УДК 21.311:330:633.2.03

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-120-125

Л.Н. Анищенко[1], С.Н. Поцепай[2], ✉ А.А. Справцев[2], Т.И. Васькина[2], М.В. Семышев[2], С.М. Сычев[2]

[1] Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, г. Брянск, Российская Федерация

[2] Брянский государственный аграрный университет, Брянская обл., с.Кокино, Российская Федерация

✉ *snpotsepai@yandex.ru*

Поступила в редакцию: 05.05.2022

Одобрена после рецензирования: 01.09.2022

Принята к публикации: 15.09.2022

Организация устойчивого управления лугами в Нечерноземной зоне Российской Федерации

РЕЗЮМЕ

Актуальность и методика. Луговые сообщества, формирующиеся в различных экологических режимах, участвуют в биогеохимическом цикле углерода, кумулируя и задерживая его, выводя из атмосферного воздуха. Значительная часть естественных лугов в староосвоенном регионе интенсивно эксплуатируется и теряет углероддепонирующие функции. Устойчивое управление лугами при интенсивной эксплуатации предусматривает организацию их восстановления и оптимальной эксплуатации.

Результаты. Исследование динамики содержания углерода внадземной и подземной биомассе, почве трёх типов лугов показало благоприятное влияние восстановительных процессов на содержание органического углерода впочве, рост биомассы и продуктивности. Наиболее отзывчивыми на восстановительные процессы оказались долгопоёмные луга. Однако возрастание количества надземной и подземной биомассы на лугах, продуктивность лугов также возрастали для всех типов лугов к возрасту 5 лет, а затем снижались. Рекомендованы следующие мониторинговые показатели для диагностики хода восстановительных процессов на луговых экосистемах: биомасса корней, индекс площади листьев, содержание лабильного органического вещества. Поэтому при планировании управления лугами при восстановительных сукцессиях необходимо предусмотреть умеренную пастбищную нагрузку с на 4–5 год восстановительных процессов. Планируя использование лугов, необходимо предусматривать сочетание процессов секвестрации и депонирования органического углерода — это способ повышения или сохранения гумусированности почв, сохранения урожайности сельскохозяйственных культур, сокращения эмиссии CO_2 в атмосферный воздух.

Ключевые слова: луговые сообщества, пастбищеоборот, секвестрация и депонирование углерода, восстановительные сукцессии

Для цитирования: Анищенко Л.Н., Поцепай С.Н., Справцев А.А., Васькина Т.И., Семышев М.В., Сычев С.М. Организация устойчивого управления лугами в Нечерноземной зоне Российской Федерации. Аграрная наука; 2022; 362 (9): 120–125. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-120-125

© Анищенко Л.Н., Поцепай С.Н., Справцев А.А., Васькина Т.И., Семышев М.В., Сычев С.М.

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-120-125

Lidiya N. Anishchenko[1], Svetlana N. Potsepai[2], ✉ Aleksandr A. Spravtsev[2], Tat'yana I. Vakina[2], Mikhail V. Semyshev[2], Sergei M. Sychev

[1] Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky, Bryansk, Russian Federation

[2] Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, v.Kokino, Russian Federation

✉ *snpotsepai@yandex.ru*

Received by the editorial office: 05.05.2022

Accepted in revised: 01.09.2022

Accepted for publication: 15.09.2022

Organization of sustainable management of meadows in the Nonchernozem belt of the Russian Federation

ABSTRACT

Relevance and methodology. Meadow communities forming in various ecological regimes, participate in the biogeochemical carbon cycle, accumulating and retaining it, removing it from the atmospheric air. A significant part of the natural meadows in the old-developed region is intensively exploited and loses carbon-depositing functions. The sustainable management of meadows under intensive exploitation provides for the organization of their restoration and optimal exploitation. In field and office work, the method of trial plots, ecological analytical methods with the determination of organic carbon in the composition of soil humus, the method of phytocenotic analogs, the weight method, and a number of statistical methods were used.

Results. The research of the dynamics of the carbon content of above- and underground biomass, soil of three meadows types, showed a favourable effect of restoration processes on the organic carbon content of soils, the growth of biomass and productivity. The long-flooded meadows turned out to be the most responsive to restoration processes. However, the increase in the amount of aboveground and underground biomass in meadows, the productivity of meadows also increased for all types of meadows by the age of 5 years, and then decreased. The following monitoring indicators to diagnose the progress of recovery processes in meadow ecosystems are recommended: root biomass, leaf area index and content of labile organic matter. Therefore, when planning the management of meadows during restoration successions, it is necessary to provide for a moderate pasture load with 4–5 years of restoration processes. Planning the use of meadows, it is necessary to provide for a combination of sequestration and deposit processes of organic carbon, which is a way to increase or preserve the humus content of soils, preserve crop yields, and reduce CO_2 emissions into the atmospheric air.

