

УДК 631.417.1

DOI: 10.15350/2306-2827.2018.3.30

ГРАНИЦЫ И ПРИЧИНЫ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ЗАПАСОВ ГУМУСА В ПОЧВАХ ЛЕСОВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Ю. П. Демаков^{1,2}, А. В. Исаев¹, Н. Б. Нуреев², И. И. Митякова²

¹Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»,
Российская Федерация, 424038, Йошкар-Ола, ул. Воинов-Интернационалистов, 26

²Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

E-mail: DemakovYP@volgatech.net

Установлены пределы и причины вариабельности содержания и запасов гумуса в почвах лесных биогеоценозов Среднего Поволжья. Показано, что величина этих показателей зависит от суммы обменных оснований, которая функционально связана с содержанием в почве физической глины. Приведены уравнения регрессии, отражающие характер изменения содержания гумуса в градиенте профиля различных типов почв. Предложены новые параметры, позволяющие оценивать степень насыщенности почв гумусом и реализацию потенциальных возможностей к накоплению его запасов, использование которых в исследовательской работе позволит объективнее оценить влияние на почвообразовательный процесс фитоценозов и характера хозяйственного использования земель. Сделан вывод о том, что большие запасы гумуса в почвах свидетельствуют о замедлении протекания в лесных экосистемах биологического круговорота и приближении климата, наступление которого в природе часто прерывается различного рода катаклизмами или антропогенной деятельностью, способствующих в конечном итоге эволюции биоты. При устойчивом бесконечно долгом развитии биогеоценозов запас гумуса будет находиться на некотором оптимальном уровне, определяемом физико-географическими факторами.

Ключевые слова: Среднее Поволжье; лесные биогеоценозы; почвы; гумус; содержание; запас; вариабельность; факторы; математические модели.

Введение. Почва, покрывающая очень тонким слоем всю поверхность суши нашей планеты, представляет собой особую сферу, в которой совершаются сложные биологические, химические и биохимические превращения органического вещества (ОВ) в гумус, являющийся, несмотря на малую концентрацию в ней, огромным резервуаром накопленной растениями солнечной энергии и атмосферного углерода, поддерживающим устойчивое существование многих живых организмов и всего человечества [1–6]. Формируясь в большинстве случаев на осадочных породах, почва наследует от них физические свойства и химический

состав, которые в последующем претерпевают определённые и порой довольно значительные изменения под действием комплекса абиотических и биотических факторов.

Важнейшей характеристикой почвы, свидетельствующей о её генезисе, степени зрелости, накопленном потенциале плодородия или же степени его нарушенности, а также надёжности функционирования всей экосистемы, является запас гумуса. Научные основы теории процессов его накопления в почвах заложены великими русскими учёными В.В. Докучаевым (1883), П.А. Костычевым (1886), Н.М. Сибирцевым (1900) и П.С. Коссовичем (1911).

© Демаков Ю. П., Исаев А. В., Нуреев Н. Б., Митякова И. И., 2018.

Для цитирования: Демаков Ю. П., Исаев А. В., Нуреев Н. Б., Митякова И. И. Границы и причины вариабельности запасов гумуса в почвах лесов Среднего Поволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 3 (39). С. 30–49. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.3.30

В дальнейшем они были значительно развиты И.В. Тюриным [7] и другими исследователями [8–17]. Запасы гумуса в почве зависят, по современным представлениям учёных [3, 4, 18–23], от литологической основы и климата, определяющих продуктивность и состав фитоценозов, а также скорость трансформации продуктов их жизнедеятельности, в том числе и отмерших остатков. По мере развития биоценозов в тех или иных условиях среды его величина постепенно увеличивается, стабилизируясь через некоторое время на определённой отметке, соответствующей зрелому сообществу. Наиболее существенными факторами, определяющими скорость разложения и гумификации ОВ, являются аэрация почвы, её влажность и кислотность, а также наличие подвижных форм азота, калия и фосфора, необходимых для развития микроорганизмов. Процессы разложения ОВ замедлены в слишком сухой или сырой почве и ускоряются по мере снижения кислотности среды. Решающую роль в закреплении образующихся гумусовых веществ играют глинистая фракция и обменные основания, особенно кальций, представляющие собой *почвенную матрицу*, удельная ёмкость которой увеличивается по мере утяжеления гранулометрического состава почв.

