Почвы ксерофитных лугов Среднего Подесенья: к вопросам накопления органических веществ и биохимической активности

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Естественные луговые сообщества, относящиеся к группе суходольных, в условиях уменьшения поемности ведущей водной артерии в Брянской области — реки Десны — характеризуются существенными изменениями в режиме хозяйственного использования. Однако значительная часть суходольных лугов используются как пастбищные угодья, поэтому режим их интенсивной эксплуатации изменяет экологические режимы фитоценозов, понижая углероддепонирующие функции. Для ксерофитных (суходольных) лугов естественного происхождения установление запасов почвенного углерода и выявление биохимической и микробиологической активности особенно актуально в свете низкой устойчивости этих сообществ при пастбищной нагрузке и широкого распространения по территории Среднего Подесенья.

Методы. Исследования предусматривали полевые маршрутные исследования и камеральную обработку данных с использованием методов пробных площадок, метода эколого-флористической классификации, метода экологических шкал (по Г. Элленбергу), эколого-химических методов — определения органического углерода, весового метода, биохимической и микробиологической методики для исследований биосферного тела.

Результаты. Для почв ксерофитных (суходольных) лугов впервые для Среднего Подесенья установлены углеродпоглощательная способность, ферментативная активность для уреазы, каталазы, целлюлазы в зависимости от фитоценотического комплекса. Установлена положительная сильная корреляционная связь с органическим углеродом и среднемесячным количеством осадков в июне, июле, августе. За двухлетний период наблюдений количество в ряду сообществ ассоциаций: *Festuco ovinae-Koelerium delavignei* > контроль > *Agrimonio eupatoriae-Poetum angustifoliae* > *Caro carvi-Deschampsietum* > *Anthoxantho-Agrostietum tenuis* > *Hieracio pilosellae-Agrostietum tenuis* > *Koelerium delavignei-Festucetum rubrae* > *Anthyllidi-Trifolietum montani* > *Polygalo vulgaris-Anthoxanthoetum*.

Ключевые слова: органический углерод почвы, почвенные ферменты, естественные луга, суходольные ксерофитизированные луга, Брянская область

Для цитирования: Поцепай С.Н., Анищенко Л.Н., Семышев М.В., Атрошенко П.П. Почвы ксерофитных лугов Среднего Подесенья: к вопросам накопления органических веществ и биохимической активности. *Аграрная наука*. 2024; 380(3): 109–113.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-109-113>

© Поцепай С.Н., Анищенко Л.Н., Семышев М.В., Атрошенко П.П.

Soils of xerophytic meadows of the Middle Podesen'ya: on the issues of accumulation of organic substances and biochemical activity

ABSTRACT

Relevance. Natural meadow communities, belonging to the dry meadows group, in the conditions of a decrease in floodplain of the leading water artery in the Bryansk region — the Desna River are characterized by significant changes in the mode of economic use. However, a significant part of dry meadows is used as pasture lands, so the regime of intensive exploitation of these lands significantly changes the ecological regimes of phytocenoses, reducing the carbon-depositing functions. For xerophytic (dry) meadows of natural origin, the establishment of soil carbon reserves, the identification of biochemical and microbiological activity is especially important in the light of the low stability of these communities under pasture load and wide distribution throughout the territory of the Middle Podesen'ya.

Methods. The research provided for field route studies and in-house data processing using the methods of trial sites, the method of ecological and floral classification, the method of ecological scales (according to G. Ellenberg), ecological and chemical methods — determination of organic carbon, the weight method, biochemical and microbiological methods for the study of the biocompatible body.

Results. For the soils of xerophytic (dry) meadows, for the first time, carbon-absorbing capacity, enzymatic activity for urease, catalase, cellulase, depending on the phytocenotic complex, has been established for the Middle Podesen'ya. A positive strong correlation has been established with organic carbon and average monthly precipitation in June, July and August. Over a two-year observation period, the amount of total organic carbon in the soil changed in a number of associations communities: *Festuco ovinae-Koelerium delavignei* > control > *Agrimonio eupatoriae-Poetum angustifoliae* > *Caro carvi-Deschampsietum* > *Anthoxantho-Agrostietum tenuis* > *Hieracio pilosellae-Agrostietum tenuis* > *Koelerium delavignei-Festucetum rubrae* > *Anthyllidi-Trifolietum montani* > *Polygalo vulgaris-Anthoxanthoetum*.