Key words: meadow communities, pasture rotation, sequestration and carbon depositing, progressive succession

For citation: Anishchenko L.N., Potsepai S.N., Spravtsev A.A., Vaskina T.I., Semyshev M.V., Sychev S.M. Organization of sustainable management of meadows in the Nonchernozem belt of the Russian Federation. Agrarian science. 2022; 362 (9): 120–125. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-120-125 (In Russian).

© Anishchenko L.N., Potsepai S.N., Spravtsev A.A., Vaskina T.I., Semyshev M.V., Sychev S.M.

Введение / Introduction

Современное агропроизводство нацелено на применение экологических основ, закономерностей и приёмов для получения максимальной продукции и поддержания устойчивости компонентов агрокомплексов. Особое направление современного экологичного хозяйства в луговодстве при получении высококачественных кормов — изучение роли почвы, растений, мортмассы в депонировании углерода и решении проблемы поглощения парниковых газов. Согласно данным исследований, в мировом масштабе луговые пастбища занимают около 70% сельскохозяйственных угодий мира, занимая 26% площади суши; около 20% естественных пастбищ преобразованы в сеяные луга [1–3]. Мировое животноводство развивается именно с участием пастбищного цикла производства кормов, увеличивая нагрузку на луговые сообщества, вызывая пасторальную дигрессию, возвращение в общий цикл почвенного углерода (в виде CO_2) и усиление парникового эффекта [4, 5, 6]. Планирование процессов управления лугами, в том числе и в Нечерноземье РФ, потенциально может уменьшить углеродные потери, регламентировать секвестрацию углерода, сделать эффективным использование земельных ресурсов и повысить экологическую рентабельность и восстановление деградированных земель [7–9].

Цель работы — изучение динамики содержания углерода надземной и подземной биомассой, почвой для определения рекомендаций по устойчивому управлению луговыми сообществами в Нечерноземье РФ.

Материал и методы исследований / Materials and method

Луговой травостой вносит вклад в запасы углерода в первую очередь циклическими процессами роста и отмирания корней: любое изменение органического состава почвы (органического углерода) оказывает воздействие на повышение содержания CO_2 в воздухе, так как по общеизвестным мировым данным в луговых (и лесных) почвах углерода содержится в два раза больше, чем в атмосфере [10, 11]. Поэтому один из путей увеличения депонирования углерода на суше — организация экологичной эксплуатации прежде всего луговых сообществ естественного происхождения, которые фиксируют углерод в почве на неопределённый срок; поэтому отдельные элементы углеродного цикла должны изучаться в натурных и камеральных условиях в режиме мониторинга.

Непосредственно в среднем Подесенье в условиях Брянской области (Нечерноземье РФ) не исследованы вопросы изменения содержания углерода при восстановительных сукцессиях лугов после значительного стравливания травостоя. Проведённые исследования — один из первых шагов мониторинга, который позволит выявить условия секвестрации углерода, то есть его удаления из атмосферы за счёт получения новой биомассы, а также депонирования — предотвращения быстрого возврата органического углерода из почвы в атмосферу. Сообщества лугов были выбраны по критерию фоновой встречаемости в Нечерноземье РФ, интенсивности использования как укосных и пастбищных угодий, а также с учетомразличных экологических режимов биотопа при формировании. Типологию лугов и принадлежность сообществ к ассоциациям растительности устанавливали в соответствии с рекомендованными приёмами и методическими подходами школы Ж. Браун-Бланке [12, 13]. Для сообществ ассоциации рассчитывали балльную характеристику влажности (В), содержания азота (N) и кислотности почв (К) по шкалам Г. Элленберга.

Группа низинных лугов представлена сообществами ассоциации *Lysimachio vulgaris* — Filipenduletum ulmariae Balatova-Tulackova 1978 (вязолистнолабазниковый тип, подгруппа злаковых и разнотравно-мелкозлаковых лугов), распространёнными на пойменных дерново-глеевых суглинистых почвах, сырых (В = 7,8), слабокислых (К = 5,4), умеренно обеспеченных азотом (N = 5,7).

Долгопоёмные луга представлены ценозами ассоциации *Heracleo sibirici — Alopecuretum pratensis* Bulokhov 1990 (борщевиково-луговолисохвостовый тип, подгруппа влажных и сыроватых лугов), луга зарегистрированы в центральной, реже в прирусловой части поймы, на дерновых зернистых глееватых и глеевых суглинистых почвах, на свежих и влажных (В = 4,9), слабокислых (К = 5,9), умеренно обеспеченных азом (N = 4,9).

