Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 631.41

Характеристика гумусового состояния дерново-подзолистых почв Лесной Опытной Дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Наумов В.Д., Каменных Н.Л., Лосев А.И.

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация

В статье приведены результаты исследования гумусовых горизонтов дерново-подзолистых почв постоянных пробных площадей Лесной Опытной Дачи РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. В сезонной динамике в верхних горизонтах почв под древостоями различного состава определяли мощность лесной подстилки, полевую влажность почв, содержание и групповой состав гумуса, актуальную, потенциальную, гидролитическую кислотность. Проведен анализ закономерностей изменения данных показателей в зависимости от состава древостоя.

Ключевые слова: ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ, ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫЕ ПОЧВЫ, ГУМУС, ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВЫ

Вопросы взаимодействия лесного сообщества с почвой имеют большую историю. Один из актуальных вопросов, который определяет характер взаимодействия, – это исследование верхнего гумусового горизонта дерново-подзолистых почв, в наибольшей степени подверженного воздействию лесного сообщества. Малоизученным остается вопрос о динамике изменения гумусовых горизонтов дерново-подзолистых почв по сезонам и годам ввиду большого количества факторов (естественных, антропогенных), влияющих на его состав и свойства. Лесная опытная дача (ЛОД) представляет собой уникальный объект, где на постоянных пробных площадях (ППП) ведутся наблюдения за состоянием древостоя на протяжении более 150 лет, что позволяет получать результаты, проверенные временем, и дает возможность оценить во времени характер влияния лесного сообщества на окружающую среду, в том числе и на почву. Территории под лесом характеризуются высокой пестротой почвенного покрова и анизотропностью. Особенность этих территорий определяется спецификой взаимодействий почвы с древесной и напочвенной растительностью, перераспределения водных потоков (как вертикальных, так и

горизонтальных) и солнечного света, животных и антропогенного фактора. Все это осложняется условиями, когда лесное сообщество развивается в условиях крупного мегаполиса, как в случае Лесной опытной дачи [1-8].

Сложное взаимодействие лесной растительности с почвой объясняет и различие полученных разными авторами результатов. В некоторых публикациях по ЛОД обнаруживаются корреляции (например, зависимость мощности гумусовых горизонтов от состава древостоя) [5, 9], в других работах на той же территории математических закономерностей между теми же факторами не обнаруживается [6, 7, 10].

Гумусовый горизонт – самый верхний слой минеральной части почвенного профиля. Сквозь него происходит воздействие атмосферных осадков, солнца, ветра, животных, растений, антропогенного фактора и прочих агентов на почву и почвообразование. Все это делает горизонт А1 одним из самых динамичных в почвенном профиле.

Состав и свойства дерново-подзолистых почв, формирующихся под лесной растительностью, в значительной степени определяется лесной подстилкой. Известно, что количество поступающего органического вещества на поверхность почвы с опадом, отпадом, наземной растительностью, определяет строение и состав лесной подстилки, а ее влияние на свойства почвы будет зависеть от её количества, химического состава, условий минерализации и поступления продуктов разложения в почву.

Объектом исследования были три постоянные пробные площади (ППП) IV квартала ("Э", "Ъ" и "Е") и одна пробная площадь III квартала ("Е") Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (далее ЛОД). Характеристика наземной растительности пробных площадей, состав древостоя представлены в таблице 1.

На исследуемых пробных площадях в сезонной динамике (16 мая, 10 июля и 22 октября 2018 года) было заложено по 3 прикопки. Размещение точек отбора проводилось на периферии кроны с северной стороны доминирующего в древостое растения (лиственницы на пробной площади IV-Ъ, на остальных – сосны). Образцы почв отбирались равномерно по всей мощности гумусового горизонта (А1), образцы лесных подстилок – путем срезания всей мощности подстилки с площади 50х50 см непосредственно над точкой отбора образца почвы. Измерялись мощность гумусовых горизонтов и лесных подстилок.