Интерес к проблеме оценки запасов гумуса сильно возрос в последние десятилетия, что связано с усиливающейся деградацией пахотных земель и глобальным потеплением климата из-за нарушения биологического круговорота веществ [24–38] и увеличения концентрации в атмосфере двуокси углерода, важнейшим резервуаром которого является почва [5, 6, 25].

Несмотря на длительную историю изучения процессов накопления гумуса в почвах и огромное число публикаций, многие вопросы остаются пока не до конца раскрытыми, а выявленные закономерности представлены в большинстве случаев лишь в словесной форме, хотя и под-

креплённой цифровым материалом, но не отражены в виде математических уравнений или моделей, что существенно ограничивает их применение в исследовательской работе, а тем более в экспертной и проектной деятельности.

Запасы гумуса и связанного с ним органического углерода определить в биоценозах довольно сложно из-за пространственной неоднородности почв, разной их мощности и степени вертикальной дифференциации профиля, а также отсутствия стандартизированных методов расчёта, в связи с чем экспертные его оценки, проведённые рядом исследователей для различных регионов, ландшафтов, природных зон и Земного шара в целом на основе усреднённых данных по типам почв [28, 29, 33, 34, 39–49], являются, на наш взгляд, не вполне надёжными, поскольку не учитывают многих факторов. Для устранения имеющихся неопределённостей необходимо обобщить огромный материал, накопленный многолетними усилиями исследователей, выявить существующие зависимости и отобразить их в форме математических уравнений, что является чрезвычайно актуальной задачей.

Целью работы является установление пределов и выявление закономерностей variability содержания и запасов гумуса в почвах лесов Среднего Поволжья на основе статистической обработки обширного цифрового материала, содержащегося в различных литературных источниках, и отображения существующих зависимостей в форме математических уравнений, позволяющих повысить точность их оценки.

Материал и методика исследований. Исходным материалом для расчётов служили собственные данные и материалы исследований различных авторов [15, 50–61], проведённых в биоценозах Среднего Поволжья, в том числе на территории заповедника «Большая Кокшага», на основе которых была создана электронная база данных, содержащая информацию о кон-

центрации гумуса и других показателях состояния почвы в 1621 образце, взятом в 330 разрезах. Запас гумуса в том или ином слое почвы, который зависит не только от его содержания в ней, но и её плотности сложения, оценивали на основе интегрирования функции, описывающей характер изменения показателей в пределах профиля. Если авторы не приводили величину плотности сложения почв, то мы её находили расчётным путём, используя ранее найденную зависимость [62]. Цифровой материал обработан на компьютере с использованием общепринятых методов математической статистики [63, 64] и прикладных программ Excel и Statistica.

Результаты и их обсуждение. Содержание гумуса в почвах, как показали расчёты, закономерно снижается с глубиной (рис. 1), очень сильно варьируя при этом в пределах каждого их слоя (табл. 1), что обусловлено в основном изменением в образцах суммы обменных оснований (табл. 2), функционально связанной с содержанием в них физической глины (табл. 3, рис. 2). Зависимость содержания гумуса (Y , %) от глубины взятия образца (X , см), содержания в нём суммы обменных (COO , мг-экв. / 100 г почвы) и физической глины (Z , %) описывают для всей совокупности данных следующие уравнения регрессии:

$$Y = 1,396 \times Z^{0,524} \times \exp(-42,54 \times 10^{-3} \times COO); R^2 = 0,716; p < 0,001; \quad (1)$$

$$Y = 1,420 \times Z^{0,508} \times \exp(-57,06 \times 10^{-3} \times X); R^2 = 0,632; p < 0,001 \quad (2)$$