Суходольные луга изучались на примере сообществ ассоциации *Deschampsio — Agrostietum tenuis* Sill. 1933 em. Jurko 1969 (шу * и ** — оково-тонкополевичный тип, пдгруппа разнотравно-мелкотравных сухих и свежих лугов), которые формируются на повышенных малозаливаемых участках пойм малых и средних рек со слабооподзоленными песчаными и супесчаными почвами, сухими (В = 4,1), среднекислыми (К = 4,1), умеренно обеспеченнымиили бедными азотом (N = 4,0).

Для решения задач по исследованию накопления углерода компонентами лугов применяли метод фитоценотических аналогов: в Брянском, Выгоничском районах устанавливали фитоценотические ряды трёх описанных ассоциаций лугов, имеющих различную продолжительность восстановления после полного стравливания при выпасе: в— спервую группу объед:нены луга 1–2-летнего, во вторую — 3–5-летнего восстановления, в третью — 6–8-летнего, в четвёртую — более чем8-летнего восстановительного периода. Участки лугов, на которых проведены двухлетние исследования, только выкашивались, скот не выпасался. Для контрольного варианта использовались луга соответствующей группы с регулярным выпасом в первой половине лета, а также одним укосом после отрастания отавы.

Исследования биомассы проводились на делянках размером 10 м^2 по рекомендациям методик проведения полевых опытов. Для работы с надземной биомассой делали укосы в первой декаде августа, с учётных площадок (пробных площадок, ПП) размером 50 х 50 см в семикратной повторности; растения срезали на уровне почвы, после доведения в лаборатории до воздушно-сухого состояния определяли массу. Почвенные прикопки закладывали согласно методическим рекомендациям на однородных по растительности участках [ГОСТ 17.4.4.02-84. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. ГОСТ 17.4.3.01-83 Почвы. Общие требования к отбору проб]. Отбирали почвенные монолиты с надземными растениями размерами 20 х 20 см на всю глубину деятельностного горизонта (15 см). С поверхности отобранного монолита срезался слой дернины в 3,5 см шириной, в котором определялась надземная биомасса и растительные остатки дернины, устанавливалась их масса (г/м^2). В основной части монолита определялось содержание корней и их масса.

В усреднённых для обработки почвенных образцах определяли органический углерод (Со) в составе почвенного гумуса, используя вытяжку с NaOH (0,1 М), и количестволабильных гумусовых веществ (Сл) в вытяжке

с нейтральным раствором $Na_4P_2O_7$ (0,1 М) [14].

На ПП в укосах отбирали доминирующие виды злаков, бобовых и травостоя, определяли метрические признаки, площадь листьев растений, рассчитывали индекс площади листьев (ИПл, $м^2/м^2$). Статистическая обработка данных проводилась по общепринятым методикам [15].

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Поглощение углерода в виде CO_2 определяется состоянием фотосинтетического аппарата продуцентов лугов, его развитием — площадью, в случае наблюдений эти параметры установливались по площади поверхности листьев и индексу листовой поверхности (таблица 1). В первые шесть лет восстановления лугов различных типов наблюдались закономерности общего роста площади и ИПл. Наиболее значительный прирост выявлен для долгопоёмных лугов борщевиково-луговолисохвостового сообщества, наименьший — у суходольных лугов щучково-тонкополевичных, что определяется общей формой листьев доминирующих злаков и разнотравья. При длительном периоде восстановления лугов (8-летнее и более длительное существование сообществ) и отсутствии выпаса изменение показателей для оценки работы фотосинтетического аппарата растений показывает их уменьшение по количественным характеристикам. Особенно значительно снижается ИПл у сообществ суходольных лугов и вербейниково-лабазникового типа.

Вероятно, в связи с увеличением возраста растений, формированием плотных дернин растений и рамет разнотравья воспроизводство надземной биомассы уменьшается при достаточно значительной конкуренции. Скусывание побегов растений животными, а не только однократные укосы, поддерживает и регулирует отрастание побегов с листовыми пластинками и препятствует уменьшению показателей оценки эффективности фотосинтеза.

С расчётными показателями связано и воспроизводство биомассы надземных частей травостоя. Динамические показатели биологической продуктивности для различных типов лугов показывают аналогичные тенденции (таблица 2). В структуре показателей биомассы надземной части травостоя у группы низинных и долгопоёмных лугов

Таблица 1. **Динамика показателей площади ($см^2$) и индекса площади листьев (ИПл, $м^2/м^2$) у вегетирующих растений**
Table 1. **Dynamics of leaf area indicators (cm^2) and leaf area index (LAI, m^2/m^2) in vegetating plants**

