

4.1.6. – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные науки)

УДК: 631.92:630*266

DOI: 10.34736/FNC.2023.123.4.008.52-59

Аккумуляция углерода в почве и фитомассе защитных лесных насаждений юга России

Вениамин Михайлович Кретинин, д.с.х.н., ORCID: 0000-0001-6341-0478

Александр Валентинович Кошелев[✉], e-mail: alexkosh@mail.ru, к.с.х.н., ORCID: 0000-0003-4048-7549

Мария Олеговна Шатровская, аспирант, ORCID: 0000-0002-3202-4184

Варвара Александровна Веденева, к. с.-х. н., ORCID: 0000-0002-6623-6062

Юстина Николаевна Поташкина, аспирант, ORCID: 0000-0001-8846-2354

лаборатория агротехнологий и систем земледелия в агролесоландшафтах

«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения

Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: info@vfanc.ru,

400062, пр. Университетский, 97, Волгоград, Россия

Аннотация. В статье представлены ретроспективные данные, полученные под руководством доктора с.-х. наук, профессора Кретинина В.М. с сотрудниками лаборатории почвоведения ФНЦ агроэкологии РАН (бывший ВНИАЛМИ) за 50-ти летний период исследований влияния ЗЛН (защитных лесных насаждений) на почву под ними и на прилегающие к ним территории. Актуальность исследовательской работы обусловлена поиском снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду и сопряженностью с реализацией государственной научно-технической политики в области экологического развития РФ и климатических изменений. Объекты исследования располагались в основном на опытной сети ФНЦ агроэкологии РАН и в агролесоландшафтах с завершёнными системами ЗЛН в следующих природных зонах: лесостепная, степная, сухостепная, полупустынная, пустынная и в полизональных регионах. Результатом исследования стал расчёт аккумуляции углерода в фитомассе органов деревьев и мортмассе (лесная подстилка) ЗЛН агролесоландшафтов по природным зонам РФ в конце XX в. В результате выполненного исследования было установлено, что наибольшее количество углерода в ЗЛН аккумулировано на тестовых полигонах в лесостепной (42,2%) и степной зонах (40,5%), наименьшее в пустынной (3,4%) и полупустынной (0,07%). Основная аккумуляция углерода происходит в стволе деревьев. Участие травянистого покрова в общей фитомассе в защитных лесных насаждениях увеличивается в направлении с севера на юг и составляет от 1,1 до 28,3%.

Ключевые слова: аккумуляция углерода, агролесоландшафты, защитные лесные насаждения, лесомелиорированные почвы, фитомасса.

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

Цитирование. Кретинин В.М., Кошелев А.В., Шатровская М.О., Веденева В.А., Поташкина Ю.Н. Аккумуляция углерода в почве и фитомассе защитных лесных насаждений юга России // Научно-агрономический журнал. 2023. 4(123). С. 52-59. DOI: 10.34736/FNC.2023.123.4.008.52-59

Поступила в редакцию: 02.11.2023

Принята к печати: 07.12.2023

Введение. Техногенная трансформация окружающей среды в последние годы привлекает все больше внимания. Так, в связи с увеличением количества выбросов углекислого газа и, как следствие, потеплением нашей планеты, важно понимать усиливающиеся глобальные и региональные изменения климата [17].

Ряд биоклиматических зон Российской Федерации, входящих в аридный пояс, подвержены таким негативным природным явлениям, как засуха, дефляция, засоление, эрозия почв и опустынивание [14]. К аридному поясу относятся степная, сухостепная, полупустынная и частично пустынная.

Парижское соглашение, заключенное в 2015 году, устанавливает рамки всемирного масштаба для предотвращения негативных изменений климата

[15]. Данное соглашение призвано ограничить рост глобального потепления и сократить его до 1,5°C. В основе Парижских соглашений лежат принципы: долгосрочности, прозрачности, амбициозности, солидарности. Данные принципы стали катализатором современной международной климатической повестки, поддерживаемой 194 странами мира. Предполагается, что к 2050 году удастся сократить выбросы парниковых газов до нуля [2].

Российской Федерацией 23 сентября 2019 года было подписано и впоследствии ратифицировано Парижское соглашение по климату. За ратификацией соглашения последовала масштабная и упорная работа, вылившаяся в создание целой сети карбоновых полигонов по стране. Их создание направлено в первую очередь на реализацию мер по

контролю над климатически активными газами с привлечением университетов и научно-исследовательских институтов [4; 5].

Защитные лесные насаждения являются основным структурным элементом агроландшафтов [3; 12]. Они позволяют выращивать сельскохозяйственную продукцию с соблюдением научно обоснованных технологий, оптимизировать водный, тепловой и газовый обмен на территории, подавляя деструктивные процессы, ослабляя при этом вредное воздействие засух и суховеев, снижая разрушительную силу пыльных и песчаных бурь [11].

«Сталинский план» преобразования природы от 1948 г., реализованный в степной и сухостепной зонах страны являлся национальным лесоклиматическим проектом (агролесомелиоративным), который включал также и элементы карбонового земледелия (диверсификация севооборотов (травопольные), почвопокровные культуры и т.д.) [18; 19]. Он не был реализован до конца по объективным причинам, но позволил заложить мощный фундамент для решения вопросов поглощения и накопления углерода.