Key words: soil organic carbon, soil enzymes, natural meadows, dry xerophytized meadows, Bryansk region

For citation: Potsepai S.N., Anishchenko L.N., Semyshev M.V., Atroshenko P.P. Soils of xerophytic meadows of the Middle Podesen'ya: on the issues of accumulation of organic substances and biochemical activity *Agrarian science*. 2024; 380(3): 109–113 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-109-113>

© Potsepai S.N., Anishchenko L.N., Semyshev M.V., Atroshenko P.P.

Введение/Introduction

Почвы суходольных луговых сообществ, формирующихся на территории Среднего Подесенья (в условиях Брянской области) в значительном территориальном пространстве, участвуют в энергетическом и вещественном обмене. В условиях интенсивной эксплуатации биокосного тела, а также изменения видовой разнообразия естественных лугов, вызывающих деградацию почв, одновременно снижают поглотительные способности по отношению к парниковым газам, то есть выключает почву из углеродпоглощающей системы [1–3].

Мониторинг органического вещества почвы (SOC, Сорг) — важное условие для решения проблемы декарбонизации на современном этапе развития не только сельскохозяйственного производства, но и индустриального потенциала в целом [4–8]. Суходольные луга имеют низкое фитоценоотическое разнообразие, но используются для интенсивного выпаса в условиях роста молочного и мясного стада. Такие сообщества ксерофитизированы (в них преобладают ксерофитные травы в основном травостое), что связано с дополнительными экофакторами: низкими и малопродолжительными паводками, понижением стока [6, 9].

Изменение продуктивных показателей травостоя и травяной биомассы должно подвергаться мониторингу для принятия своевременных решений по рекультивации, консервации ценозов [10, 11]. Пойма р. Десны и ее притоков находится под действием процессов ксерофитизации, начиная с конца XX века поемность реки понизилась, пойма характеризуется сильным снижением уровня и продолжительности половодий. Следовательно, ксерофитизация лугов, а также распространение суходолов — малоизученный динамический процесс, вероятно, уменьшающий процессы секвестрации углерода, продуктивность [12].

Определенный потенциал секвестрации органического углерода Сорг в Евросоюзе — от 8,5 Мт до 57 Мт-экв. в год, до 25% органического углерода находится в естественных луговых и кустарниковых угодьях [4, 5, 13].

Таблица 1. Основные фитоценоотические и экологические характеристики сообществ ксерофитных естественных лугов
Table 1. The main phytocenotic and ecological characteristics of communities of xerophytic natural meadows

Ассоциации ксерофитной луговой растительности	Экологические показатели субстрата (по Г. Элленбергу, в баллах) *			α-разнообразие	Индекс разнообразия Симпсона
	В	К	Н		
<i>Anthyllidi-Trifolietum montani</i>	3,4	6,2	3,2	23,6	26,8
<i>Agrimonio eupatoriae-Poetum angustifoliae</i>	4,2	6,1	3,5	24,6	27,4
<i>Koelerio delavignei-Festucetum rubrae</i>	4,5	5,5	5,0**	29,5	32,6
<i>Anthoxantho-Agrostietum tenuis</i>	4,1	4,3	3,6	20,4	21,6
<i>Caro carvi-Deschampsietum</i>	3,9	4,6	5,2	21,7	25,4
<i>Festuco ovinae-Koelerium delavignei</i>	4,2	5,7	5,1	22,4	26,2
<i>Polygalo vulgaris-Anthoxanthoetum</i>	4,8	4,2	4,1	22,4	26,1
<i>Hieracio pilosellae-Agrostietum tenuis</i>	3,6	4,1	3,7	19,8	21,5

Примечание: * В — показатели влажности субстрата, К — показатели кислотности субстрата, N — показатели содержания азота; ** шрифтом выделены показатели по шкалам Г. Элленберга с умеренными показателями содержания азота в почве.