Типология сообществ	Сукцессионный статус луговых сообществ* Площадь листьев (S) / ИПл, M±m			
	1	2	3	4
1. L.v.-F.u.**	13,7±0,7 / 3,35 ±0,3	17,4±0,9 /3,62±0,3	22,1±1,7 /4,73 ±0,4	20,2±1,2 / 3,63 ±0,4
2. H.s.-A.p.	14,3±0,9 / 3,67 ±0,3	18,1±1,0 /3,99±0,4	23,5±1,6 /5,95 ±0,5	20,2±1,3 / 3,12 ±0,5
3. D.c.-A.t.	12,1±0,9 / 2,33 ±0,3	15,7±0,8 /2,67±0,3	18,8 ±0,9 /3,24 ±0,4	16,3±0,8 / 2,57 ±0,3

Примечания: * Сукцессионный статус лугов. 1 — луга 1–2-летнего восстановления, 2 — 3–5-летнего, 3 — 6–8-летнего, 4 — болеечем 8-летнего восстановительного периода; ** — обозначения сообществ: 1 — вербейниково-лабазниковое (Lysimachio vulgaris–Filipenduletum ulmariae Balátová-Tulačková 1978); 2 — борщевиково-луговолисохвостовое (Heracleo sibirici — Alopecuretum pratensisBulokhov 1990); 3 — шучково-тонкополевичное (Deschampsio — Agrostietum tenuis Sill. 1933 em. Jurko 1969)

Таблица 2. **Динамика биологической продуктивности (масса, $г/м^2$) лугов на различных стадиях восстановительной сукцессии**
Table 2. **Dynamics of biological productivity (weight, g/m^2) of meadows at various stages of regenerative succession**

Сообщества	Сукцессионный статус луговых сообществ* Масса злаков / бобовых и разнотравья, M±m			
	1	2	3	4
1. L.v.-F.u.**	198,0±12,7 / 227,4 ±14,2	218,6±11,9 /363,2±11,6	253,6±11,5 /369,3 ±13,7	226,7±12,4 / 344,9 ±12,9
2. H.s.-A.p.	265,7±10,5 / 281,9 ±10,7	308,1±12,8 /398,4±10,9	375,1±13,2 /452,7 ±12,4	287,3±12,6 / 370,4 ±129
3. D.c.-A.t.	214,6±11,3 / 198,5 ±11,1	297,2±12,1 /211,2±10,9	307,1 ±12,7 /222,7 ±10,8	243,9±10,3 / 215,3 ±10,2

Примечание. Обозначения аналогичны таблице 1.

Таблица 3. **Динамика продуктивности и качества сена лугов при восстановительных сукцессиях**
Table 3. **Dynamics of biological productivity (weight, g/m^2) of meadows at various stages of regenerative succession**

Тип лугов	Сукцессионный статус луговых сообществ*			
	1	2	3	4
	Продуктивность, ц/га**			
1. L.v.-F.u.***	18,9±1,2 17,0–20,6	21,3±1,8 16,2–21,1	21,6±2,1 17,3–20,9	19,1±1,6 16,2–19,8
2. H.s.-A.p.	25,8±1,8 23,9–31,5	28,81±2,6 22,0–29,4	29,7±2,7 22,8–32,0	26,2±2,5 22,4–30,1
3. D.c.-A.t.	9,0±0,8 8,6–11,9	9,2±1,0 8,1–10,3	10,2±1,1 8,4–11,2	8,8±0,7 8,5–10,5
	Содержание азота, % / фосфора, % / сырой клетчатки, %			
1. L.v.-F.u.**	1,19 / 0,53 / 32,16	1,20 / 0,55 / 33,20	1,18 / 0,55 / 33,51	1,20 / 0,52 / 32,84
2. H.s.-A.p.	1,36 / 0,57 / 46,22	1,56 / 0,63 / 47,23	1,34 / 0,59 / 46,92	1,35 / 0,59 / 45,97
3. D.c.-A.t.	1,33 / 0,59 / 34,22	1,39 / 0,61 / 36,31	1,30 / 0,60 / 34,85	1,34 / 0,60 / 34,72

Примечания: *, *** — обозначения аналогичны таблице 1.
** — числитель: продуктивность — средний показатель с ошибкой среднего (M±m), знаменатель — минимальные и максимальные определённые значения продуктивности

Рис. 1. Диаграмма динамики развития надземной части и корней в образцах почвенных монолитов: а — в сообществе вербейниково-лабазниковом (Lysimachio vulgaris — Filipenduletum ulmariae Balatova-Tulackova 1978); б — в сообществе борщевиково-луговолисохвостовом (Heracleo sibirici — Alopecuretum pratensis Bulokhov 1990)

Fig. 1. Diagram of the dynamics of the development of the aboveground part and roots in soil monolith samples: a — in the loosestrife-meadowsweet community (Lysimachio vulgaris — Filipenduletum ulmariae Balatova-Tulackova 1978); б — in the hogweed-meadow foxtail community (Heracleo sibirici — Alopecuretum pratensis Bulokhov 1990)

преобладает масса разнотравья и бобовых растений, у суходольных шучково-тонкополевичных лугов — биомасса злаков.