Результаты анализов почв и лесных подстилок, проведенных в соответствии с ГОСТ, представлены в таблицах 2, 3.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Таблица 1. Состав древостоя и напочвенного покрова постоянных пробных площадей

Квартал и пробная площадь	III -Е	IV-Е	IV-Ъ	IV-Э
Состав древостоя [10]	I.10С+Б II.7Д3Кл ед. Лп, В	I. 9С1Кл, Лп ед. Б, Д, В; II.10Кл	10Л+Б ед. Д, Лп, Кл, В	7С2Д1Б+Кл ед. В, Лп
Описание	Сложное, чистое хвойное (сосновое) насаждение. Напочвенный покров редкий, представлен недотрогой и папоротником, большая часть поверхности почвы лишена растительности.	Сложное, смешанное хвойное с преобладанием сосны насаждение. Напочвенный покров густой, почти вся поверхность почвы покрыта осокой с примесью папоротника.	Простое чистое хвойное насаждение лиственницы. Напочвенный покров редкий, представлен, в основном, папоротником, большая часть поверхности почвы лишена растительности.	Простое смешанное насаждение с преобладанием хвойных. Напочвенный покров редкий, представлен недотрогой и папоротником, большая часть поверхности почвы лишена растительности.

Таблица 2. Результаты анализов образцов лесных подстилок

Квартал, пробная площадь, состав древостоя, почва, месяц			Подстилка (n=3)			
			Влажность, %	pH H_2O	pH KCl	Нг, мг-экв/100г
III-Е	I.10С+Б; II.7Д3Кл ед. Лп, В	Май	41,80	4,50	4,14	38,56
		Июль	37,94	4,57	4,10	24,88
		Октябрь	55,70	4,69	4,13	33,72
IV-Е	I. 9С1Кл, Лп ед. Б, Д, В; II. 10Кл	Май	33,55	4,47	4,04	33,46
		Июль	29,31	4,64	4,10	36,04
		Октябрь	46,06	4,67	4,27	33,55
IV-Ъ	10л+Б ед. Д, Лп, Кл, В	Май	34,22	4,85	4,09	30,51
		Июль	31,23	4,77	4,15	30,15
		Октябрь	49,91	4,82	4,22	32,56
IV-Э	7С2Д1Б+Кл ед. В, Лп	Май	41,92	4,77	4,28	32,76
		Июль	38,16	4,97	4,32	22,54
		Октябрь	62,87	4,65	4,22	32,83

Таблица 3. Результаты анализов образцов почв

Квартал, пробная площадь, состав древостоя, почва, месяц			Гумусовый горизонт (n=3)									
			Влажность, %	pH H_2O	pH KCl	Нг, мг-экв/100г	Гумус, %	Собщ, %	Сгк, % от Собщ	Сфк, % от Собщ	Сгк:Сфк	Гумин, % от Собщ
III-Е	I.10С+Б; II.7Д3Кл ед. Ли, В	Май	27,36	4,25	3,72	14,39	4,90	2,41	22,08	34,59	0,65	43,33
		Июль	24,91	4,21	3,80	14,05	5,13	2,59	22,97	31,31	0,74	45,72
		Октябрь	38,94	4,26	3,80	14,44	5,46	3,01	23,45	45,28	0,52	31,27
IV-Е	I. 9С1Кл,Лп ед. Б, Д, В; II. 10Кл	Май	26,84	4,17	3,66	16,54	6,06	3,78	21,76	34,95	0,66	43,30
		Июль	24,56	4,20	3,73	16,53	6,87	3,99	25,58	33,68	0,77	40,73
		Октябрь	38,63	4,31	3,84	14,83	5,71	3,31	24,54	42,53	0,58	32,93
IV-Ъ	10л+Б ед. Д, Ли, Кл, В	Май	26,45	4,55	3,79	13,75	4,08	2,71	23,32	36,56	0,68	40,12
		Июль	22,17	4,50	3,84	13,61	4,12	2,39	22,56	36,24	0,64	41,20
		Октябрь	36,56	4,55	3,87	12,46	3,46	2,01	24,15	44,88	0,56	30,97
IV-Э	7С2Д1Б+Кл ед. В, Лп	Май	27,38	4,42	3,78	13,02	3,91	2,27	23,44	31,83	0,75	44,74
		Июль	23,99	4,63	3,97	8,94	2,98	1,73	24,70	35,21	0,71	40,10
		Октябрь	39,20	4,46	3,90	10,08	3,14	2,07	21,60	41,36	0,52	37,05

На рис. 1 приведена гистограмма, иллюстрирующая пространственную вариабельность мощностей гумусовых горизонтов и лесных подстилок четырех исследуемых пробных площадей.