Высокопродуктивные заливные пойменные луга в Нечерноземье РФ частично исследованы на предмет запасов углерода, поэтому данная работа — дополнение к эколого-биохимическим исследованиям почвенного потенциала луговых сообществ, представленных ксерофитизированными и суходольными пасторальными сообществами естественного происхождения [5, 6]. Базовые мониторинговые показатели депонирующей способности почв ксерофитизированных лугов помогут оценить потери углерода и дегумификацию [11, 14, 15]. Вместе с тем углеродпоглощающая система почв (биокосного тела) лугов в зависимости от режима формирования тесно связана с биохимическими процессами, что в свою очередь выступает как условие управления биосферной ролью биокосного тела [4, 13, 15].

Цель работы — изучить запасы органического углерода в почвах, ферментативную активность биокосного тела на естественных суходольных лугах.

Материалы и методы исследований / Materials and methods

Практические исследования суходольных, ксерофитизированных лугов проведены с 2019 по 2022 г. в местах их распространения — на высоких участках поймы р. Десны в Среднем Подесенье (Брянский, Выгоничский, Трубчевский, Карачевский районы Брянской области) и наиболее крупных ее притоков методом пробных площадок.

На основе геоботанических исследований устанавливались ассоциации растительных сообществ с использованием метода Ж. Браун-Бланке (1964)¹, они названы в соответствии с Кодексом фитосоциологической номенклатуры². Заложенные для наблюдений модели лугов использовали и для выяснения запасов органического вещества почвы, содержания активной части Сорг, ферментативной активности³.

Экологические режимы сообществ устанавливали на основе экологических шкал Г. Элленберга⁴. В естественных суходольных лугах эксперимент осуществляли в пасторальных сообществах лугов, интенсивно используемых для выпаса.

Исследованы сообщества ассоциации *Anthoxantho-Agrostietum tenuis* Silinger 1933 em. Jurco 1963 со средней продуктивностью травостоя в 10,5 ц/га, *Hieracio pilosellae-Agrostietum tenuis* Bulokhov 1990, средняя продуктивность — 4–5 ц/га, *Caro carvi-Deschampsietum cespitosae* Bulokhov 2001, средняя продуктивность — 6–9 ц/га, *Polygalo vulgaris-Anthoxanthoetum* Bulokhov 1991, средняя продуктивность — 7,5 ц/га, *Koelerio delavignei-Festucetum rubrae* Bulokhov 2001, средняя продуктивность — 8,5 ц/га, *Festuco ovinae-Koelerium delavignei* Bulokhov 1994, средняя продуктивность — 6,5 ц/га, *Agrimonio eupatoriae-Poetum angustifoliae* Bulokhov 2001, средняя продуктивность — 6,8 ц/га, *Anthyllidi-Trifolietum montani* Matuszkiewicz 1981, средняя продуктивность — 7,6 ц/га.

Условия увлажнения у всех сообществ неблагоприятные, травостой развивается с преобладанием разнотравья, с малой видовой насыщенностью, с малой продуктивностью. Ксерофитные луга этих ассоциаций широко распространены на склонах балок, по межгрядным пространствам, на гривах — высоких частях поймы (табл. 1).

¹ Westhoff V., Maarel E. van der. The Braun-Blanquet approach. // Classification of plant communities. The Hague. 1978; 287–399. https://doi.org/10.1007/978-94-009-9183-5_9

² Weber H.E., Moravec J., Theurillat J.-P. International Code of phytosociological nomenclature. 3rd ed. // J. Veg. Sci. 2000; 11(5): 739–768. <https://doi.org/10.2307/3236580>

³ Середя Н.А., Валеев В.М., Баязитова Р.И., Алибаев А.А. Практикум по агрохимии. Уфа: БГАУ. 2004; 115.