Биомасса злаков преобладает над биомассой бобовых и разнотравья для щучково-тонкополевичного сообщества, для вербейниково-лабазникового и борщевиково-луговолисохвосто вого сообщества доминирующими в биомассе являются разнотравье и бобовые.

При восстановлении сообществ лугов в различных экологических условиях закономерно возрастает первичная продукция (и, соответственно, биологич;ская продуктивность) травостоя: наиболее значительный прирост растительной массы зарегистрирован к 5–8-му году восстановления, затем наблюдается спад на 25–35% от средних значений биомассы 1–2-го года развития луга. Для борщевиково-луговолисохвостового луга (долгопоёмного типа луга) большееувеличение биомассы бобовых и разнотравья по сравнению с возрастанием значений показателе злаков статистически достоверно ($t_{практ} > t_{табл}$). Для восстановительных процессов вербейниково-лабазникового типа лугов характерны рост биомассы разнотравья и бобовых начиная с 3-го года восстановления и практически неизменных значений показателя за период наблюдений. Такое разрастание разнотравья закономерно и определяется составом травостоя этих лугов.

Общие показатели продукции в пересчёте на единицу площади и содержания основных веществ в потребляемой животными биомассе показаны в таблице 3.

Содержание азота, фосфора и сырой клетчатки за восстановительный период более 8 лет практически не изменялось, что говорит о видовых особенностях растений в составе травостоя, определяющих качество сена. Продуктивность лугов также изменялась флуктуационно: возрастала для всех типов лугов к возрасту 5 лет, а затем незначительно снижалась. Динамические изменения минимальной и максимальной продуктивности также регистрировались для всех типов изучаемых лугов. Общая продуктивность за восстановительный период возросла на 15% для борщевиково-луговолисохвостового луга; для этого же типа сообщества в первые два года восстановления зарегистрированы наибольшие минимальные и максимальные показатели продуктивности. Для щучково-тонкополевичного сообщества биомасса травостоя, характеризующая продуктивность, уменьшалась с течением времени восстановления травяного покрова: вероятно, это обусловлено биологическими особенностями доминанта — щучки дернистой, которая при воздействии пасущихся животных увеличивает скорость образования корневищи почек возобновления.

Показатели продуктивности лугов с различными экологическими режимами на начальных стадиях восстановительных сукцессий соответствуют данным по аналогичным сообществам [16, 17].

Органический углерод в луговых сообществах распределяется также и по следующим пулам: в надземной части растенийи в корнях. Часть органического вещества, накапливаемого в слое побегов 2–3 см над поверхностью почвы, может быть зарегистрирована как ветошь и растительные остатки; она может быстро минерализоваться, удаляясь в атмосферу в виде CO_2. Развитие растительного покрова на лугах стимулирует трансформацию субстрата, способствуя росту корней и кумуляции углерода. Общая закономерность в формировании биомассы (рисунки 1, 2) для трёх типов лугов — преобладание корневой массы (к) над показателями биомассы прикорневой (надземной части растений — нч + к).

Рис. 2. Диаграмма динамики развития надземной части и корней в образцах почвенных монолитов в сообществе щучково-тонкополевичном (Deschampsio — Agrostietum tenuis Sill. 1933 em. Jurko 1969)

Fig. 2. Diagram of the dynamics of the development of the aboveground part and roots in samples of soil monoliths in the pike-thin bentgrass community (Deschampsio — Agrostietum tenuis Sill. 1933 em. Jurko 1969)

Таблица 2. **Динамика содержания органического вещества в почвах луговых сообществ при восстановительных сукцессиях**
Table 2. **Dynamics of organic matter content in soils of meadow communities during restorative successions**

Сообщества	Сукцессионный статус луговых сообществ* Co, % к почве / Сл, % от Co, M±m			
	1	2	3	4
1. L.v.-F.u.**	1,29±0,3 / 22,3 ±1,2	1,48±0,3 / 35,2 ±1,9	1,55±0,4 / 37,1 ±1,6	1,50±0,4 / 35,2 ±1,9
2. H.s.-A.p.	1,33±0,5 / 21,7 ±1,5	1,48±0,4 / 26,2 ±1,4	1,41±0,4 / 25,8 ±1,9	1,42±0,4 / 23,4 ±1,7
3. D.c.-A.t.	1,12±0,3 / 19,7 ±1,7	1,22±0,4 / 25,2 ±1,9	1,27±0,4 / 22,9 ±1,5	1,27±0,4 / 22,4 ±1,3

Примечание: * и ** — обозначения аналогичны таблице 1.