Изучение аккумуляции углерода в лесных экосистемах с детальной характеристикой его накопления – фундаментальная научная проблема [13].

Цель исследования – провести оценку аккумуляции углерода в почве и фитомассе защитных лесных насаждений юга России на основе имеющихся ретроспективных данных для получения базовой линии мониторинговых исследований пулов и потоков климатически активных веществ.

Материалы и методы. Учеными ФНЦ агроэкологии РАН разрабатывались и впоследствии активно применялись методы изучения секвестрирования CO₂ на агролесомелиорированных

территориях Российской Федерации. Исследования велись в сети опытных станций ФНЦ агроэкологии РАН в степной, сухостепной, полупустынной и частично пустынной биоклиматических зонах с 1960 по 2007 гг. (рис. 1).

Разработанная методология базируется на эколого-энерго-экономической оценке и учитывает следующие аспекты [8]:

- при экологической оценке агролесомелиорации почв особое внимание обращается на их гетерогенность, связанную не только с разнообразием элементов агроландшафта, биогеоценозов, почвенного покрова, но и с неоднородностью мелиоративного влияния ЗЛН;

- энергетическая оценка мелиорации почв, продуктивности фитомассы по содержанию углерода, питательных элементов определяется по затратам солнечной и тепловой энергии на производство этих веществ;

- экономическая оценка изменения содержания питательных элементов в почве и фитомассе рассчитывается по рыночной стоимости удобрений, а углерода – по стоимости производства энергии.

Представленные тестовые полигоны включали системы защитных лесных насаждений, характеризующиеся разной возрастной структурой, породным составом, конструкцией. С изменением лесорастительных условий с севера на юг изменяется видовой состав лесных полос по древесным породам и ростовые показатели в сторону уменьшения, в такой же последовательности происходит снижение долговечности самих насаждений.

Исходя из материалов исследований Кретинина В.М. [8], количество ПП составляет 107 шт. В основном исследования на пробных площадях проводились однократно, и проследить динамику углерода

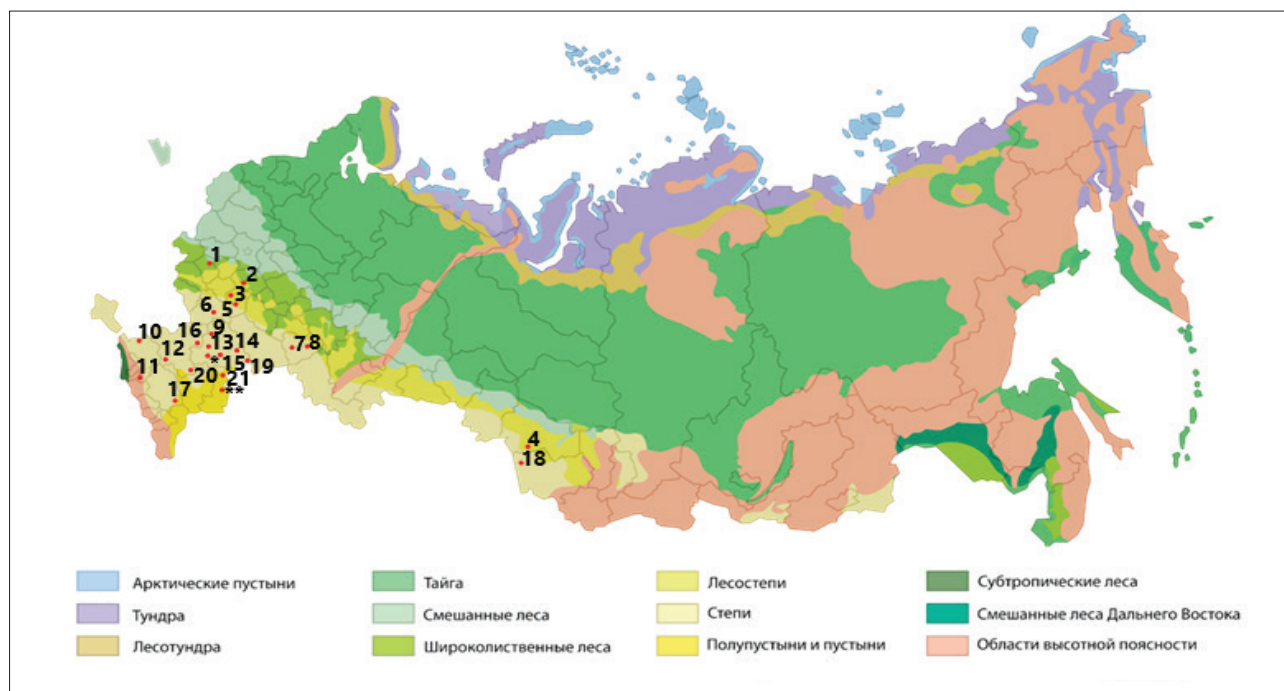


Рисунок 1. Картосхема расположения тестовых полигонов

и содержания гумуса можно только в сравнении с лесомелиорированной территорией (без лесных полос). Исследования проводились в лесостепной, степной, сухостепной, полупустынной и пустынной природных зонах.