⁴ Ellenberg H., Weber H.E., Dull R., Wirth W., Paulsen D. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2 Aufl. Göttingen: Verlag Erich Goltze GmbH & Co KG. 1992; 258.

Наибольшее видовое разнообразие характеризует сообщество ассоциаций *Koelerio delavignei-Festucetum rubrae*, *Agrimonio eupatoriae-Poetum angustifoliae*, *Anthyllidi-Trifolietum montani*, *Festuco ovinae-Koelerio delavignei*. Экологические особенности сообществ показывают низкое содержание азота в сообществах ассоциаций *Anthyllidi-Trifolietum montani*, *Agrimonio eupatoriae-Poetum angustifoliae*, *Anthoxantho-Agrostietum tenuis*, *Hieracio pilosellae-Agrostietum tenuis*, *Polygalo vulgaris-Anthoxanthoetum*.

В экспериментах выяснялось влияние травостоя на ферментативную активность и показатели Сорг, одновременно исследовалось и воздействие величины выпадения осадков за вегетационный период.

Почвенные образцы методом конверта изымались для исследований в I декаде июля и IV декаде августа. В I декаде августа с площадки в 1 м² изымали всю корневую массу растений. Изыскания проводили в четырёхкратной повторности. Содержание Сорг выявляли по методу Тюрина. Подвижные гуминовые вещества экстрагировали 0,1 М раствором Na₄P₂O₇ при разведении 1:15 (слаб.). Подвижное Сорг извлекали 0,1 н раствором гидроксида натрия, определяя содержание углерода по методу Тюрина⁵.

При исследовании уреазной активности почвы использовали фотометрический метод, измеряя количество аммиака, образующегося при гидролизе мочевины под каталитической активности уреазы⁶.

Измерение каталазной активности осуществлялось перманганатометрическим методом Джонсона и Темпле⁶.

Определение целлюлолитической активности почвы производили аппликационным методом. В ходе эксперимента использовалась фильтровальная бумага (квадраты 5 x 5 см). Навески почвы массой 50 г, предварительно освобожденные от растительных остатков, помещали в стерильные чашки Петри, затем субстрат располагали в чашки, придавливали почвой. Почву смачивали до 65% полной влагоемкости. Чашки Петри выдерживались 30 суток при постоянной температуре 27–28 °С, стерильной дистиллированной водой доводя влажность до первоначального уровня.

Ферментативную активность почвы, а также активность целлюлозоразрушающих бактерий оценивали согласно шкалам, предложенным Д.Г. Звягинцевым (1991 г.)⁷.

Проводилась статистическая обработка данных стандартными методами⁸ с помощью стандартных программ Microsoft Excel (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты определения органических веществ и ферментативной активности для Нечерноземья России тесно связаны с сопутствующими факторами — внешними и внутренними биотическими (табл. 2).

За двухлетний период наблюдений количество Сорг изменялось в ряду: *Festuco ovinae-Koelerium delavignei* > контроль > *Agrimonio eupatoriae-Poetum angustifoliae* > *Caro carvi-Deschampsietum* > *Anthoxantho-Agrostietum tenuis* > *Hieracio pilosellae-Agrostietum tenuis* > *Koelerio delavignei-Festucetum rubrae* > *Anthyllidi-Trifolietum montani* > *Polygalo vulgaris-Anthoxanthoetum*.

Наименьшее содержание Сорг зафиксировано в почве суходольных лугов (сильно ксерофитизированных

Таблица 2. Содержание и запасы органического углерода в почвах суходольных лугов в Среднем Подесенье

Table 2. Organic carbon content and reserves in soils of dry meadows in the Middle Podesen'ya