Образуемый на лугах слой ветоши имеет мощность до 0,7 см, в пересчёте на общую массу — от 2,8 т/га до 3,5 т/га. В верхней части почвенного профиля (монолита) при влиянии дернового процесса дифференцируется гумусово-слаборазвитый горизонт. Его толщина для трёх изученных типов сообществ составляет от 1,7 до 2,4 см. Наиболее значительная биомасса корней представлена в сообществе щучково-тонкополевичного луга, она снижается по мере возрастания длительности восстановительной сукцессии. Для вербейниково-лабазникового и борщевиково-луговолисохвостового типов лугов зарегистрирована наибольшая биомасса корней и надземной части растений в связи со значительной мощностью развития травостоя и отавы при возобновлении травяного покрова. Сравнивая соотношение биомассы корней и всей побеговой биомассы для ПП на разных типах лугов, мыпришли к выводу, что это соотношение составляет 1:3,8 (1:4,0). Таким образом, обеспечивается надёжная мобилизация органического углерода в живых компонентах лугов. В отличие от изменения надземной биомассы побегов луговых видов, динамические показатели для корней и надземной части снижаются к моменту четвёртой стадии сукцессионных изменений не так резко. Вероятно, кумуляция углерода более значительная именно для корневой части травостоя любых лугов.

Параллельный процесс почвенного депонирования углерода наблюдается для почвы лугов. Нами наблюдался процесс изменения содержания Co и Сл в луговых почвах (таблица 4).

Лабильный углерод в почвах играет одну из первостепенных ролей, определяя физические свойства почвы, способствуя удержанию влаги, оструктуриванию почвы. Восстановление и трансформация почвы при сукцессионных процессах приводит к изменению содержания органического углерода и повышению депонирования его в почве: с увеличением возраста лугов возрастает и содержание Co (изменения статистически недостоверны). Растет концентрация лабильных органических веществ, представленных в основном неспецифическими органическими соединениями: органическими кислотами, спиртами, аминокислотами, углеводородами и т.д. Для почв борщевиково-луговолисохвостового сообщества возрастания Co фактически не наблюдалось начиная с третьего года восстановительной сукцессии, а в щучково-тонкополевичном сообществе — с пятого. Выполнение накопительной (углеродной) функции почвами лугов можно считать стабильным, обеспечиваемым и ростом биомассы надземной части. Таким образом, залужение и восстановление лугов ведёт к возрастанию Co, однако и стабилизирует Сл при, видимо, ингибировании процессов минерализации. В дальнейшем можно получить представление об углерод-протекторных свойствах почв.

Выводы / Conclusion

Таким образом, восстановительные сукцессии на лугах различных типов, в том числе и без поддерживающего выпаса животных, показали возрастание возможностей для секвестрации надземной массой и депонирования почвой углерода. Время существования лугов оказывает воздействие прежде всего на рост побеговой биомассы, корней, а также на процессы, повышающие содержание Co. Однако при одном укосе трав во всех экологических типах лугов по истечении 8-летнего восстановительного периода снижается прирост показателей для любой биомассы. При планировании лугопользования, необходимо предусмотреть неистощительный выпас, так как он воздействует на скорость оборота (разложения) надземных компонентов сообществ, увеличивает скорость разложения подстилки, образование и развитие почек.

Возрастание в залежных луговых почвах органического углерода обусловлено уменьшением его потерь биохимических (при снижении процессов минерализации) и физических (при устранении механического удаления части профиля почв с эрозией, миграцией, в том числе и водной, технологической). Наиболее чувствительны ко времени восстановления после стравливания болотные луга и долгопоёмные.

Таким образом, при организации управления лугами, сопряжённой с выполнением программы декарбонизации, необходимо предусмотреть воспроизводство циклических процессов пасторальной нагрузки с непрерывными циклами обрезки, удаления ветоши, прикорневой части растений, обеспечитьпроцессы регенерации, достаточные для подержания кумулятивного звена биогеохимического цикла углерода.

Особенно важен в процессе накопления углерода почвенный пул Co, так как в биокосном теле он связывается надолго и малоподвижен. Ключевой регулятор устойчивости и углероддепонирующей функции лугов — контроль выпаса и состояния надземной биомассы. В качестве сопутствующих механизмов устойчивого управления лугами также могут быть рекомендованы удлинение вегетации, то есть скашивание зелёной массы на силос, оптимизация состава травостоя подсевом бобовых растений, восстановление доминантов.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.
Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу.
Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work.
The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.
The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chang J., Ciais, P., Gasser T. et al. Climate warming from managed grasslands cancels the cooling effect of carbon sinks in sparsely grazed and natural grasslands. *Nat Commun*. .12. 118. 2021. [Электронный ресурс]. https://doi.org/10.1038/s41467-020-20406-7.

