity (case study of the Voronezh upland oak forest)]. Russian Forestry J., 2020, no. 2(374), pp. 60–72.
- [18] Fomin V.V., Ivanova N.S., Zalesov S.V., Popov A.S., Mikhaylovich A.P. *Lesnyye tipologii v Rossiyskoy Federatsii* [Forest typologies in the Russian federation]. Russian Forestry J., 2023, no. 6, pp. 9–30.
- [19] Fomin V.V., Zalesov S.V., Popov A.S., Mikhailovich A.P. Historical Avenues of Research in Russian Forest Typology: Ecological, Phytocoenotic, Genetic, and Dynamic Classifications. Can. J. For. Res., 2017, v. 47, pp. 849–860 DOI:10.1139/cjfr-2017-0011
- [20] *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils of the USSR]. Moscow: Kolos, 1977, 223 p.
- [21] Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk: Oykumena, 2004, 342 p.
- [22] Mirovaya referativnaya baza pochvennykh resursov. Mezhdunarodnaya sistema pochvennoy klassifikatsii dlya diagnostiki pochv i sostavleniya legend pochvennykh kart [World abstract database of soil resources. International system of soil classification for soil diagnostics and compilation of soil map legends]. Moscow: MAKSPress, 2024, 248 p. <https://doi.org/10.29003/m4174.978-5-317-07235-3>
- [23] Nededrov N.P., Sarzhanov D.A., Protsenko Ye.P., Vasenev I.I. *Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' emissii SO₂ iz al'fegumusovykh peschanykh pochv lesostepnoy zony na primere g. Kurska* [Spatial and temporal dynamics of carbon dioxide emission from al-fe-humus sandy soils in the Forest-steppe zone]. Pochvovedeniye [Soil Science], 2022, no. 11, pp. 1366–1377. DOI 10.31857/S0032180X22110090
- [24] Diers M., Weigel R., Culmsee H., Leuschner C. Soil Carbon and Nutrient Stocks under Scots Pine Plantations in Comparison to European Beech Forests: A Paired-Plot Study across Forests with Different Management History and Precipitation Regimes // For. Ecosyst., 2021, v. 8, no. 47. DOI:10.1186/s40663-021-00330-y
- [25] Varaksin G.S., Polyakov V.I., Lyuminarskaya M.A. *Biologicheskaya produktivnost' sosny obyknovennoy v Sredney Sibiri* [Biological productivity of the common pine in Middle Siberia]. Lesovedenie [Forest Science], 2008, no. 3, pp. 14–19.
- [26] Isaev A.S., Korovin G.N., Utkin A.I., Pryazhnikov A.A., Zamolodchikov D.G. *Ocenka zasposov i godichnogo deponirovaniya ugleroda v fitomasse lesnykh ekosistem Rossii* [Assessment of carbon reserves and annual deposition in Russian forest ecosystems phytomass]. Lesovedenie [Forest Science], 1993, no. 5, pp. 3–10.
- [27] Utkin A.I., Gul'be T.A., Gul'be YA.I. *Opyt monitoringa biologicheskoy produktivnosti iskusstvennykh nasazhdeniy* [Experience in monitoring the biological productivity of artificial plantations]. Lesovedenie [Forest Science], 1996, no. 2, pp. 13–29.
- [28] Odnoralov G.A., Golyadkina I.V., Tikhonova Ye.N. *Lesorastitel'nyy potentsial zandrovo-vodorazdel'nykh landshaftov Voronezhskoy nagornoy dubravy* [Forest-growing potential of the watershed and outwash plain terrains of Voronezh Upland oak forest]. Biologicheskoye raznoobrazie i biorekursy stepnoy zony v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata: sb. materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 95-letiyu Botanicheskogo sada Yuzhnogo federal'nogo universiteta [Biological diversity and bioreources of the steppe zone in a changing climate: collection of materials from the International scientific conference dedicated to the 95th anniversary of the Botanical Garden of the Southern Federal University], Rostov-on-Don, May 24–29, 2022. Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2022, pp. 703–708.