Вариант исследований	Сорг, % M ± m	Запасы Сорг, т/га, M ± m	Слаб., мг / 100 г почвы, % от Сорг почвы M ± m
1 <i>Anthyllidi-Trifolietum montani</i>	1,25 ± 0,04	57,17 ± 2,80	780/45,2
2 <i>Agrimonio eupatoriae-Poetum angustifoliae</i>	1,63 ± 0,04	38,65 ± 2,60	730/35,8
3 <i>Koelerio delavignei-Festucetum rubrae</i>	1,30 ± 0,06	44,84 ± 2,90	730/40,3
4 <i>Anthoxantho-Agrostietum tenuis</i>	1,50 ± 0,04	42,33 ± 3,40	725/38,6
5 <i>Caro carvi-Deschampsietum</i>	1,55 ± 0,05	43,90 ± 2,70	720/37,5
6 <i>Festuco ovinae-Koelerium delavignei</i>	2,01 ± 0,02	44,52 ± 2,50	725/39,0
7 <i>Polygalo vulgaris-Anthoxanthoetum</i>	1,17 ± 0,02	35,27 ± 2,50	715/29,2
8 <i>Hieracio pilosellae-Agrostietum tenuis</i>	1,32 ± 0,04	42,34 ± 1,30	720/35,8
9 Контроль	1,92 ± 0,03	46,15 ± 2,10	

лугов), однако различия с контролем недостоверны. По отношению к контролю наблюдалась закономерность по убыванию количества органического вещества.

Запасы органического углерода выше, чем в контроле, зарегистрированы для овсяницево-келериевого луга, наименьшие — для лугов с истодом хохлатым и душистым колоском, полевицей тонкой (ассоциации *Agrimonio eupatoriae-Poetum angustifoliae*, *Polygalo vulgaris-Anthoxanthoetum*, *Anthoxantho-Agrostietum tenuis*, *Hieracio pilosellae-Agrostietum tenuis*). Показатели увлажнения для злаковых лугов выше, чем для разнотравных, что также оказывает воздействие на запасы и содержание Сорг в почве. Сообщества ассоциаций *Polygalo vulgaris-Anthoxanthoetum*, *Anthoxantho-Agrostietum tenuis*, *Hieracio pilosellae-Agrostietum tenuis* характеризуются экологическими показателями (по шкалам Г. Элленберга): содержание азота — низкое, кислотность субстрата — среднекислая; сообщества ассоциации *Agrimonio eupatoriae-Poetum angustifoliae*: содержание азота — низкое, слабокислая реакция среды. Увлажнение почвы — сообщества формируются на сухих почвах.

Показатели запасов и лабильных веществ были бы больше за двухгодичный интервал исследования, однако длительный засушливый период 2021 года, вероятно, воздействуя лимитирующе на микробиоту почв, а также на продукцию надземной и подземной биомассы растений лугов, снизил цифры запаса Сорг. Установлена положительная сильная корреляционная связь с органическим углеродом и среднемесячным количеством осадков в июне, июле и августе ($R^2 = 0,65$, $R = 0,72$, $R^2 = 0,71$ соответственно).

Ферментативная активность — один из важных показателей скорости биохимических процессов. Фермент уреазы играет важнейшую роль в превращениях азотсодержащих соединений, каталаза — фермент, по активности которого судят о насыщенности слоев почвы микроорганизмы при катализе реакции разложения пероксида водорода как продукта их жизнедеятельности. Накопленные органического углерода почвой и показатели ферментативной активности связаны в единый процесс углеродного цикла. Показатели ферментативной активности приведены в таблице 3 и характеризуют почвы как средние по наличию катализаторов белковой природы.

⁵ Середа Н.А., Валева В.М., Баязитова Р.И., Алибаев А.А. Практикум по агрохимии. Уфа: БГАУ. 2004; 115.

⁶ Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука. 2005; 250.

⁷ Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ. 1991; 304.

⁸ Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука. 1990; 296.