К лесостепной зоне относятся земли: ФГУП ОПХ «Новосильское» Мценского района Орловской области; колхоз «Россия» Рыбновского района Рязанской области; колхоз «им. Коминтерна» Мичуринского района Тамбовской области; колхоз «Сибирь» Краснозерского района Новосибирской области; Лесничество «Лысогорское» Тамбовского района Тамбовской области.

К степной зоне относятся: ГНУ Каменно-Степное опытное лесничество Таловского района Воронежской области; ФГБНУ «Поволжская АГЛЮС» Дубово-Уметского района Самарской области; бывший колхоз «Дёминский» Новоаннинского района Волгоградской области; бывший колхоз «Победа» Каневского района Краснодарского края; Бывший колхоз «им. Ленина» Новокубанского района Ставропольского края; бывший совхоз «Гигант» Сальского района Ростовской области

К сухостепной зоне относятся: ФГБНУ Клетский филиал ВНИАЛМИ Клетского района Волгоградской области; бывший колхоз «Россия» Николаевского района Волгоградской области; бывший колхоз «Ленинский путь» Дубовского района Волгоградской области; ФГУП «Качалинское» Иловлинского района Волгоградской области; ФГУП «Обливское» Обливского района Ростовской области; лесхоз «Ачикулакский» Нефтекумского района Ставропольского края; бывший совхоз «Кулундинский» Кулундинского района Алтайского края.

К полупустынной зоне относятся: ФГУП «Волгоградское» г. Волгоград; Джаныбекский стационар Института лесоведения РАН Палласовского района Волгоградской области; Заветенский опорный пункт ВНИАЛМИ Заветинского района Ростовской области;

К пустынной зоне относятся: Богдинская НИА-ГЛЮС (участок «Церковный», участок «Придорожный») Харабалинского района Астраханской области; бывший колхоз «Родина» Харабалинского района Астраханской области.

Аккумуляцию углерода определяли в зональных лесомелиорированных почвах под ЗЛН по методике Кретинина В.М. (2006). Площади ЗЛН и агролесомелиорированных агроценозов были приведены по учету 1995 г. [20].

Отбор почвенных образцов осуществлялся в ЗЛН и на расстоянии от 0 до 4Н (Н – высота ЗЛН). Помимо этого, отбирался смешанный образец, состоявший из 3-5 индивидуальных проб. При определении содержания углерода необходимо было учитывать ряд параметров, в числе которых тип ЗЛН, их возраст и таксономическая группа почв.

Метод Тюрина в модификации Никитина был выбран в качестве наиболее точного доступного и удобного способа определения содержания органического вещества в почвенных образцах в лабо-

раторных исследованиях. При пересчете на запас углерода использовался поправочный коэффициент, равный 0,58 (содержание углерода в органическом веществе почв равно 58%). Для почв лесостепной, степной и сухостепной зон содержание углерода определялось в слое 0-100 см, в почвах полупустынной и пустынной зон определялось в слое 0-50 см.

Запас углерода ($P_{\text{общ}}$) в почве рассчитывали согласно формуле:

$$P_{\text{общ}} = DHP_1,$$

где D – объемная масса сухой почвы, г/см³;

H – мощность слоя, см;

P_1 – содержание углерода, %.

Применяя в работе методику изучения круговорота веществ, определяли содержание фитомассы и лесной подстилки [9]. Возраст лесных полос, в которых проводились исследования, варьировал от 15 до 53 лет.

Исходя из продолжительности жизни древесных видов по природным зонам определены возрасты моделей: 50 лет в лесостепной и степной; 40 лет в сухостепной, 30 лет в полупустынной и 15 лет в пустынной. Полезащитные лесные полосы по составу главных пород в лесостепной зоне – кленово-ясеневые, в степной – березово-дубово-кленовые, в сухостепной, полупустынной и пустынной зонах – вязовые. Лесные полосы в лесостепной, степной и сухостепной зонах – многорядные (5-7 рядов), в полупустынной и пустынной зонах – малорядные (2-3 ряда). Высота деревьев заметно понижалась с севера на юг с 14,5 м до 4,2 м. В сухостепной зоне вяз приземистый суховершинил и выпадал во внутренних рядах.

На участках, характеризующихся наибольшей пригодностью, были заложены пробные площади. Площадки закладывались в 3-5-кратной повторности размером 0,3-1,0 га. На пробных площадях проводился анализ состава древесных пород и фиксировалось их количество. Также измерялся диаметр стволов деревьев на высоте 1,3 м от шейки корня, что позволяло исходя из среднего диаметра выбирать модельные деревья. В модельных деревьях измеряли высоту и определяли биомассу по вкладу каждой фракции (ствол, листья, ветви, комель и корни). В процессе работы на пробной площади в 5-кратной повторности также учитывалась подстилка, которая анализировалась на площади 1 м². Содержание C в фитомассе органов деревьев определялось путем сжигания $K_2Cr_2O_7$ в H_2SO_4 при температуре 150°C, а затем проводилось колориметрирование.

Данные методы на момент их применения соответствовали мировому уровню. В настоящий момент необходимо применять прямые методы определения углерода в почве и фитомассе насаждений, основанные на методе сухого сжигания.

Результаты и обсуждение. Исследованиями Кретинина В.М. установлено, на территории Российской Федерации под ЗЛН в почве на метровой глубине аккумулировано 67 млн т углерода, в то

время как под почвами с/х угодий на той же глубине накоплено только 39,4 млн т углерода [8].