Рис. 1. Мощности гумусовых горизонтов и лесной подстилки

В пределах одной пробной площади мощности горизонтов А1 выровнены и колеблются в пределах 1-го сантиметра. Исключением являются почвы пробной площади

IV-Э квартала, где разность между тремя вариантами достигает 3 см. Почвы этой пробной площади характеризуются более мощным гумусовым горизонтом (26,0-29,0 см, Хср = 27,3 см).

Наименьшая мощность гумусовых горизонтов определена в почвах ППП III-Е и IV-Ъ (18-20 см, Хср = 19,0 см), которые представлены сложным и простым хвойным насаждением, где поверхность почвы почти лишена наземной растительности. Почвы ППП IV-Е под смешанным сложным хвойным насаждением отличаются более мощным гумусовым горизонтом: 22,0-23,0 см, Хср = 22,5 см.

Полученные морфологические данные по лесной подстилке и гумусовому горизонту почв показали, что на ЛОД выявлена известная закономерность: мощность гумусового горизонта определяется составом древостоя; при смене чистой хвойной растительности на смешанный состав мощность гумусового горизонта увеличивается [3, 5, 10]. Наши данные показывают, что на пробной площади IV-Э, где состав древостоя 7С2Д1Б+Кл ед. В, Лп, выявлена самая большая мощность горизонта А1. Данная пробная площадь была заложена М.К. Турским в 1887-ом году в сосновой посадке 1870-го года. II ярус состоял из липы, дуба, клена естественного происхождения. На участок налетели семена дуба, березы, клена, вяза и липы. Со временем эти породы в разном соотношении перешли из второго яруса в первый. С 1996 по 2001 год состав древостоя соответствовал формуле: 6С2Д1Б1Кл. В настоящее время состав ППП – 7С2Д1Б+Кл ед. В, Лп.

Постоянная пробная площадь IV-Е квартала, занимающая второе место по мощности горизонта А1 среди исследуемых, – это посадка однолетней сосны из семян Московской губернии 1892-го года. Посадка проводилась на участке после сельхозиспользования (посев овса). Со временем посадка перешла из простого насаждения в сложное. К 1910-у году во втором ярусе произрастали береза и дуб, а в 1960-ом – еще клен и вяз. Со временем естественные породы начали входить в 1-ый ярус. На данный момент в первом ярусе преобладает сосна, во втором – клен. Относительно недавно (10-20 лет назад) сформировался второй ярус, полностью представленный кленом, который также присутствует и в первом ярусе.

Пробная площадь III-Е квартала заложена Варгасом де Бедемаром в 1862-ом году в естественном сосновом насаждении с примесью березы и подростом из дуба. В настоящее время это старейшая на ЛОД пробная площадь (156 лет, наблюдения ведутся в течение 130

лет). Она имеет второй ярус, полностью состоящий из лиственных пород (дуб и клен), однако гумусовый горизонт почв здесь имеет меньшую мощность. В 1909 году дуб и береза находились только в подросте. И только в 1960 дуб перешел во второй ярус. Таким образом, хотя на ППП хвойные и лиственничные породы имеют примерно одинаковое участие, воздействие лиственных пород на почвообразование началось относительно недавно (на 50-70 лет позже, чем, например, на пробной площади IV-Э квартала). Пробная площадь IV-Ъ — это посадка 1885-го года ели, пихты, сосны и березы, которые в итоге практически полностью выпали в результате погодных условий и вытеснения лиственницей, которую подсаживали на место выпавших растений. В 1998-ом году полнота древостоя на пробной площади уменьшилась в результате урагана. На данный момент древостой представлен чистым хвойным насаждением лиственницы. Почвы на данной пробной площади имеют гумусовый горизонт менее мощный, чем на пробных площадях со смешанным составом древостоя, описанных выше.

Как видно из данных таблицы 2, величина влажности подстилки значительно колеблется в зависимости от состава древостоя и времени отбора. Наименьшая влажность подстилки (29,31-38,16, Хср = 24,68%) наблюдается в образцах, отобранных в июле, в образцах майских влажность составляла 33,55-41,92, Х ср = 37,87%, в образцах, отобранных в октябре, – 46,06-62,87, Хср = 53,62%. Исследования показали, что, помимо изменения влажности в сезонной динамике, отмечены различия этого показателя и по пробным площадям. Влажность лесной подстилки на пробной площади «Э» IV имеет достоверно большую влажность (на 8-15 процентов), чем влажность подстилки на других пробных площадях. Особенно большая разница получена в образцах отбора в октябре. Пробная площадь IV-Е отличается и большей мощностью гумусового горизонта. В её составе имеется и большее участие лиственных пород. Отмеченные особенности ПП IV-Е, по-видимому, создают более благоприятные условия для удержания влаги. Как следствие, создаются более благоприятные условия для жизнедеятельности микрофлоры и в дальнейшем – для процесса гумификации. Пробная площадь «Е» III квартала имеет близкий по видовому составу древостой, и ее второй ярус полностью представлен лиственными породами. Влажность подстилки на этой пробной площади также выше в сравнении с пробными площадями IV-Е и IV-Ъ квартала на 5-10 процентов.