2. Lal R. Soil organic matter content and crop yield. Journal of Soil and Water Conservation. 2020. 75 (2). 27A-32A. DOI: https://doi.org/10.2489/jswc.75.2.27A/

3. Stolbovoi V. Carbon in Russian soils. *Climat.Change*. 2022. 55. 131-156.

4. Nicoloso R.S., Rice, C.W., Amado T.J.C., Costa C.N., Akley E.K., Carbon saturation and translocation in a no-till soil under organic amendments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2018. 264. 73–84.

5. Klumpp K. et. al. The carbon sequestration of grassland soils – climate change and mitigation strategies. 2018. 23. 509-519.

6. Schjonning P., Jensen J.L., Bruun S. Jensen L., Christensen B., Munkholm L., Oelofse M., Baby S., Knudsen L. The role of soil organic matter for maintaining crop yields: Evidence for a renewed conceptual basis. Advances in Agronomy. 2018. 150. 35–79.

7. Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф., Симоненко Н.К., Смольский Е.В. Влияние удобрений на продуктивность и накопление радионуклидов при возделывании мятликовых трав в одновидовых посевах. *Агрохимических вестник*. 2012. 5. 6-8.

8. Oldfield E., Bradford M., Wood S. Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. Soil. 2019. 5. 15–32.

9. Шаповалов В.Ф., Харкевич Л.П., Белоус И.Н. Продуктивность и качество зеленой массы, многолетних трав в зависимости от условий минерального питания и способов обработки почвы. *Агрохимический вестник*. 2011. 3. 6-8.

10. Когут М.Б., Семенов В.М. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом. *Бюлл. Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2020. 102. 103-124.

11. Международный кодекс фитосоциологической номенклатуры: 3-е изд., Х.Э. Вебер, Я. Моравец, Ж.-П. Терийя. *Растительность России*. 2005. 7. 3–38.

12. Методические указания по классификации сенокосов и пастбищ равнинной территории Европейской части СССР. М.: ВНИИ кормов., 1987. 148.

13. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie: 3. Aufl. Wien; New York, 1964. 865.

14. Методы определения активных компонентов в составе гумуса почв (Для проведения сравнительных исследований в длительных опытах, реперных участках и полигонах агроэкологического мониторинга). М.: *ВНИИА*, 2010. 34.

15. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: *Наука*, 1990. 296 .

16. Егорова В.Н. Пойменные луга Средней Оки: мониторинг, проблемы сохранения и восстановления биоразнообразия и генофонда. М.: *Европейские полиграфические системы*, 2013. 412 с.

17. Поцепай С.Н., Бельченко С.А., Анищенко Л.Н., Продуктивность и эколого-химические характеристики сеяных лугов Подесенья в фоновых условиях (Брянской области). *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. 1. 39-44.

REFERENCES

1. Chang J., Ciais, P., Gasser T. et al. Climate warming from managed grasslands cancels the cooling effect of carbon sinks in sparsely grazed and natural grasslands. *Nat Commun*. 12. 118. 2021. [Electronic resource] .https://doi.org/10.1038/s41467-020-20406-7.

2. Lal R. Soil organic matter content and crop yield. Journal of Soil and Water Conservation. 2020. 75 (2). Pp.27A-32A. DOI: https://doi.org/10.2489/jswc.75.2.27A/.

3. Stolbovoi V. Carbon in Russian soils. *Climat.Change*. 2022. 55. 131-156.

4. Nicoloso R.S., Rice, C.W., Amado T.J.C., Costa C.N., Akley E.K., Carbon saturation and translocation in a no-till soil under organic amendments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2018. 264. 73–84.

5. Klumpp K. et. al. The carbon sequestration of grassland soils – climate change and mitigation strategies. 2018. 23. 509-519.

6. Schjonning P., Jensen J.L., Bruun S. Jensen L., Christensen B., Munkholm L., Oelofse M., Baby S., Knudsen L. The role of soil organic matter for maintaining crop yields: Evidence for a renewed conceptual basis. Advances in Agronomy. 2018. 150. 35–79.