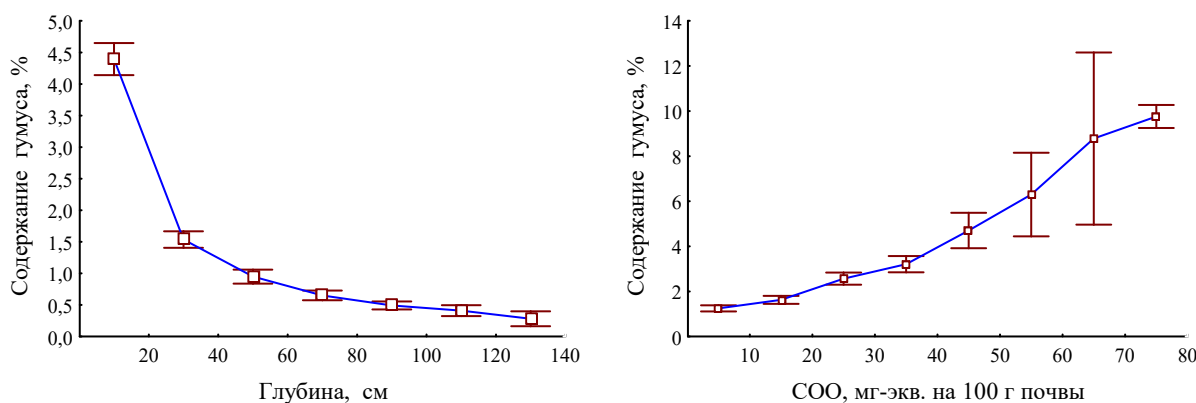


Рис. 1. Изменение содержания гумуса ($M \pm m$) в почве в зависимости от её глубины и суммы обменных оснований ($N = 1621$)

Таблица 1

Статистические показатели содержания гумуса в различных слоях почвы

Слой почвы	Значения статистических показателей*						
	N	$M \pm m$	min	max	S_x	V, %	p, %
0-10 см	316	$5,60 \pm 0,17$	0,26	15,6	3,09	55,1	3,1
11-20 см	247	$2,86 \pm 0,14$	0,20	14,0	2,28	79,6	5,1
21-30 см	257	$1,74 \pm 0,09$	0,11	8,79	1,49	85,8	5,4
31-40 см	179	$1,24 \pm 0,09$	0,10	6,81	1,18	95,3	7,1
41-60 см	245	$0,95 \pm 0,06$	0,03	5,78	0,88	92,6	5,9
61-80 см	166	$0,65 \pm 0,04$	0,06	3,83	0,50	77,4	6,0
81-100 см	114	$0,49 \pm 0,03$	0,04	2,07	0,34	69,4	6,5
101-120 см	52	$0,41 \pm 0,04$	0,02	1,38	0,31	75,2	10,4
121-160 см	45	$0,29 \pm 0,04$	0,04	1,40	0,24	83,6	12,5

*Здесь и далее: N – объём выборки, $M \pm m$ – среднее значение и его ошибка, min, max – минимальное и максимальные значения, S_x – среднееквадратическое отклонение, V – коэффициент вариации, p – точность опыта (относительная величина ошибки оценки).

Таблица 2

Содержание гумуса на разной глубине почвы в зависимости от суммы в ней обменных оснований

Слой почвы	Среднее содержание гумуса (%) в зависимости от суммы обменных оснований				
	< 15	15-25	25-35	35-45	>45
0-10 см	3,10 ± 0,22	5,81 ± 0,30	6,25 ± 0,32	6,98 ± 0,33	9,58 ± 0,59
11-20 см	1,78 ± 0,09	3,15 ± 0,19	4,63 ± 0,36	6,77 ± 0,73	8,23 ± 0,97
21-30 см	1,00 ± 0,06	1,55 ± 0,13	2,89 ± 0,24	3,37 ± 0,84	4,55 ± 0,80
31-40 см	0,71 ± 0,05	1,20 ± 0,17	2,00 ± 0,22	2,04 ± 0,50	2,81 ± 1,16
41-60 см	0,53 ± 0,06	0,81 ± 0,09	1,14 ± 0,10	1,84 ± 0,25	1,61 ± 0,62
61-80 см	0,43 ± 0,04	0,56 ± 0,09	0,88 ± 0,09	0,67 ± 0,08	0,94 ± 0,28
81-100 см	0,31 ± 0,05	0,54 ± 0,07	0,57 ± 0,07	0,45 ± 0,05	0,91 ± 0,18
101-120 см	0,33 ± 0,09	0,50 ± 0,08	0,45 ± 0,05	0,60 ± 0,21	0,97
121-160 см	0,33 ± 0,08	0,26 ± 0,06	0,40 ± 0,18	-	-

Примечание: сумма обменных оснований выражена в мг-экв. на 100 г почвы.