Рельеф территории оказывает большое влияние на распределение тепла и влаги.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Перепад высот на изучаемом отрезке территории ЛОД небольшой (рис. 2), но пробные площади IV-Ъ и IV-Э квартала находятся на 1,5-2 метра ниже относительно остальных ППП. Полученные данные по влажности и величинам pH не выявили различий в лесных подстилках постоянных пробных площадей.

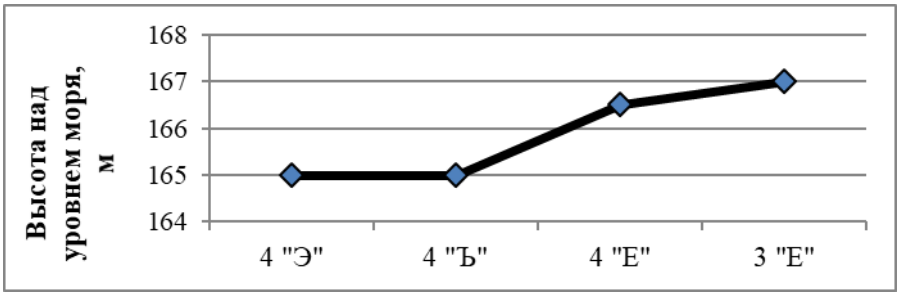

Рис. 2. Профиль обследуемой местности

Величина pH подстилки пробных площадей IV-Ъ и IV-Э квартала выше, чем под древостоями других пробных площадей, что обусловлено химическим составом лесной подстилки. Более агрессивную среду обеспечивает опад хвойной растительности, с повышением участия в составе древостоя лиственных пород уменьшается кислотность.

По мнению ряда исследователей, менее агрессивную среду имеет опад лиственницы [3, 4, 9-11]. Наши исследования показывают, что величина pH сол. вытяжки на ПП III-Е, IV-Е, IV-Ъ имеет близкие значения по месяцам отбора, при этом отмечена общая закономерность: уменьшение кислотности подстилки от мая к октябрю.

Гидролитическая кислотность изменяется в образцах лесной подстилки от 22,54 до 38,56 мг-экв./100 г почвы. Определенной закономерности изменения гидролитической кислотности от состава древостоя и сроков отбора образцов лесной подстилки не выявлено.

Значения влажности почвы по абсолютным величинам мало различаются в исследуемых ППП. Отмечается общая закономерность – зависимость влажности почвы от сроков отбора образцов: в мае она колеблется от 26,45 до 27,38, X ср – 27,01%, в образцах, отобранных в июле, – до 22,07-24,91, Xср = 23,91%, в октябре увеличивается до 36,56-39,20, X ср – 38,33%.

Величина pH почвенного раствора на территории ЛОД характеризуется как сильно кислая, что соответствует многолетним наблюдениям за почвенным покровом ЛОД. Это связано с особенностями почвообразования в данной зоне: большое количество

низкозольного опада, обеспечиваемое лесной растительностью, избыток влаги, преобладание грибного разложения органического вещества. Кислые продукты, получаемые в процессе разложения, насыщают почву органическими кислотами специфической и неспецифической природы, получаемыми при разложении лесной подстилки, что в итоге приводит к сильному подкислению почвенного раствора.

В сезонной динамике величины pH_{H2O} и pH_{KCl} горизонтов А1 изменяются незначительно. Сезонные изменения, превышающие НСР, наблюдаются на пробной площади IV-Э квартала: в июле pH достигает 4,63, что выше, чем у весенних (4,42) и осенних (4,46) образцов. Выявлено также, что на пробной площади IV-Е квартала величина pH KCl в мае (3,66) достоверно ниже, чем в октябре (3,84). Таким образом, поздней весной кислотность гумусовых горизонтов характеризуется более высокими значениями и снижается вплоть до следующей зимы.

В почвах одной пробной площади сезонные колебания величин водной и солевой pH незначительные.

Сезонная динамика гидролитической кислотности в горизонтах А1 выражена только на пробной площади IV-Э квартала. В образцах почв, отобранных в мае, величина гидролитической кислотности составляет13,02, в июле – 8,94, в октябре – 10,08 мг-экв/100г. Более высокие значения гидролитической кислотности (14,05-16,54 мг-экв/100г) наблюдаются на пробных площадях III-Е и IV-Е кварталов, покрытых древостоями с наибольшим участием сосны. Более низкие значения гидролитической кислотности (12,46-13,75 мг-экв/100г) выявлены на пробной площади IV-Ъ квартала, территорию которого занимает чистое насаждение лиственницы. Как и в случае с подстилкой, полученные данные хорошо увязываются со значениями величины pH.

В соответствии с литературными данными и общими представлениями об особенностях формирования гумусового профиля почв в условиях леса, в образцах наблюдается высокое содержание гумуса в дерново-подзолистых почвах ЛОД, которое отличает их от пахотных почв данного типа. Содержание гумуса в почвах пробных площадей изменяется от 2,98 до 6,87 %. Самые высокие значения гумуса определены в почвах пробной площади IV-Е квартала в июле (6,87%). Древостой представлен смешанным сложным насаждением с преобладанием хвойных I. 9С1Кл, Лп ед. Б, Д, В; II. 10Кл. На данной ППП имеется наиболее густой напочвенный покров, представленный

осоками (на остальных пробных площадях, кроме небольших папоротников, изредка встречаются заросли недотроги, а основная часть почвы травянистой растительностью не покрыта). Второй ярус древостоя представлен чистым насаждением клена. Несколько меньше содержание гумуса в почвах ПП III-Е квартала, где его количество варьирует в пределах 4,90-5,46 %.

Второй ярус древостоя на данной пробной площади, как и на предыдущей, состоит из лиственных пород. От 3,46% до 4,12% гумуса содержат горизонты А1 пробной площади IV-Ъ квартала. Древостой тут представлен чистым лиственничным насаждением. Более низким содержанием гумуса (2,98-3,91 %) характеризуются почвы пробной площади IV-Э квартала, занятой смешанным простым насаждением.

Достоверных сезонных изменений в содержании гумуса в почвах не выявлено.

Анализ группового состава гумуса в дерново-подзолистых почвах ЛОД показал, что тип гумуса гуматно-фульватный. Отношение Сгк : Сфк изменяется в почвах пробных площадей от 0,52 до 0,77. Существенных различий по данному показателю между ППП не выявлено. Общая закономерность изменения Сгк : Сфк – это снижение величин от мая-июля к октябрю (рис. 3).

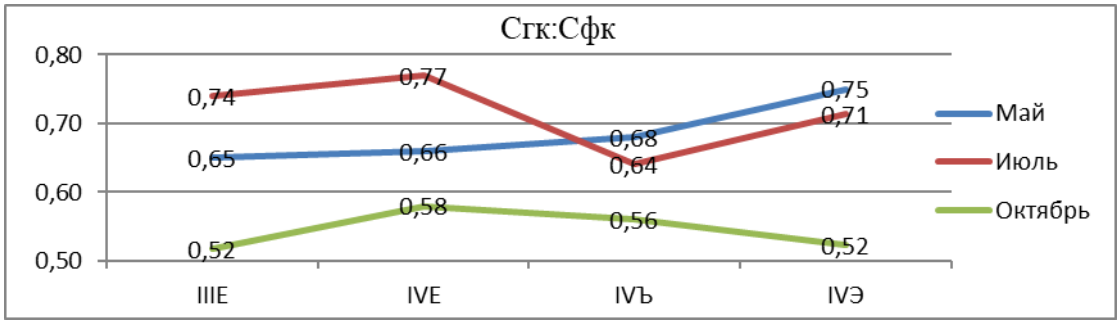

Рис. 3. Отношение гуминовых к фульвокислотам в почвах пробных площадей

Максимальное содержание Собщ. вытяжки отмечается в почвах пробной площади IV-Е под сложными смешанными древостоями, минимальные значения – в почвах ППП IV-Э под простыми смешанными древостоями. Содержание С гуминовых кислот в почвах под разными пробными площадями характеризуется незначительным варьированием: колеблется от 21,60 до 25,58 %. Более значительные колебания выявлены по содержанию С фульвокислот: 31,31 до 45,28 %. В сезонной динамике отмечается увеличение содержания С фульвокислот от весны, лета к осени.

Содержание гумина колеблется от 30,97 до 45,72 %. Различий по данному показателю в почвах различных ППП не выявлено. В сезонной динамике отмечается снижение величин гумина от весны–лета к осени в почвах всех пробных площадей.

Выводы

1. В дерново-подзолистых почвах постоянных пробных площадей ЛОД мощность гумусового горизонта определяется составом древостоя. При смене чистой хвойной растительности на смешанный состав мощность гумусового горизонта увеличивается.

2. Минимальная влажность лесной подстилки определена в образцах, отобранных в июле, максимальная – в октябре. Влажность лесной подстилки, отобранной в октябре, выше под смешанными древостоями.

3. Величины водной и солевой вытяжки изменяются от весны к осени. Более высокая кислотность определена в образцах весеннего отбора.

4. Содержание гумуса в дерново-подзолистых почвах ЛОД колеблется от 2,98 до 6,87 %. Самые высокие значения гумуса определены в почвах пробной площади IV-Е квартала в июле (6,87%), где древостой представлен смешанным сложным насаждением I. 9С1Кл, Лп ед. Б, Д, В; II. 10Кл. На данной ППП имеется наиболее густой напочвенный покров, а второй ярус древостоя представлен чистым насаждением из клена.

5. Анализ группового состава гумуса в дерново-подзолистых почвах ЛОД показал, что тип гумуса гуматно-фульватный, отношение Сгк : Сфк изменяется в почвах пробных площадей от 0,52 до 0,77. Общая закономерность изменения Сгк : Сфк – это снижение величин от мая-июля к октябрю.

6. Содержание гуминовых кислот и гумина в почвах характеризуется незначительным варьированием. Содержание С фульвокислот изменяется от 31,31 до 45,28 %. В сезонной динамике отмечается увеличение содержания С фульвокислот от весны, лета к осени.

Список использованных источников

1. Васенев И.И. Структурно-функциональная организация почвенно-экологического мониторинга лесной опытной дачи РГАУ-МСХА / И.И. Васенев, В.Д. Наумов, Т.В. Раскатова // Известия ТСХА. – 2007. – №4. – С. 29-44.

2. Дричко В.Ф. Устойчивая и лабильная части гумуса дерново-подзолистой почвы / В.Ф. Дричко, Л.Г. Бакина и Н.Е. Орлова // Ж. Почвоведение. – 2013. – №1. – С. 41-47.

3. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы / Л.О. Карпачевский. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 264 с.

4. Карпачевский Л.О. Лесное почвоведение в XXI веке / Л.О. Карпачевский, В.В. Никонов // Ж, Лесоведение. – 2004. – №4. – С. 3-5.

5. Наумов В.Д. Закономерности изменения мощности почвенных горизонтов под древостоями различного состава лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / В.Д. Наумов, Н.Л. Поветкина, А.В. Гемонов, А.В. Лебедев // Известия ТСХА. – 2018. – №1. – С. 18-35.

6. Наумов В.Д. Сравнительная оценка почв и растительности на пробных площадях Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / В.Д. Наумов, Б.С. Родионов, А.Б. Гемонов // Известия ТСХА. – 2014. – №2. – С. 5-18.

7. Паладич О.А. Сезонная динамика некоторых факторов плодородия подзолистых целинных и пахотных почв Средней тайги Северо-Востока Европейской России: дис.канд. с-х наук: 06.01.04, 03.00.27/ О.А. Паладич. – Киров, 2004. – 190 с.

8. Пустовойтова, К.Д. Почвенно-лесоводственная характеристика дерново-подзолистых почв ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева: бакалавр: 35.03.03: защищена .2019 / К. Д. Пустовойтова; рук. работы Н. Л. Каменных; Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева

9. Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе / Л.О. Карпачевский. – М.: Издательство МГУ, 1977. – 312 с.

10. Наумов В.Д., Поляков А.Н. 150 лет лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева: Монография. – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2015. – 345 с.

11. Березин Л.В. Лесное почвоведение / Л.В. Березин, Л.О. Карпачевский. – Омск: Издательство ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2009. – 360 с.

==========

Цитирование:

Наумов В.Д., Каменных Н.Л., Лосев А.И. Характеристика гумусового состояния дерново-подзолистых почв ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/2/st_201.pdf.