Анализ многолетних данных по существующей инфраструктуре тестовых полигонов позволил оценить аккумуляцию углерода в почве под защитными лесными насаждениями (ЗЛН) за период их агролесомелиорации (в среднем по зоне): в лесостепной, степной и сухостепной – 40-50 лет, полупустынной и пустынной – от 15 до 30 лет (рис. 2).

Данные об аккумуляции углерода под ЗЛН и на прилегающих сельскохозяйственных полях, представленные на рисунке 2, не характеризуют накопленный углерод в целом по зонам, а лишь отражают его содержание в рамках полигонов исследований. Для удобства восприятия информации была осуществлена привязка к природным зонам.

Установлено, что в исследуемых агролесоландшафтах тестовых полигонов лесостепной зоны (площадь 5055,4 тыс. га) в почвах в слое 0-100 см под насаждениями аккумулировано 43,1 млн т углерода; в степной зоне (площадь 4814,7 тыс. га) – в почвах под ЗЛН в слое 0-100 см аккумулировано 62,5 млн т углерода; в сухостепной зоне (площадь 1666,3 тыс. га) – в почвах под ЗЛН в слое 0-100 см аккумулировано 8,2 млн т углерода; в полупустынной зоне (площадь 279,6 тыс. га) – в почвах под ЗЛН в слое 0-50 см аккумулировано 1,41 млн т углерода; в пустынной зоне (площадь 16,8 тыс. га) – в почвах под ЗЛН в слое 0-50 см аккумулировано 0,4 млн т углерода.

Оценка аккумуляции углерода в лесомелиорированной почве под защитными лесными насаждениями тестовых полигонов показала, что аккумуляция углерода была самая высокая в степной зоне (порядка 58%), в 1,5 раза ниже в лесостепной

зоне, в 7,6 раза ниже в сухостепной, в 44 раза ниже в полупустынной и в 151 раз ниже в пустынной, то есть уменьшалось на север и на юг вместе с уменьшением площадей ЗЛН.

По исследованиям Кретинина В.М. [7] в зональных лесомелиорированных почвах тестовых полигонов под влиянием 25-40-летних лесных полос происходит изменение содержания органического вещества в горизонте А (табл. 2).

Анализ данных таблицы 2 показал, что на лесомелиорированной территории образование органического вещества тесно связано с энергетическими процессами в почве. Помимо этого, оптимальный гидротермический и водно-воздушный режим способствует накоплению гумуса в черноземной зоне. Здесь происходит постепенное разложение органических остатков, достаточно интенсивная их гумификация и прочное закрепление образующихся гумусовых веществ минеральной частью почвы.

Для черноземов лесостепной и степной зон запасы органического вещества в слое 0-100 см равны 484-514 т/га. Для серых лесных и каштановых почв эти показатели в 2-5 раз меньше. В результате почвообразования под 25-40-летними лесными полосами прибавка органического вещества в метровом слое черноземов составила 46,5-85,5 т/га, в серых лесных, каштановых почвах соответственно 34,4-52,0 и 178-269 т/га. Вследствие отложения мелкозема в лесных полосах Северного Кавказа аккумуляция органического вещества в почвах достигала 169,7-677,5 т/га, что превышало в ряде случаев исходные запасы. В мелиорированной пашне средние прибавки органического вещества равны 10-20 т/га.