Таблица 3. Активность ферментов почв сеяных и естественных лугов среднего Подесенья

Table 3. Activity of soil enzymes in sown and natural meadows of the Middle Podeseňya

Вариант исследований	AУ, мг N-NH ⁴⁺ на 100 г почвы, М ± m	Катал., см ³ O ₂ на 1 г почвы за 1 мин., М ± m	Скорость разложения бумаги, % в сутки, М ± m
<i>Anthyllidi-Trifolietum montani</i>	15,39 ± 0,09	7,4 ± 0,09	1,16
<i>Agrimonia eupatoria-Poetum angustifoliae</i>	15,91 ± 0,08	7,5 ± 0,09	1,17
<i>Koelerio delavignei-Festucetum rubrae</i>	16,22 ± 0,08	7,8 ± 0,09	1,18
<i>Anthoxantho-Agrostietum tenuis</i>	15,91 ± 0,09	7,9 ± 0,09	1,21
<i>Caro carvi-Deschampsietum</i>	16,31 ± 0,09	7,9 ± 0,09	1,20
<i>Festuco ovinae-Koelerium delavignei</i>	16,14 ± 0,08	8,2 ± 0,09	1,19
<i>Polygalo vulgaris-Anthoxanthoetum</i>	13,86 ± 0,09	6,7 ± 0,09	1,12
<i>Hieracio pilosellae-Agrostietum tenuis</i>	14,33 ± 0,09	5,9 ± 0,09	1,11

За период наблюдений зарегистрировано возрастание количества уреазы и каталазы, что свидетельствует об активизации деятельности микроорганизмов, в почве под мелкозлаковыми лугами. Наибольшие значения ферментативной активности при химической мелиорации выявлены для почв ассоциаций *Caro carvi-Deschampsietum*, *Koelerio delavignei-Festucetum rubrae*, *Festuco ovinae-Koelerium delavignei*. Связь процессов накопления Сорг и уреазы — положительная сильная ($R^2 = 0,69$), Сорг и каталазы — положительная сильная ($R^2 = 0,72$).

Процесс разложения клетчатки, осуществляемый микроорганизмами, — один из важнейших показателей плодородия почвы, определяющих уровень ее биогенности. Клетчатка — один из главных компонентов органического вещества, поэтому скорость ее разложения влияет на скорость разложения органики в почве в целом.

Исследуемые почвы характеризуются средней и малой активностью целлюлазы. Кроме того, на активность

почвенной микрофлоры, определяющей интенсивность разложения целлюлозы, оказывают влияние такие факторы, как количество и состав поступающего опада, кислотность, содержание и качество гумуса почвы.

Наблюдениями установлено повышение уровня целлюлолитической активности в почве мелкозлаковых лугов: выявлена положительная сильная корреляционная связь ($R^2 = 0,72$) с содержанием Сорг.

Выводы/Conclusion

Таким образом, для почв суходольных лугов происхождения впервые для Нечерноземья РФ установлены углеродпоглощительная способность, изменение Сорг и ферментативной активности для уреазы, каталазы, целлюлазы в зависимости от залужающих растений.

При сравнении основных показателей накопления органического углерода, ферментативной активности почв суходольных и кратко- и долгопоемных лугов выяснено, что в почвах суходольных, мелкозлаковых лугов все показатели ниже, чем для естественных лугов с повышенным увлажнением, около нейтральной или слабощелочной реакцией среды.

Полученные результаты используются для решения проблемы декарбонизации, так как помогают выявлять ряд внешних и внутренних факторов, контролирующих поглощение и фиксацию соединений углерода. Накопление органического углерода на староосвоенных территориях дополнит разрабатываемые информационные системы ГИС по его запасам и пространственному распределению для решения проблем изменения климата и обеспечения продовольственной безопасности.

Так как исследование выполнено в рамках общегосударственной программы, ориентированной на расчет почвенной секвестрации углерода и решения проблемы управления почвенным углеродом, в Брянской области России создана мониторинговая база, дополняющая информационный блок о запасах почвенного углерода в наиболее уязвимых луговых сообществах.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в работу.