Таблица 3

Изменение содержания гумуса в зависимости от глубины почвы и содержания в ней глины

Слой почвы	Среднее содержание гумуса (%) в зависимости от содержания в почве частиц < 0,01 мм					
	< 10 %	10-20 %	20-30 %	30-50 %	50-70 %	> 70 %
0-10 см	2,34 ± 0,24	4,75 ± 0,43	4,81 ± 0,33	6,33 ± 0,26	7,21 ± 0,43	7,15 ± 0,85
11-20 см	1,47 ± 0,19	1,72 ± 0,22	1,65 ± 0,25	2,76 ± 0,20	5,25 ± 0,45	6,70 ± 1,18
21-30 см	0,68 ± 0,06	1,15 ± 0,16	0,95 ± 0,11	2,00 ± 0,19	2,56 ± 0,22	2,39 ± 0,35
31-40 см	0,58 ± 0,06	0,65 ± 0,19	0,58 ± 0,11	1,12 ± 0,17	1,92 ± 0,21	1,15 ± 0,18
41-60 см	0,32 ± 0,04	0,52 ± 0,13	0,97 ± 0,21	0,91 ± 0,11	1,28 ± 0,12	1,30 ± 0,14
61-80 см	0,30 ± 0,04	0,45 ± 0,08	0,99 ± 0,25	0,52 ± 0,04	0,84 ± 0,08	1,01 ± 0,13
81-100 см	0,18 ± 0,02	0,36 ± 0,06	0,43 ± 0,13	0,43 ± 0,04	0,64 ± 0,07	0,55 ± 0,08
101-120 см	0,12 ± 0,04	0,77 ± 0,36	0,34 ± 0,14	0,43 ± 0,09	0,54 ± 0,05	0,51 ± 0,09
121-160 см	0,19 ± 0,05	0,26 ± 0,04	-	0,29 ± 0,05	0,35 ± 0,04	0,56 ± 0,28

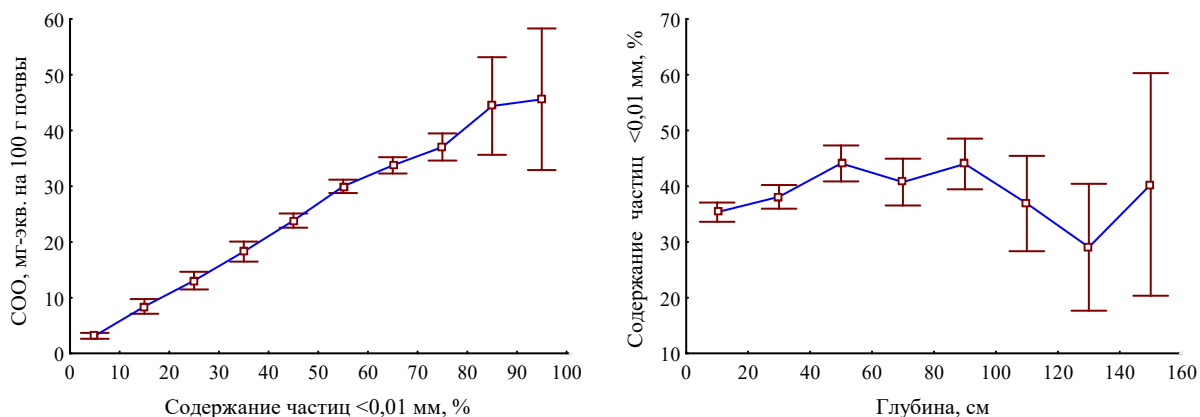


Рис. 2. Влияние содержания физической глины на сумму обменных оснований и характер его изменения по профилю почв

Эти уравнения численно отображают в математической форме реально существующий закон распределения гумуса по профилю почвы, согласно которому его содержание зависит как от глубины взятия образца, так и от ёмкости поглощающего ком-

плекса. Отклонения значений показателей от этого закона, обусловленные действием других факторов, в том числе и инструментальных ошибок, вклад которых составляет 28,4–36,8 %, должны являться предметом детального анализа, позволяющего выявить

особенности процесса гумусонакопления в каждом исследуемом биотопе. При объединении образцов в определённые группы по слоям почвы зависимость между показателями проявляется, согласно закону больших чисел, значительно чётче и величина коэффициента детерминации уравнений повышается до 0,918–0,925.