- [29] Rysin L.P., Savel'eva L.I. *Sosnovye lesa Rossii* [Russian Pine Forests]. Moscow: KMK Scientific Press, 2008, 289 p.
- [30] Gul'be YA.I., Gul'be A.YA., Yermolova L.S., Gul'be T.A. *Issledovaniya po biologicheskoy produktivnosti lesov v Institute lesovedeniya RAN* [Research on biological productivity of forests in the Institute of forest science RAS]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2019, no. 4, pp. 7–22.
- [31] Usol'tsev V.A., Koltunova A.I. *O biologicheskoy produktivnosti i ustoychivosti sosny na ekotone «lesostep'»* [About the biological productivity and sustainability of pine on ecotone «forest steppe»]. *Stepi Severnoy Yevrazii: mater. VI Mezhdunarodnogo simpoziuma i VIII Mezhdunarodnoy shkoly-seminara molodykh uchenykh «Geoekologicheskiye problemy stepnykh regionov»* [Steppes of Northern Eurasia: Proc. of the VI International Symposium and VIII International School-Seminar for Young Scientists «Geoecological Problems of Steppe Regions»], Orenburg, June 18–23, 2012. Orenburg: IPC Gazprompechat, 2012, pp. 754–762.
- [32] *Natsional'nyy doklad o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorptsii poglotitelyami parnikovykh gazov ne reguliruyemykh monreal'skim protokolom za 1990–2021 gg.* [National report on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for 1990–2021], in 2 parts. Part 1. Moscow: Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, 2024, 479 p.
- [33] Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Zolina T.A., Seleznev A.A. *Zapasy ugleroda v fitomasse lesov Rossii: novaya kolichestvennaya otsenka na osnove dannykh pervogo tsikla gosudarstvennoy inventarizatsii lesov* [Carbon stock in living biomass of Russian forests: new quantification based on data from the first cycle of the State forest inventory]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2024, no. 1, pp. 29–55.
- [34] Chernova O.V., Ryzhova I.M., Podvezennaya M.A. *Izmeneniye velichiny i struktury zapasov ugleroda v regionakh yuzhnoy taygi i lesostepi Yevropeyskoy Rossii za istoricheskiy period* [Changes of Organic Carbon Pools in the Southern Taiga and Forest-Steppe of European Russia during the Historical Period]. *Zhivyye i biokosnyye sistemy* [Live and bio-abiotic systems], 2017, no. 19. DOI 10.18522/2308-9709-2017-19-2, 2017.
- [35] Kuznetsova A.I., Lukina N.V., Gornov A.V. *Zapasy ugleroda v peschanykh pochvakh sosnovykh lesov na zapade Rossii* [Carbon Stock in Sandy Soils of Pine Forests in the West of Russia]. *Pochvovedeniye* [Soil Science], 2020, no. 8, pp. 959–969.
- [36] Morkovina S.S., Kharchenko N.N., Sheshnitsian S.S., Panyavina E.A., Ivanova A.V., Vodolazhskiy A.I. *Ekologo-ekonomicheskaya otsenka rezul'tativnosti kompleksa lesokhozyaystvennykh praktik v voprosakh podderzhaniya uglerodnogo balansa* [Ecological and economic assessment of forestry practices efficiency in maintaining carbon balance]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 5, pp. 104–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-104-117
- [37] Nevedrov N., Fomina M., Smitskaya G. Soil successions of Carbic Podzols (Arenic) under Scots Pine plantations in Kursk region. Environment, Energy and Earth Sciences Web of Conferences. International Scientific Forum on Sustainable Development and Innovation (WFSDI 2021), 2021, v. 295. DOI 10.1051/e3sconf/202129504001
- [38] Korotkov S.A., Zakharov V.P., Lezhnev D.V., Shmatkov I.N. *Osobennosti deponirovaniya ugleroda lesnymi kul'turami na primere vostochnoy chasti Vologodskoy oblasti* [Carbon sequestration by forest crops in eastern part of Vologda region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 27–39. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-27-39

Publication was prepared as part of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation 123102700029-3 «Biogeochemical monitoring of carbon cycle in natural and anthropogenic ecosystems of the Voronezh region under conditions of global climate change (FZUR-2023-0001)».

Authors' information

Tikhonova Elena Nikolaevna✉ — Cand. Sci (Biol.), Head of Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, tichonova-9@mail.ru

Odnoralov Gennadiy Alekseevich — Cand. Sci (Biol.), Associate Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, kafedra.laip@inbox.ru

Treshchevskaya Ella Igorevna — Dr. Sci (Agric.), Professor of Silviculture, Selection and Forest melioration Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ehllt@yandex.ru

Kharchenko Nikolay Nikolaevich — Dr. Sci. (Biol.), Professor of Ecology, forest protection and forest hunting Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, forest.vrn@gmail.com

Golyadkina Inna Vyacheslavovna — Cand. Sci (Agric.), Associate Professor, Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, golyadkina@post.vglu.ru

Received 13.05.2025.

Approved after review 16.07.2025.

Accepted for publication 04.08.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest