

СТАТЬИ

УДК 551.311.234:630*114.35

DOI 10.17513/use.38203

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНОГО ОПАДА
В РАЗЛИЧНЫХ СУБСТРАТНЫХ УСЛОВИЯХ
НОВООБРАЗОВАННЫХ ПОЧВ
БЕЛЛИГЕРАТИВНЫХ ЛАНДШАФТОВ****Голеусов П.В.***ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: goleusov@bsu.edu.ru*

В статье представлены результаты экспериментального определения состава, динамики и трансформации опада и подстилки в различных субстратных условиях лесных экосистем, сформировавшихся на участках, нарушенных ведением боевых действий в период Великой Отечественной войны. Проведено сравнение показателей деструкционного блока экосистем при различном сочетании субстратно-фитоценологических условий. Определены показатели массы подстилки, ее состава, опадо-подстилочные коэффициенты, коэффициенты трансформации и гумификации опада. Установлено, что эти показатели определяются как типом лесных сообществ, так и субстратными условиями. Ежегодно в органическое вещество почв переходит от 6 до 14% массы лесного опада, в зависимости от субстратных условий. В почву рецентных лесных экосистем бelligеративных ландшафтов Курской битвы поступает ежегодно от 174 до 552 г/м² опада, что после гумификации приводит к накоплению до 50 г/м² органического вещества в почве. На песчаных субстратах коэффициент гумификации выше, подстилка разлагается быстрее, а почвы характеризуются более высокой биологической активностью, чем на суглинистых и глинистых субстратах. Почвообразовательная способность определенного типа лесного биогеоценоза зависит от таких факторов, как количество опада, его биохимический состав, свойства эдафотопы.

Ключевые слова: лесной опад, лесная подстилка, трансформация опада, гумификация, органическое вещество почв, эдафические условия, новообразованные почвы, бelligеративные ландшафты

**TRANSFORMATION OF FOREST LITTER IN DIFFERENT
SUBSTRATE CONDITIONS OF NEWLY FORMED SOILS
OF BELLIGERATIVE LANDSCAPES****Goleusov P.V.***Belgorod National Research University, Belgorod, e-mail: goleusov@bsu.edu.ru*

The article presents the results of an experimental determination of the composition, dynamics and transformation of forest fall and litter in various substrate conditions of forest ecosystems formed in areas disturbed by military operations during the II World War. A comparison was made of the indicators of the destruction block of ecosystems under different combinations of substrate-phytocenotic conditions. Indicators of litter mass, its composition, fall-litter coefficients, coefficients of transformation and humification of litter were determined. It has been established that these indicators are determined both by the type of forest ecosystems and substrate conditions. Every year, from 6 to 14% of the mass of forest fall passes into soil organic matter, depending on substrate conditions. The soil of recent forest ecosystems of the belligerative landscapes of the Battle of Kursk receives annually from 174 to 552 g/m² of litter, after humification leading to the accumulation of up to 50 g/m² of organic matter in the soil. On sandy substrates, the humification coefficient is higher, litter decomposes faster, and soils are characterized by higher biological activity than on loamy and clayey substrates. The soil-forming potential of a certain type of forest biogeocenosis depends on factors such as: the amount of litter, its biochemical composition, properties of edaphotope.

Keywords: forest fall, forest litter, litter transformation, humification, soil organic matter, edaphic conditions, newly formed soils, belligerative landscapes

В лесных экосистемах основная часть (82–93%) органического вещества поступает в почву с опадом надземных частей древесного яруса [1]. Трансформация органического вещества является ведущим элементарным процессом почвообразования на начальных стадиях развития почв посттехногенных ландшафтов [2]. Особенность новообразованных почв антропогенно нарушенных ландшафтов связана с высокой зависимостью их свойств от субстратных условий и, как следствие, сильной варибель-

ностью результатов почвообразования [3]. Целью данного исследования является экспериментальная оценка показателей трансформации и гумификации подстилки в лесных экосистемах бelligеративных ландшафтов времен Курской битвы. Полученные данные дополняют более распространенные сведения о функционировании деструкционного блока экосистем в посттехногенных ландшафтах [4–6], а также оценки поступления и депонирования органического вещества в их новообразованных почвах [7–10].