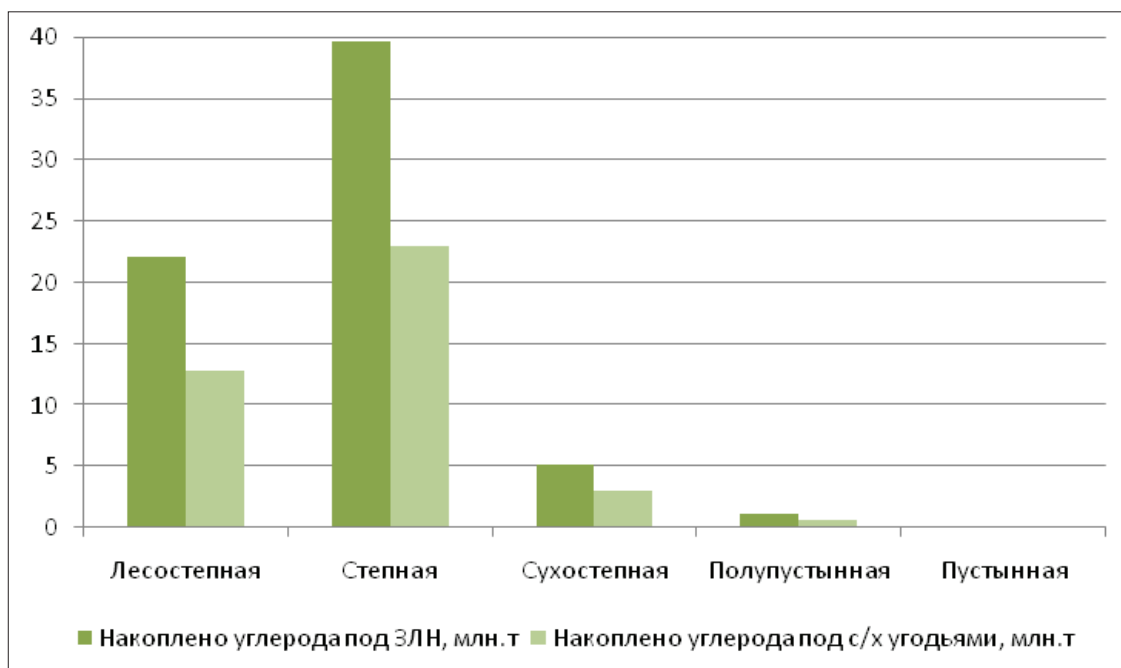


Рисунок 2. Накопленный углерод в почвах под ЗЛН и под с/х угодьями

Таблица 2. Аккумуляция гумуса в почвах (0-100 см) Европейской части России под влиянием 25-40-летних лесных полос, т/га [8]

Индекс почвы	Тип почвы	Исходные запасы органического вещества в немелиорированной пашне, т/га	Прибавка органического вещества, т/га	
			в лесной полосе	в мелиорированной пашне
Л ²	Серая лесная	210,5	34,5	16,9
Л ³	Темно-серая лесная	257,4	52,0	19,4
Ч ^{оп}	Чернозем оподзоленный	309,5	64,5	22,7
ЛЧ	Черноземно-луговые	484,3	71,6	11,6
Ч ^в	Чернозем выщелоченный	514,5	85,5	20,5
Ч ^о	Черноземы оподзоленные	503,0	56,4	12,5
Ч ^ю	Чернозем южный	295,3	46,5	-
Чп ^ю	Чернозем предкавказский южный	314,5	169,7	7,2
Чп ^о	Чернозем предкавказский обыкновенный	506,5	677,5	126,6
К ³	Темно-каштановая	228,5	42,5	-
К ¹	Светло-каштановая	106,9	34,4	5,2
С ^к	Каштановая солонцеватая	110,0	5,8	-
Б ^п	Бурая полупустынная	34,0	11,6	3,9

Накоплению углерода в каштановых почвах степной зоны способствуют наличие в почве карбонатов кальция и магния, а также повышенное содержание кальция и магния в составе первичных и вторичных минералов.

В результате исследования было установлено, что в почвах, находящихся под ЗЛН, наибольшее количество углерода накапливается в степных и лесостепных районах. Это связано с особенностями климатических условий и типом почвенного покрова в этих регионах. Однако с увеличением широты и долготы как на север, так и на юг, и с соответствующим уменьшением площадей ЗЛН, наблюдается уменьшение доли накопленного углерода в почвах. Это говорит о влиянии сельскохозяйственного производства и других факторов на углеродный баланс почвенного покрова. Данные результаты являются важным вкладом в изучение влияния земледелия и сельского хозяйства на углеродный баланс и климатические процессы.

Наибольшую долю в фитомассе дерева составлял ствол (49%), значительно меньше комель (13%), ветви крупные, корни мелкие, крупные и относительно мало листья (3%). Рассчитано общее содержание фитомассы органов деревьев и лесной подстилки в ЗЛН по природным зонам РФ (табл. 3).

Фитомасса стволов в ЗЛН РФ равна 205,2 млн т, комя меньше в 3,7 раза, крупных корней и ветвей меньше в 5,1 и 4,9 раза соответственно, мелких горней и ветвей в 5,1 и 9,7 раза. Фитомасса листьев равна 17,6 млн т, лесной подстилки 30,3 млн т.

На основе полученных данных рассчитали аккумуляцию С в фитомассе органов деревьев и мортмассе (лесная подстилка) ЗЛН агролесоландшафтов по природным зонам РФ в конце XX в.

Наибольшее количество углерода в ЗЛН аккумуля-

лировано в лесостепной – 42,2% и степной зонах – 40,5%, наименьшее в пустынной – 3,4% и полупустынной – 0,07%. Основная аккумуляция углерода происходит в стволе деревьев. Участие травянистого покрова в общей фитомассе в ЗЛН увеличивается в направлении с севера на юг и составляет от 1,1 до 28,3%.

В аридной зоне и под молодыми посадками лесная подстилка носит мозаичный характер, приурочена к рядам и биогруппам растений. Так, в лесостепной зоне масса лесной подстилки составляет 11306,8 тыс. т, степной – 12645,4 тыс. т, в сухостепной – 3450,3 тыс. т, в полупустынной – 758,9 тыс. т, в пустынной – 51,5 тыс. т. Мощность лесной подстилки заметно возрастает с юга на север, так, в полупустынной зоне она достигает 0,5-1,0 см, а в лесостепной достигает до 5,0 см.

При пониженной биологической активности почвы в пустынной зоне отмечается существенное замедление процессов гумификации. Особенно ярко это проявляется на начальной стадии процесса – при детритификации.

В хорошо прогреваемых песчаных и супесчаных почвах, имеющих хорошую аэрацию, разложение органических остатков идет быстрее, в результате чего часть их минерализуется, гумусовых веществ образуется мало, и они плохо закрепляются на поверхности песчаных частиц. В результате количество гумуса, образованного в глинистых почвах, существенно превышает показатели песчаных и супесчаных почв.