7. Belous N.M., Shapovalov V.F., Simonenko N.K., Smolsky E.V. Influence of fertilizers on the productivity and accumulation of radionuclides in the cultivation of bluegrass grasses in single-species crops. Argochemical Bulletin. 2012. 5. 6-8. (In Russian)

8. Oldfield E., Bradford M., Wood S. Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. Soil. 2019. 5. 15–32.

9. Shapovalov V.F., Kharkevich L.P., Belous I.N. Productivity and quality of green mass, perennial grasses depending on the conditions of mineral nutrition and methods of tillage. Agrochemical Bulletin. 2011. 3. 6-8. (In Russian)

10. Kogut M.B., Semenov V.M. Assessment of soil saturation with organic carbon. Bull. Soil Institute named after V.V. Dokuchaev. 2020. 102. 103-124. (In Russian)

11. International Code of Phytosociological Nomenclature: 3rd ed. H.E. Weber, J. Moravec, J.-P. Teriya. Vegetation of Russia. 2005. 7. 3–38. (In Russian)

12. Guidelines for the Classification of Hayfields and Pastures in the Plain Territory of the European Part of the USSR. M.: VNII forage, 1987. 148 . (In Russian)

13. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie: 3. Aufl. Wien; New York, 1964. 865 .

14. Methods for determining active components in the composition of soil humus (For comparative studies in long-term experiments, reference plots and polygons of agroecological monitoring). M.: VNIIA, 2010. 34 . (In Russian)

15. Zaitsev G.N. Mathematics in experimental botany. M.: Nauka, 1990. 296 . (In Russian)

16. Egorova V.N. Floodplain meadows of the Middle Oka: monitoring, problems of conservation and restoration of biodiversity and gene pool. M.: European polygraphic systems, 2013. 412 . (In Russian)

17. Potsepay S.N., Belchenko S.A., Anishchenko L.N.. Productivity and ecological and chemical characteristics of sown meadows of the Desenye in background conditions (Bryansk region). Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2019. 1. 39-44. (In Russian)

ОБ АВТОРАХ:

Лидия Николаевна Анищенко, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры географии, экологии и землеустройства, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, ул. Бежицкая 14а г. Брянск, Российская Федерация
e-mail: lanishchenko@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6600-6010

Светлана Николаевна Поцепай, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент института экономики и агробизнеса
Брянский государственный аграрный университет, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а, Российская Федерация
e-mail: snpotsepai@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-4969-3189,

Александр Анатольевич Справцев, аспирант кафедры агрохимии, почвоведения и экологии
Брянский государственный аграрный университет, ул. Советская 2а, с. Кокино, Выгоничский р-н, Брянская обл., Российская Федерация
e-mail: bgsha@bgsha.com
https://orcid.org/0000-0003-0146-0810

Татьяна Ивановна Васькина, аспирант кафедры агрономии, селекции и семеноводства,
Брянский государственный аграрный университет, ул. Советская 2а, с. Кокино, Выгоничский р-н, Брянская обл., Российская Федерация
e-mail: wtiwwf-97@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3331-4861

Михаил Васильевич Семышев, доцент института экономики и агробизнеса
Брянский государственный аграрный университет, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а, Российская Федерация
e-mail: mwsemm@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-0496-1509

Сергей Михайлович Сычёв, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства Брянский ГАУ, Брянский государственный аграрный университет, ул. Советская 2а, с. Кокино, Выгоничский р-н, Брянская обл., Российская Федерация
e-mail: sichev_65@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0941-2963

ABOUT THE AUTHORS:

Lidiya Nikolaevna Anishchenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Geography, Ecology and Land Management Bryansk State University named after academician I.G. Petrovsk, st. Bezhitskaya 14a, Bryansk, Russian Federation
e-mail: lanishchenko@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6600-6010

Svetlana Nikolaevna Potsepai, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Institute of Economics and Agribusiness Bryansk State Agrarian University,
st. Sovetskaya 2a, s. Kokino, Vygonichy district, Bryansk region, Russian Federation
e-mail: snpotsepai@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-4969-3189,

Aleksandr Anatol'evich Spravtsev, Postgraduate student of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology
Bryansk State Agrarian University, st. Sovetskaya 2a, s. Kokino, Vygonichy district, Bryansk region,
Russian Federation
e-mail: bgsha@bgsha.com
https://orcid.org/0000-0003-0146-0810

Tat'yana Ivanovna Vas'kina, Postgraduate student of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production,
Bryansk State Agrarian University, st. Sovetskaya 2a, s. Kokino, Vygonichy district, Bryansk region,
Russian Federation
e-mail: wtiwwf-97@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3331-4861

Mikhail Vasil'evich Semyshev, Associate Professor at the Institute of Economics and Agribusiness
Bryansk State Agrarian University, st. Sovetskaya 2a, s. Kokino, Vygonichy district, Bryansk region, Russian Federation
e-mail: mwsemm@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-0496-1509

Sergey Mikhailovich Sychev, Doctor of Agricultural Sciences. Professor of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production
Bryansk State Agrarian University, st. Sovetskaya 2a, s. Kokino. Vygonichy district, Bryansk region, Russian Federation
e-mail: sichev_65@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0941-2963