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the 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

- Анищенко Л.Н., Поцелай 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; (9): 120–125. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-120-125>
- Huguenin-Elie O., Delaby L., Klumpp K., Lemaufiel-Lavencant S., Ryschawy J., Sabatier R. The role of grasslands in biogeochemical cycles and biodiversity conservation. Marshall A., Collins R. (eds.). *Improving grassland and pasture management in temperate agriculture*. Cambridge, UK: *Burleigh Dodds Science Publishing*. 2018: 1–27.
- Schjenning P. et al. The Role of Soil Organic Matter for Maintaining Crop Yields: Evidence for a Renewed Conceptual Basis. *Advances in Agronomy*. 2018; 150: 35–79. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.03.001>
- Когут Б.М., Семенов В.М., Артемьева З.С., Данченко Н.Н. Дегумусирование и почвенная секвестрация углерода. *Агрехимия*. 2021; (5): 3–13. <https://doi.org/10.31857/S0002188121050070>
- Поцелай 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. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-1-39-44>
- Поцелай С.Н., Анищенко Л.Н., Шаповалов В.Ф., Семышев М.В., Капозко Н.А., Атрошенко П.П. К оценке накопления органических веществ, ферментативной и микробиологической активности почв сеяных и естественных лугов. *Агрехимический вестник*. 2022; (2): 48–52. <https://www.elibrary.ru/gxbzjw>

REFERENCES

- Anishchenko L.N., Potsepai S.N., Spravtsev A.A., Vakina 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; (9): 120–125 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-120-125>
- Huguenin-Elie O., Delaby L., Klumpp K., Lemaufiel-Lavencant S., Ryschawy J., Sabatier R. The role of grasslands in biogeochemical cycles and biodiversity conservation. Marshall A., Collins R. (eds.). *Improving grassland and pasture management in temperate agriculture*. Cambridge, UK: *Burleigh Dodds Science Publishing*. 2018: 1–27.
- Schjenning P. et al. The Role of Soil Organic Matter for Maintaining Crop Yields: Evidence for a Renewed Conceptual Basis. *Advances in Agronomy*. 2018; 150: 35–79. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.03.001>
- Kogut B.M., Semenov V.M., Artemyeva Z.S., Danchenko N.N. Humus depletion and soil carbon sequestration. *Agrokhimiya*. 2021; (5): 3–13 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188121050070>
- Potsepai S.N., Belchenko S.A., Anishchenko L.N. Productivity and ecological and chemical characteristics of sown meadows of Podeseňya in natural conditions (Bryansk region). *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2019; (1): 39–44 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-1-39-44>
- Potsepai S.N., Anishchenko L.N., Shapovalov V.F., Semyshev M.V., Kaposhko N.A., Atroshenko P.P. To estimation of accumulation of organic substances, enzymatic and microbiological activity of seeded and natural meadows soils. *Agrochemical Herald*. 2022; (2): 48–52 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/gxbzjw>