Путем анализа более чем 400 литературных источников и ретроспективных данных была обнаружена корреляционная связь между уровнем содержания углерода в основных типах почв под ЗЛН и их возрастом. В первые годы развития де-

ревьев и кустарников из-за погребения гумусного верхнего слоя почвы в результате длительного периода парования и впоследствии глубокой обработки почвы отмечается сокращение уровня углерода. Углерод начинает активно накапливаться в почве после формирования лесного подстилочного слоя, при удержании продуктов эрозии и смыва почвенного покрова, а также на этапе разложения растительных остатков [1]. Удержание накопленного углерода в почве является стойким и продолжительным процессом.

Одним из возможных последствий абиотической аккумуляции углерода в почве под искусственными лесными массивами, согласно Крети-

нину В.М. [10], является задержка установления устойчивого углеродного равновесия в почве, что в отличие от биотической аккумуляции, наблюдаемой в естественных лесных массивах, позволяет утверждать, что агролесомелиорированная почва имеет специфические временные рамки ее развития.

Запасы лесной подстилки повышаются с улучшением гидротермических условий, увеличением возраста, плотности и продуктивности посадок, участие в составе кустарника, хвойных пород и разнотравья. В отличие от естественных массивных насаждений в ЗЛН много примесей продуктов смыва и дефляции почв [8].

Таблица 3. Содержание фитомассы органов деревьев и лесной подстилки в моделях ЗЛН агролесоландшафтов, млн т

Природная зона	Возраст модели ЗЛН, лет	Площадь ЗЛН, тыс. га	Фитомасса органов деревьев в ЗЛН							Лесная подстилка
			листья	ветви		ствол	комель	Корни		
				мелкие	крупные			крупные	мелкие	
Лесостепная	50	958,2	5,9	6,6	21,2	83,9	22,1	14,8	17,7	11,3
Степная	50	1004,4	5,5	11,1	11	83,8	22,8	23,4	6,1	12,6
Сухостепная	40	458,2	1,9	2,9	6,9	31,8	9,4	1,8	1,2	3,4
Полупустынная	30	117,3	4,1	1,1	1,5	5,5	1,4	0,6	0,2	0,3
Пустынная	15	10,3	0,01	0,03	0,04	0,1	0,02	0,01	0,007	0,05
Итого:		2548,4	17,6	21,8	40,8	205,1	55,7	40,9	25,3	27,8

По данным Национального доклада о кадастре [16] в разделе ЗИЗЛХ (землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство), неттопоглощение углерода созданными ЗЛН в 2020 г. достигло 14,5 миллионов тонн CO_2 . ЗЛН, созданные в 90-х годах, вносят наиболее значительный вклад в аккумуляцию углерода. Установлено, что поглощение углерода фитомассой противоэрозионных насаждений более чем на 50% оказались менее эффективными, чем поглощение полезащитными насаждениями.

По исследованиям Замолодчикова Дмитрия Геннадьевича [6], средние за 80 лет величины депонирования С в фонде защитного лесоразведения составляют 1,5-1,9 т С /га год, а среднегодовые запасы С составляют 120,1 т С/га.

Все протекающие в почве биологические и биохимические процессы, а также скорость всех химических взаимодействий находится в тесной взаимосвязи с условиями температуры и влажности почвы [10]. В целом можно утверждать, что с повышением влагообеспеченности мелиоративная эффективность насаждений повышается. Запасы углерода в них быстро увеличиваются. В связи с этим большое значение имеют правильный подбор площадей для закладки ЗЛН, совершенствование приемов создания и выращивания насаждений.

Заключение. Анализ полученных данных позволил оценить аккумуляцию углерода в почве и

фитомассе ЗЛН на тестовых полигонах за период их агролесомелиорации. Установлено, что в исследуемых агролесоландшафтах лесостепной зоны (площадь ЗЛН 5055,4 тыс. га) в почвах в слое 0-100 см под насаждениями аккумуляровано 43,1 млн т углерода, в фитомассе насаждений аккумуляровано 88,2 млн т углерода, что эквивалентно поглощению 323,2 млн т CO_2 ; в степной зоне (площадь ЗЛН 4814,7 тыс. га) в почвах – 62,5 млн т углерода, в фитомассе – 84,6 млн т углерода, что эквивалентно поглощению 310,1 млн т CO_2 ; в сухостепной зоне (площадь ЗЛН 1666,3 тыс. га) в почвах – 8,2 млн т углерода, в фитомассе – 29,1 млн т углерода, что эквивалентно поглощению 106,5 млн т CO_2 ; в полупустынной зоне (площадь ЗЛН 279,6 тыс. га) в почвах в слое 0-50 см – 1,4 млн т углерода, в фитомассе – 7,2 млн т углерода, что эквивалентно поглощению 26,3 млн т CO_2 ; в пустынной зоне (площадь 16,8 тыс. га) в почвах – 0,4 млн т углерода, в фитомассе – 0,2 млн т углерода, что эквивалентно поглощению 0,5 млн т CO_2 .

Уменьшение доли накопленного углерода в почвах и ЗЛН происходит в широтном направлении с севера на юг, это обусловлено зональными почвенно-климатическими факторами, которые определяют лесопригодность почв для защитного лесоразведения.

Полученные результаты станут основой при создании национальной сети мониторинга бюджета

углерода наземных экосистем в части оценки углеродного баланса агролесосистем юга России.