Материалы и методы исследования

Исследования проведены в экосистемах, восстановившихся после прекращения боевых действий в 1943 г., приуроченных к линиям обороны советских и германских войск в окрестностях Белгорода, Белгородском и Яковлевском районах. Их особенностью является локальное нарушение почвенного покрова при сооружении окопов, траншей, в результате взрывов, а также почти полное уничтожение древостоя с последующим его порослевым и семенным возобновлением. В урочище Сосновка г. Белгорода в 1948 г. были произведены лесопосадки сосны обыкновенной, т.е. лесовозобновление было искусственным. Все учеты опада и подстилки, а также эксперименты по трансформации и гумификации проводили на нарушенных участках: брустверах окопов, выбросах из воронок, т.е. на новообразованных почвах с мощностью гумусового горизонта 5–14 см. Во всех случаях сомкнутость древостоя была не ниже 70%. Околоствольные и межкрупные пространства исключали. Учет опада и подстилки производили в 3–4-кратной повторности выборкой из шаблонных рамок 25×25 см, с последующим ручным разбором и взвешиванием фракций в абсолютном сухом состоянии (высушивание в термостате при температуре 105°C не менее 4 ч с контролем массы до полного высыхания). Для оценки динамики состава подстилки определения производили в 4 срока: в октябре, после листопада, в апреле, июле, сентябре. Всего исследовано 45 объектов.

Для оценки трансформации и гумификации опада проводили эксперимент в пластиковых (ПЭТ) емкостях, с перфорированным дном, заполненных почвой массой 100 г, в которой предварительно определяли содержание органического вещества по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО. В емкости поверх почвы закладывали навески свежего опада в реальном соотношении компонентов (определенном заранее), в количестве, обеспечивающем прибавку гумуса в 20%,

и закрывали полимерной сеткой с ячейкой 2×2 мм для предотвращения поступления нового опада. Емкости в 3-кратной повторности + контроль (почва без растительного материала) экспонировали в почвенных траншеях глубиной 7 см в октябре сроком на 1 год. Для проведения эксперимента выбрано 10 объектов, различающихся сочетанием субстратно-фитоценологических условий. После экспонирования остатки опада взвешивали, а в почве определяли содержание органического вещества. По полученным данным производили расчет коэффициентов трансформации и гумификации опада.

Расчет коэффициента гумификации (K_r) вели по формуле [11]:

$$K_r = [(B - A) + (A - B)] \cdot 1,724 / \Gamma,$$

где K_r – коэффициент гумификации; А – содержание углерода в исходной почве, Б – после разложения, %; В – содержание углерода в почве контрольного образца после экспонирования, %; Г – масса растительных остатков, г; 1,724 – коэффициент перевода углерода в гумус.

Коэффициент трансформации ($K_{тр}$) рассчитывали как отношение убыли массы опада после разложения к исходной массе опада.

Для оценки биологической (целлюлозолитической) активности почвы в апреле на тех же объектах закладывали неокрашенное льняное полотно, пришитое к полиэтиленовым подложкам, в профили новообразованных почв сроком на 2 месяца (аппликационный метод [12]), в 3-кратной повторности.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе анализа данных учета опада по 45 объектам, автором выделено 5 типов лесных фитоценозов, различающихся количеством опада (табл. 1), независимо от субстратных условий. Больше всего опада образуется в кленовых и липовых лесах, их насаждения превосходят по количеству ежегодного опада дубняки, а те, в свою очередь, – сосновые леса.

Таблица 1

Средняя масса и размах варьирования древесного опада (г/м²) в разных типах лесных экосистем бelligеративных ландшафтов

Сосняки (травяные)	Осинники (осоковые, злаковые)	Дубняки (снытьевые, осоковые)	Липо-(клено-) дубняки (снытьевые, осоковые)	Кленовые и липовые леса (снытьевые, осоковые)
226,16 (173,60–270,72)	360,96 (305,28–431,84)	389,90 (295,68–475,68)	430,14 (318,72–524,00)	458,40 (369,44–551,84)

Таблица 2

Масса подстилки, опада (г/м²) и опадо-подстилочные коэффициенты (ОПК) для различных экотопов лесных экосистем беллигеративных ландшафтов