Содержание гумуса в почве, как следует из этого закона, не может превышать некоторого предела, соответствующего наиболее зрелой стадии (климакса) её развития, ограниченного ёмкостью поглощающего комплекса, величина которого зависит в основном от содержания в ней физической глины. Этот предел, равный, согласно закону Гаусса, сумме среднего значения величины и её тройного стандартного отклонения (S_Y), отображают следующие уравнения регрессии, вычисленные на основе данных табл. 1–3, в которых сохранено то же обозначение параметров, что и в уравнениях (1) и (2):

$$S_Y = 3,40 \times (1 - \exp(-0,483 \times Y));$$

$$R^2 = 0,998; p < 0,001; \quad (3)$$

$$\lim Y = 2,952 \times COO^{0,540} \times \exp(-27,09 \times 10^{-3} \times X);$$

$$R^2 = 0,965; p < 0,001; \quad (4)$$

$$\lim Y = 4,827 \times Z^{0,351} \times \exp(-34,48 \times 10^{-3} \times X);$$

$$R^2 = 0,918; p < 0,001. \quad (5)$$

Графическое отображение этих уравнений, являющихся *законом предельного*

насыщения почвы гумусом, представлено на рис. 3. Отношение фактического содержания гумуса к предельно возможной на той или иной глубине взятия образца при определённом содержании в нём физической глины можно назвать коэффициентом насыщенности ($K_{нас.}$). Его использование в исследовательской работе позволит объективнее оценить степень реализации почвами своего потенциала в конкретных биотопах.

Расчёты показали, что значения коэффициента насыщенности варьируют в очень больших пределах, составляя в среднем 0,33–0,34 (табл. 4). Вариационные ряды показателей, в которых в качестве предиктора выступает содержание физической глины в почве и сумма обменных оснований, имеют резко выраженную левую асимметрию (рис. 4), соответствующую логнормальному характеру распределения, но существенно не различаются между собой по всем остальным параметрам, кроме коэффициента эксцесса (E). Варьирование $K_{нас.}$ связано с генезисом почв, ходом развития каждого конкретного биогеоценоза, историей использования участков, на которых леса могли попеременно сменяться в подсечно-огневой системе земледелия пашнями, затем лугами и опять лесами, а также с другими факторами, обусловившими в комплексе особенности процесса гумусонакопления.

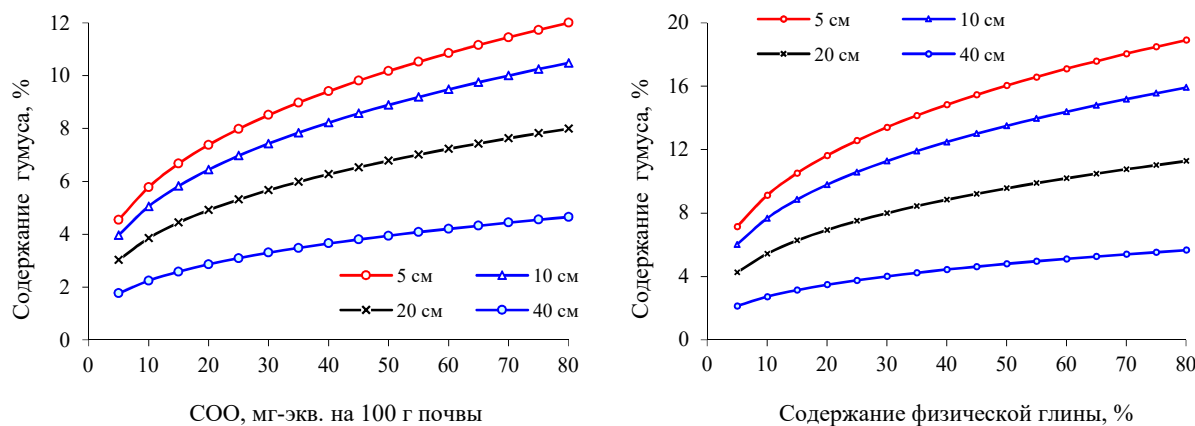


Рис. 3. Предельное содержание гумуса на разной глубине почвы в зависимости от содержания в ней обменных оснований и физической глины