Литература:

1. Агроресомелиорация / под. ред. А.Л. Иванова, К.Н. Кулика / Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. 746 с.
2. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад / под ред. А.Ю. Иванова, Н.Д. Дурманова. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. 120 с.
3. Вавин, В.С. Тунякин, В.Д., Рыбалкина, Н.В. Применение термина «агроресомелиорация» на современном этапе существования полевых лесоразведения // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 2-3(44). С. 89-91.
4. Гессен С.М., Воротников А.М. Карбоновые полигоны, новый инструмент управления климатическими изменениями в Российской Федерации // Журнал социологических исследований. 2021. Т. 6, № 2. С. 22-30.
5. Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России / под ред. А.Л. Иванова, В.И. Кирюшина. Москва: Российская академия сельскохозяйственных наук, 2009. 518 с.
6. Замолотчиков, Д.Г. Углеродный цикл и изменения климата // Окружающая среда и энергетика. 2021. № 2 (10). С. 53-69.
7. Кретинин, В.М. Влияние агроресомелиорации на секвестрирование CO₂ в России XX в. // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 2 (30). С. 29-35.
8. Кретинин, В.М. Плодородие лесомелиорированных почв в опытной сети ВНИАЛМИ во второй половине XX века. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2017. 122 с.
9. Методика изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978. 183 с.
10. Кретинин, В.М. Перенос, круговорот и баланс вещества в агролесоландшафтах по природным зонам РФ. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2013. 152 с.
11. Кулик, К.Н., Беляев, А. И., Пугачева, А. М. Роль защитного лесоразведения в борьбе с засухой и опустынивани-

- ем агроландшафтов // Аридные экосистемы. 2023. Т. 29, № 1(94). С. 4-14. DOI 10.24412/1993-3916-2023-1-4-14
12. Кулик, К.Н., Рулев, А.С., Ткаченко, Н.А. Изменения климата и агроресомелиорация // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 2 (46). С. 58-67.
13. Лукина, Н.В. Глобальные вызовы и лесные экосистемы // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. № 6. С. 528-532.
14. Любимова, И.Н. Возможные изменения почв сухостепной зоны в связи с глобальным изменением климата // Почвоведение. 2022. № 10. С. 1301-1309. DOI 10.31857/S0032180X22100112.
15. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявление засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)» / Под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева / ООО «Изд-во МБА», 2021. 700 с.
16. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990-2020 гг. Ч. 1. Москва, 2022. 468 с.
17. Никуличев, Ю.В. Глобальные климатические изменения новые вызовы и география изменений: специализированная информация: Аналитическая записка. Москва : Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2016. 45 с.
18. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года (переработанная и дополненная) / Кулик К.Н., Иванов А.Л., Рулев А.С. и др. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. 36 с.
19. Томилин, В.Н. Сталинский план преобразования природы и некоторые итоги его реализации // Северо-Запад в аграрной истории России. 2022. № 28. С. 145-154.
20. Федеральная программа развития агроресомелиоративных работ в России. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1995. 245 с.

DOI: 10.34736/FNC.2023.123.4.008.52-59

Carbon Accumulation in Soil and Phytomass of Protective Forest Plantations in the South of Russia

Veniamin M. Kretinin, Dr. Sci. (Agr.), ORCID: 0000-0001-6341-0478

Alexander V. Koshelev, e-mail: alexkosh@mail.ru, Cand. Sci. (Agr.), ORCID: 0000-0003-4048-7549

Maria O. Shatrovskaya, Postgraduate student, ORCID: 0000-0002-3202-4184

Varvara A. Vedeneeva, Cand. Sci. (Agr.), ORCID: 0000-0002-6623-6062

Yustina N. Potashkina, Postgraduate student, ORCID: 0000-0001-8846-2354

Laboratory of agrotechnologies and farming systems in agroforest landscapes

“Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences” (FSC Agroecology RAS), e-mail: info@vfanc.ru,

400062, Universitetsky Prospekt, 97, Volgograd, Russia

Abstract. The article presents retrospective data obtained by the staff of the Laboratory of Soil Science of the FSC of Agroecology RAS (former VNIALMI) under the guidance of Doctor of Agricultural Sciences, Professor V.M. Kretinin. These are the results of work over a 50-year period of research on the PFP (protective forest plantations) effect on the soil under them and on the territories adjacent to them. The relevance of

the research work is due to the search for reducing the anthropogenic load on the environment as well as due to its compatibility with the implementation of the state scientific and technical policy in the field of the Russian Federation environmental development and climate change. The research objects were located mainly on the experimental network of the FSC of Agroecology RAS and in agroforestry landscapes with

completed PFP systems in the following natural zones: forest-steppe, steppe, dry-steppe, semi-desert, desert and in polyzonal regions. The study result was the calculation of alterations in carbon accumulation in the phytomass of tree organs and mortmass (forest litter) of PFP in agricultural forest landscapes varying by different natural zones of the Russian Federation at the end of the XX century. As the performed study result, it was found that the largest amount of carbon in the PFP was accumulated at test sites in the forest-steppe (42.2%) and steppe zones (40.5%), the smallest in the desert (3.4%) and semi-desert (0.07%). The main accumulation of carbon occurs in the trunk of trees. The participation of herbaceous cover in the total phytomass in protective forest plantations increases from north to south and ranges from 1.1 to 28.3%.