Субстрат	Тип леса									
	Сосняк		Осинник		Дубрава		Липо-(клено-) дубняк		Кленовый, липовый лес	
	Под-стилка Опад	ОПК	Под-стилка Опад	ОПК	Под-стилка Опад	ОПК	Под-стилка Опад	ОПК	Под-стилка Опад	ОПК
Песок	$\frac{1010}{244}$	4,14	$\frac{355}{396}$	0,90	$\frac{1044}{383}$	2,73	–	–	$\frac{387}{439}$	0,88
Суглинок	–	–	$\frac{347}{299}$	1,16	$\frac{664}{390}$	1,70	$\frac{616}{470}$	1,31	$\frac{361}{460}$	0,78
Глина	–	–	$\frac{494}{354}$	1,40	$\frac{754}{402}$	1,88	$\frac{836}{453}$	1,84	–	–
Мел	–	–	–	–	$\frac{1189}{378}$	3,15	$\frac{858}{435}$	1,97	$\frac{647}{478}$	1,35



Рис. 1. Фракционный состав подстилки (%) в разных типах леса

После отделения свежего опада его масса сопоставлена с массой подстилки – неразложившегося опада прошлых лет, рассчитан

опадо-подстилочный коэффициент, который может быть использован для оценки интенсивности разложения опада и косвенно –

скорости биологического круговорота. Результаты представлены в табл. 2. Учитывая, что на скорость разложения подстилки влияет тип субстрата, результаты дифференцированы по четырем типам почвообразующих пород: песок, суглинок (в разной степени выщелоченный от карбонатов), глина и мел. В целом состав опада существенно определяет скорость его трансформации. Быстрее всего разлагается опад клена остролистного, медленнее – дуба и сосны.

Тип субстрата также влияет на скорость разложения подстилки: ОПК выше на мелу, чем на глине и суглинке. На песке ОПК зависит от состава опада: в дубравах и сосняках, опад которых разлагается медленнее опада мягколиственных пород, происходит накопление подстилки на песчаном суб-

страте, в то время как под осиновым и кленовым лесом масса опада превышает массу подстилки в этих эдафических условиях.

О степени и скорости трансформации опада может свидетельствовать состав подстилки. Были выделены три фракции: листья (хвоя), веточки и труха, которая представляет собой результат фрагментации опада в процессе его разложения. Фракция трухи накапливается, если в почвах нет или мало ее потребителей – крупных сапрофагов, в первую очередь дождевых червей. На рис. 1 представлено соотношение фракций подстилки в некоторых исследованных типах леса.

Доля трухи выше в сосновых и дубовых лесах, что характеризует замедление разложения подстилки в этих экосистемах.