7. Пуртова Л.Н., Шапова Л.Н., Емельянов А.Н., Босенко В.М. Влияние различных фитомелиорантов на плодородие агрогенных почв Приморья. *Вестник КрасГАУ*. 2017; (10): 121–129. <https://www.elibrary.ru/zrsxhj>
8. Gougoulias C., Clark J.M., Shaw L.J. The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014; 94(12): 2362–2371. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6577>
9. Sequeira C.H., Wills S.A., Seybold C.A., West L.T. Predicting soil bulk density for incomplete databases. *Geoderma*. 2014; 213: 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.013>
10. Чесалин С.Ф., Смольский Е.В., Белоус И.Н. Эффективность минеральных удобрений в реализации продуктивности радиоактивно загрязненных естественных кормовых угодий. *Агрохимический вестник*. 2022; (2): 37–42. <https://www.elibrary.ru/yqelno>
11. Воронов А.Г. (ред.). Луга Нечерноземья. М.: Издательство МГУ. 1984; 159.
12. Rodríguez-Lado L., Rial M., Taboada T., Cortizas A.M. A Pedotransfer Function to Map Soil Bulk Density from Limited Data. *Procedia Environmental Sciences*. 2015; 27: 45–48. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.112>
13. Чернова О.В., Рыжова И.М., Подвезенная М.А. Оценка запасов органического углерода лесных почв в региональном масштабе. *Почвоведение*. 2020; (3): 340–350. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20030028>
14. Lal R. Soil organic matter content and crop yield. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2020; 75(2): 27A–32A. <https://doi.org/10.2489/jswc.75.2.27A>
15. Шепасченко Д.Г., Мухортова Л.В., Швиденко А.З., Ведрова Э.Ф. Запасы органического углерода в почвах России. *Почвоведение*. 2013; (2): 123–132. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13020123>
7. Purtova L.N., Shchapova L.N., Emelyanov A.N., Bosenko V.M. The influence of various phytoameliorants on the fertility of agrogenic soils of Primorye Territory. *Bulletin of KrasGAU*. 2017; (10): 121–129 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zrsxhj>
8. Gougoulias C., Clark J.M., Shaw L.J. The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014; 94(12): 2362–2371. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6577>
9. Sequeira C.H., Wills S.A., Seybold C.A., West L.T. Predicting soil bulk density for incomplete databases. *Geoderma*. 2014; 213: 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.013>
10. Chesalin S.F., Smolsky E.V., Belous I.N. Efficiency of mineral fertilizers in realization of productivity of radioactively contaminated natural fodder lands. *Agrochemical Herald*. 2022; (2): 37–42 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yqelno>
11. Voronov A.G. (ed.). Meadows of the Non-Black Soil Zone. Moscow: Moscow State University Publishing House. 1984; 159 (in Russian).
12. Rodríguez-Lado L., Rial M., Taboada T., Cortizas A.M. A Pedotransfer Function to Map Soil Bulk Density from Limited Data. *Procedia Environmental Sciences*. 2015; 27: 45–48. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.112>
13. Chernova O.V., Ryzhova I.M., Podvezennaya M.A. Assessment of Organic Carbon Stocks in Forest Soils on a Regional Scale. *Eurasian Soil Science*. 2020; 53(3): 339–348. <https://doi.org/10.1134/S1064229320030023>
14. Lal R. Soil organic matter content and crop yield. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2020; 75(2): 27A–32A. <https://doi.org/10.2489/jswc.75.2.27A>
15. Schepaschenko D.G., Mukhortova L.V., Shvidenko A.Z., Vedrova E.F. The pool of organic carbon in the soils of Russia. *Eurasian Soil Science*. 2013; 46(2): 107–116. <https://doi.org/10.1134/S1064229313020129>

ОБ АВТОРАХ

Светлана Николаевна Поцепай¹

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент института экономики и агробизнеса
snpotsepai@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4969-3189>

Лидия Николаевна Анищенко²

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры географии, экологии и землеустройства
lanishchenko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6600-6010>

Михаил Васильевич Семышев¹

кандидат педагогических наук, доцент, доцент института экономики и агробизнеса
mwsem@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0496-1509>

Павел Петрович Атрошенко¹

аспирант
bgsha@bgsha.com
<https://orcid.org/0009-0001-8295-9252>

ABOUT THE AUTHORS

Svetlana Nikolaevna Potsepai¹

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Institute of Economics and Agribusiness
snpotsepai@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4969-3189>

Lidiya Nikolaevna Anishchenko²

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Geography, Ecology and Land Management
lanishchenko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6600-6010>

Mikhail Vasil'evich Semyshev¹

Candidate of Pedagogical Sciences Associate Professor Associate Professor at the Institute of Economics and Agribusiness
mwsem@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0496-1509>

Pavel Petrovich Atrashenko¹

Postgraduate Student
bgsha@bgsha.com
<https://orcid.org/0009-0001-8295-9252>

¹Брянский государственный аграрный университет, ул. Советская, 2А, Кокино, Выгоничский р-н, Брянская обл., 243365, Россия

²Брянский государственный университет им. академика И.Г. Петровского, ул. Бежицкая, 14А, Брянск, 241036, Россия

¹Bryansk State Agrarian University, 2A Sovetskaya Str., Kokino, Vygonichy district, Bryansk region, 243365, Russia

²Bryansk State University named after academician I.G. Petrovsky, 14A Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russia