Keywords: carbon accumulation, agroforest landscapes, protective forest plantations, forest ameliorated soils, phytomass

Funding. The study was carried out within the framework of Agreement No. VIP GZ/23-20 for the performance of research work under Agreement No. 165-15-2023-004 dated 01.03.2023 «Unified National System for Monitoring of Climate Active Substances» on the topic «Assessment of greenhouse gases fluxes in ecosystems and carbon accumulation in agroforest landscapes formed in the arid conditions of southern Russia».

Citation. Kretinin V.M., Koshelev A.V., Shatrovskaya M.O., Vedeneva V.A., Potashkina Yu.N. Carbon Accumulation in Soil and Phytomass of Protective Forest Plantations in the South of Russia. *Scientific Agronomy Journal*. 2023;4(123):52-59. DOI: 10.34736/FNC.2023.123.4.008.52-59

Received: 02.11.2023

Accepted: 07.12.2023

References:

1. Agroforestry / edited by A.L. Ivanov, K.N. Kulik. Volgograd. VNIALMI Publ. house; 2006, 746 p. (In Russ.)
2. The Battle for climate: carbon agriculture as Russia's position: expert report / edited by A.Yu. Ivanov, N.D. Durmanov. Moscow. Publ. house of the Higher School of Economics; 2021, 120 p. (In Russ.)
3. Vavin, V.S. Tunyakin, V.D., Rybalkina N.V. Application of the term «Agroforestry» at the current stage of field protection forestry. *Meždunarodnyj naučno-issledovatel'skij žurnal = International Research Journal*. 2016;2-3(44):89-91. (In Russ.)
4. Gessen, S.M., Vorotnikov A.M. Carbon polygons as a new tool for climate change management in the Russian Federation. *Zhurnal sotsiologicheskikh issledovanij = Journal of Sociological Research*. 2021;6(2):22-30. (In Russ.)
5. Global Climate Change and Risk Forecasting in Russian Agriculture / edited by A.L. Ivanov, V.I. Kiryushin. Moscow. Russian Academy of Agricultural Sciences Publ. house; 2009, 518 p. (In Russ.)

6. Zamolodchikov D.G. Carbon Cycle and Climate Change. *Ok-ruzhayushchaya sreda i energovedenie = Journal of environmental earth and energy study*. 2021;2(10):53-69. (In Russ.)

7. Kretinin, V.M. Influence of agroforestry on CO₂ sequestration in Russia in the twentieth century. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie = Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2013;2(30):29-35. (In Russ.)

8. Kretinin V.M. Fertility of forestry ameliorated soils in the experimental network of VNIALMI in the second half of XX century. Volgograd. VNIALMI Publ. house; 2017, 122 p. (In Russ.)

9. Bazilevich N.I., Titlyanova A.A., Smirnov V.V. [et al.] The biological cycle studying methods in different natural zones. Moscow. "Mysl" Publ. house; 1978, 183 p. (In Russ.)

10. Kretinin V.M. Transfer, circulation and balance of substance in agroforest landscapes by natural zones of the Russian Federation. Volgograd. VNIALMI Publ. house; 2013, 152 p. (In Russ.)

11. Kulik K.N., Belyaev A.I., Pugacheva A.M. Role of protective afforestation in combating drought and desertification of agrolandscapes. *Aridnye ekosistemy = Arid Ecosystems*. 2023;29(1(94)):4-14. (In Russ.) DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-4-14

12. Kulik K.N., Rulev A.S., Tkachenko N.A. Climate change and agroforestry. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie = Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2017;2(46):58-67. (In Russ.)

13. Lukina N.V. Global challenges and forest ecosystems. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. 2020;90(6):528-532. (In Russ.)

14. Lyubimova I.N. Possible changes in soils of the dry-steppe zone in connection with global climate change. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2022;10:1301-1309. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0032180X22100112

15. National report «Global climate and soil cover of Russia: drought manifestation, measures of prevention, control, consequences elimination and adaptation measures (agriculture and forestry)» / Edited by R.S.-H. Edelgeriev. LLC «Izd-vo IBA» Publ. house; 2021, 700 p. (In Russ.)

16. National report on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of not regulated by the Montreal Protocol greenhouse gases. for 1990-2020. Pt. 1. Moscow; 2022, 468 p. (In Russ.)

17. Nikulichev Yu.V. Global climatic changes, new challenges and geography of changes: specialized information: Analytical note. Moscow. INION RAN Publ. house; 2016, 45 p. (In Russ.)

18. Kulik K.N., Ivanov A.L., Rulev A.S. [et al.] Strategy for the development of protective afforestation in the Russian Federation for the period up to 2025 (revised and supplemented). Volgograd. FSC of Agroecology RAS Publ. house; 2018, 36 p. (In Russ.)

19. Tomilin, V.N. Stalin's plan of nature transformation and some results of its realization. *Severo-Zapad v agrarnoj istorii Rossii*. 2022;28:145-154. (In Russ.)

20. Federal program for the development of agroforestry works in Russia. Volgograd. VNIALMI Publ. house; 1995, 245 p. (In Russ.)

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.