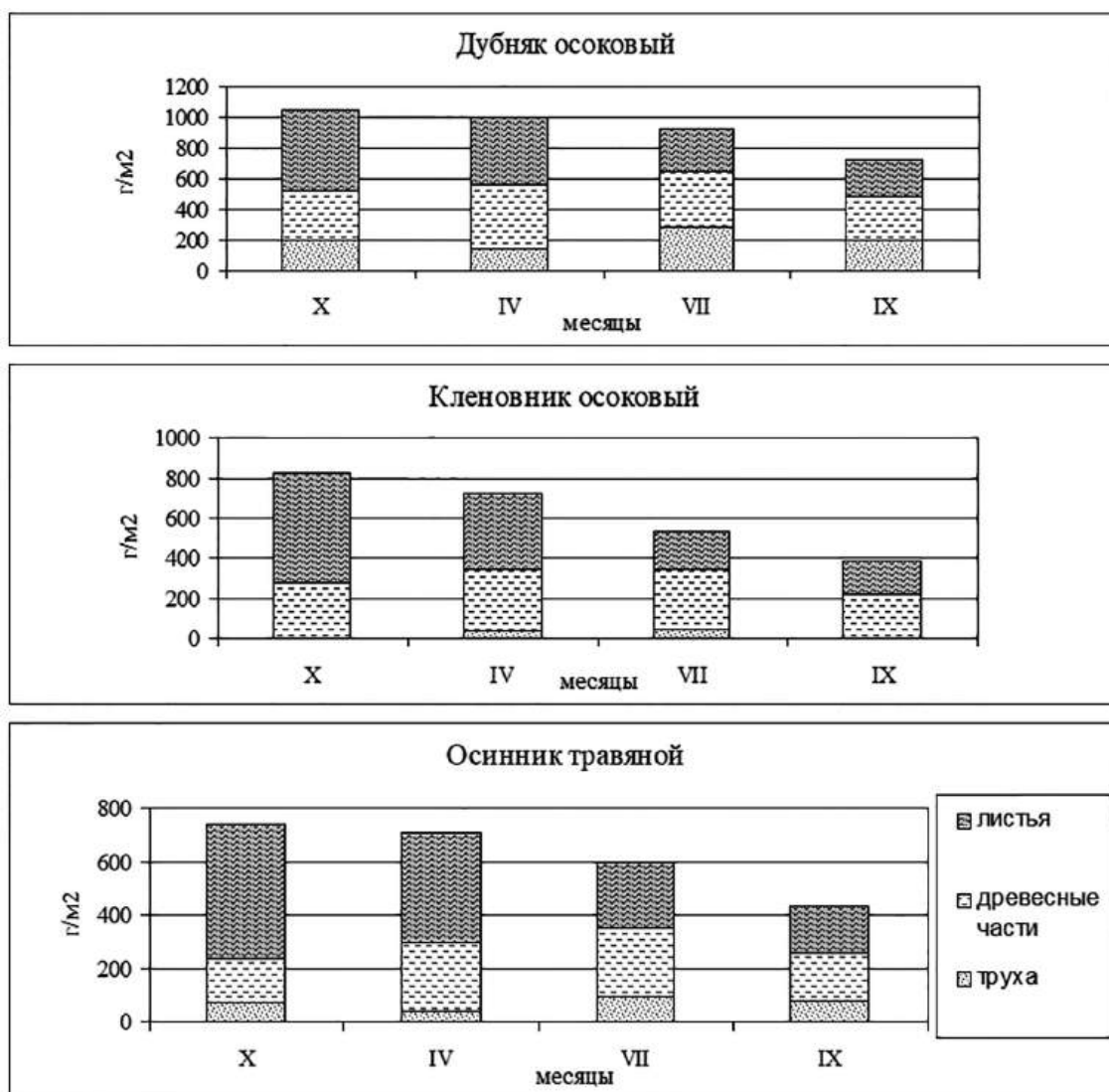


Рис. 2. Динамика запаса и фракционного состава подстилки в разных типах леса

Таблица 3

Коэффициенты гумификации (K_r), трансформации ($K_{тр}$)
и биологическая активность почв (БАП) в различных лесных экотопах

Тип леса (состав*)	ОВП в гор. А, %**	$K_{тр}$	K_r	$K_r / K_{тр}$	БАП, % разложения полотна
Песок					
Дубняк травяно-мертвопокровный (10Д)	2,78	0,55	0,10	0,18	41,38
Сосново-березовый лес травяной (7БЗС)	2,44	0,64	0,13	0,20	52,86
Дубо-осинник осоковый (8О2Д)	2,46	0,60	0,14	0,23	41,67
Дубо-липо-кленовник осоковый (7Ко2Л1Д+О)	3,22	0,72	0,09	0,13	47,58
Суглинок лессовидный карбонатный					
Дубняк осоковый (10Д)	5,22	0,54	0,07	0,13	18,49
Дубо-кленовник снытьевый (8Ко2Д)	4,94	0,56	0,08	0,14	42,60
Клено-дубняк осоковый (8Д2Ко)	4,14	0,52	0,06	0,12	25,66
Суглинок лессовидный выщелоченный					
Липо-дубняк осоковый (7ДЗЛ)	3,72	0,55	0,09	0,16	30,25
Глина					
Дубняк травяно-мертвопокровный (10Д)	4,93	0,41	0,07	0,17	19,68
Мел					
Дубняк снытьевый (10Д)	4,96	0,40	0,08	0,20	24,29

Примечание: * – формула древостоя (общепринятые сокращения названий древесных пород и их доля в лесном пологом); ** – содержание органического вещества в почве перед проведением эксперимента.

Чтобы выявить период наиболее активной трансформации и гумификации подстилки, были проведены ее учеты в четыре срока, с оценкой фракционного состава. Результаты представлены на рис. 2.

В весенне-летний период происходит наиболее активная трансформация и, вероятно, гумификация подстилки. Перед листопадом достигаются минимальные значения запаса подстилки. Доля трухи максимальна в летний период, чему способствует активная трансформация опада с его фрагментацией, а потом снижается вследствие активизации деятельности сапрофагов в осенний период.

Наиболее информативным для оценки потока органического вещества в почву исследованных экосистем стало экспериментальное определение коэффициентов трансформации и гумификации лесного опада. Результаты двухфакторного эксперимента (тип леса/тип субстрата) представлены в табл. 3.

Безусловно, соблюсти чистоту эксперимента было довольно сложно. Это связано с особенностями методики: емкости хотя и обеспечивали доступ сапрофагов в под-

стилку, но считать этот доступ аналогом их природной активности нельзя. Отток жидкости из емкостей, несмотря на перфорирование дна, вероятно, также не был полностью аналогичен природному. Различия субстратов были связаны не только с их водно-физическими свойствами, но и с разным исходным содержанием органического вещества (гумуса). Для оценки процессов биологической (целлюлозолитической) активности использовали степень разложения льняного полотна.

За год в эксперименте трансформировалось от 40 до 72% опада. Наиболее активной трансформация была на песке, наименьшей – на мелу. Коэффициенты гумификации, как свидетельствуют данные табл. 3, также в большей степени зависят от типа субстрата, чем от типа опада, варьируют от 0,06 до 0,14, что соответствует максимальному поступлению гумуса до 50 г/м² в год. Еще раз подчеркнем, что речь идет о гумификации свежего опада, а не подстилки в целом. Поэтому реальное поступление органического вещества в почву в исследованных объектах несколько выше, в том числе и с учетом опада и отпада корней.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что в почвах легкого механического состава происходит довольно интенсивный оборот органического вещества с его минерализацией, как в виде детрита, так и в виде гумуса. В итоге органическое вещество в песчаных почвах накапливается менее интенсивно, чем на субстратах с более развитыми сорбционными свойствами. Этому способствует относительно высокая микробиологическая активность почв (см. колонку «БАП» в табл. 3). Эффективность гумификации (выраженная в отношении K_f/K_{tr}) также снижается с утяжелением механического состава почвы. Интересно, что наличие карбонатного субстрата (мел) способствует повышению эффективности гумификации, несмотря на то, что трансформация опада имеет на этом субстрате минимальное значение. Вероятно, в данном случае сказывается фиксация про-гумусовых веществ ионами кальция.

Выявлена отрицательная статистическая зависимость коэффициентов трансформации и гумификации от исходного содержания гумуса в почве. Для K_{tr} она составила ($r \pm S_r$) $-0,66 \pm 0,26$, для K_f $-0,84 \pm 0,19$, значима при $P = 0,95$. Можно предположить, что интенсивность трансформации и гумификации находится в обратной нелинейной зависимости от исходного содержания гумуса в почве, с учетом ее гранулометрического состава. Но так как этот фактор связан с различием почвообразующих пород и в эксперименте не учитывался, то данная закономерность нуждается в специальной проверке на одном типе субстрата с разным содержанием органического вещества. В работе [13] отмечается, что способность почвы накапливать углерод зависит от ее гранулометрического состава и степени насыщенности органическим веществом.

Таким образом, в ходе проведенного исследования автором получены эмпирические обоснования причин установленных ранее [4] различий результатов рецентного почвообразования в почвах беллигеративных ландшафтов Курской битвы. Эти различия определяются количеством и составом опада, а также типом почвообразующей породы новообразованных почв, их способностью накапливать продукты гумификации. Для ускоренного воспроизводства почв антропогенно нарушенных ландшафтов (посттехногенных, беллигеративных и др.) важно дать оценку в первую очередь субстратных условий, при необходимости

их оптимизировать, а затем подобрать тип растительного сообщества, который будет обеспечивать максимальное поступление органического вещества в почву. Среди исследованных зональных лесных экосистем такой способностью обладают фитоценозы, сформированные дубом со значительным участием клена остролистного и липы сердцевидной. Чистые дубовые насаждения формируют менее значительный поток органического вещества в почву и, соответственно, меньший почвообразовательный потенциал, по сравнению со спутниками дуба – кленом и липой.

Заключение

В почву рецентных лесных экосистем беллигеративных ландшафтов Курской битвы поступает ежегодно от 174 до 552 г/м² опада, который трансформируется с различной интенсивностью, но не менее чем на 40% (до 72%) в первый год, приводя к накоплению до 50 г/м² органического вещества в почве.

Проведенные исследования подтверждают предположение о дифференцирующем влиянии на деструкционный блок лесных экосистем сочетания субстратно-фитоценологических условий. При этом тип субстрата в таком влиянии более значим, чем состав древостоя (опада), так как формирует эдафические условия для почвенных деструкторов органического вещества и физико-химические условия образования в почве гумуса и его накопления. Почвообразовательная способность определенного типа лесного биогеоценоза зависит от таких факторов, как количество опада, его биохимический состав, свойства эдафотопы.

В управлении процессом формирования лесных экосистем в антропогенно нарушенных ландшафтах важно разумно сочетать оба фактора, использовать их наиболее эффективные комбинации в конкретных субстратных условиях.

Список литературы

1. Ремезов Н.Н. Разложение лесной подстилки и круговорот элементов в дубовом лесу // Почвоведение. 1961. № 7. С. 1–12.
2. Соколов Д.А., Андроханов В.А., Кулижский С.П., Доможакова Е.А., Лойко С.В. Морфогенетическая диагностика процессов почвообразования на отвалах каменноугольных разрезов Сибири // Почвоведение. 2015. № 1. С. 106–117.
3. Голесов П.В. Формирование почв в различных комбинациях субстратно-фитоценологических условий лесостепной зоны // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1050–1060.
4. Шугалей Л.С. Лесное почвообразование на отвалах вскрышных пород угольного разреза Назаровской котловины // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодей-

ствий в почвах и почвенном покрове: сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ (Томск, 7–11 сентября 2015 г.) / Под ред. С.П. Кулижского (отв. ред.), Е.В. Каллас, А.В. Родиковой, Т.А. Новокрещенных. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. С. 473–476.

5. Дубынина С.С. Пространственно-временные изменения надземной массы в экосистемах отвалов после угледобычи // Успехи современного естествознания. 2017. № 9. С. 57–62.

6. Колмогорова Е.Ю., Уфимцев В.И. Некоторые особенности химического состава опада сосны обыкновенной, произрастающей в условиях породного отвала // Успехи современного естествознания. 2018. № 11–2. С. 267–272.

7. Трефилова О.В., Спорыхина Т.А. Балансовый метод в оценке скорости гумусообразования на породных промышленных отвалах // Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века. Новосибирск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2017. С. 208–211.

8. Кузнецова А.И., Лукина Н.В., Тихонова Е.В., Горнов А.В., Горнова М.В., Смирнов В.Э., Гераськина А.П., Шевченко Н.Е., Тебенькова Д.Н., Чумаченко С.И. Аккумуляция углерода в песчаных и суглинистых почвах равнинных

хвойно-широколиственных лесов в ходе восстановительных сукцессий // Почвоведение. 2019. № 7. С. 803–816.

9. Кузнецова А.И., Лукина Н.В., Горнов А.В., Горнова М.В., Тихонова Е.В., Смирнов В.Э., Данилова М.А., Тебенькова Д.Н., Браславская Т.Ю., Кузнецов В.А., Ткаченко Ю.Н., Геникова Н.В. Запасы углерода в песчаных почвах сосновых лесов на западе России // Почвоведение. 2020. № 8. С. 959–969.

10. Лиханова И.А., Кузнецова Е.Г., Холопов Ю.В., Денева С.В., Лаптева Е.М. Почвенное органическое вещество и запасы углерода в почвах техногенных ландшафтов средней тайги европейского северо-востока России // Лесохозяйственная информация. 2022. № 3. С. 125–134.

11. Чесняк Г.Я. К методике определения коэффициентов гумификации растительных остатков и навоза в черноземах типичных лесостепи в условиях зерново-свекловичного оборота // Агрохимия и почвоведение. 1986. Вып. 49. С. 79–84.

12. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 224 с.

13. Когут Б.М., Семенов В.М. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 103–124.