Таблица 4

Статистические показатели коэффициента насыщенности почвы гумусом всего массива данных

Предиктор	Значения статистических показателей							
	$M \pm m$	min	max	S_x	V, %	p, %	A	E
Глина	$0,34 \pm 0,006$	0,02	1,05	0,22	65,3	1,8	0,940	0,232
COO	$0,33 \pm 0,005$	0,03	1,05	0,20	60,8	2,7	1,112	1,019

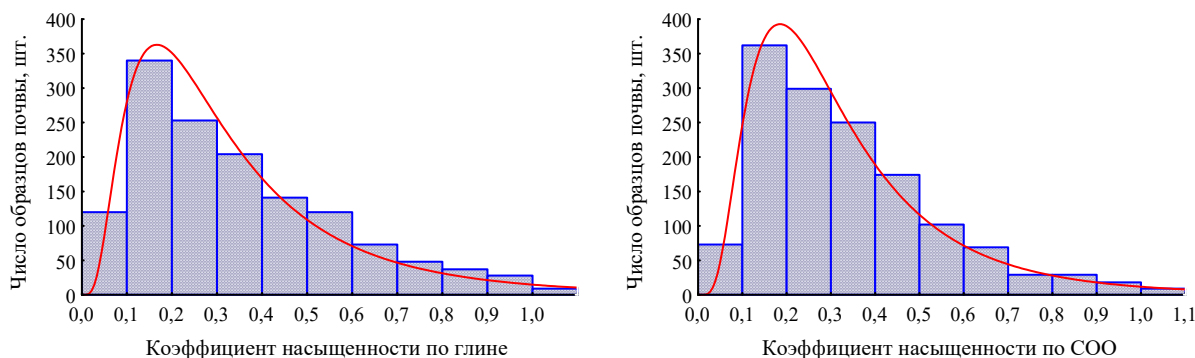


Рис. 4. Характер распределения значений коэффициентов насыщенности почвы гумусом, вычисленных по содержанию в ней физической глины и обменных оснований

Дополнительное информативное значение $K_{\text{нас}}$ можно особенно чётко выявить при сравнении гумусного состояния верхнего слоя разных типов почв, в наибольшей степени трансформированного действием абиотических, биоценологических и антропогенных факторов. Так, дерново-подзолистые почвы характеризуются наименьшим содержанием гумуса, физической глины и обменных катионов, но превосходят выщелоченные чернозёмы по величине $K_{\text{нас}}$, вычисленной по сумме обменных оснований (табл. 5). Это связано, на наш взгляд, с тем, что в дерново-подзолистых почвах основная масса катионов кальция и магния, содержащаяся в глинистых частицах, давно превратилась в трудно растворимые в воде гуматы этих металлов, а свободных катионов осталось сравнительно немного. Данное высказывание подтверждается в частности тем, что содержание глинистых частиц в дерново-подзолистых почвах в 3,1 раза меньше, чем в выщелоченных чернозёмах, а обменных оснований – в 4,9 раза. Необходимо также отметить, что источником обменных оснований являются не только частицы глины, но и карбонаты, которых

в дерново-подзолистых почвах содержится гораздо меньше, чем в других. Связь между COO и содержанием физической глины (Z, %) прямая и линейная, описываемая уравнением:

$$\text{COO} = 0,53 \times Z; R^2 = 0,593; p < 0,001. (6)$$

Зависимость COO от совместного влияния содержания в почве физической глины и гумуса (X, %) наилучшим образом описывает следующее уравнение, имеющее более высокое значение коэффициента детерминации:

$$\text{COO} = 0,454 \times Z \times \exp(51,8 \times 10^{-3} \times X); R^2 = 0,668; p < 0,001. (7)$$

Таким образом, из изложенного вытекает, что для объективной и детальной оценки гумусного состояния почв необходимо всегда принимать во внимание содержание в них физической глины и обменных оснований, вычисляя соответствующие коэффициенты насыщенности. Для грубой оценки степени гумусированности почвы можно воспользоваться соответствующей шкалой, разработанной на основе фактических данных (табл. 6).

Таблица 5

Параметры гумусного состояния верхнего 20-см слоя почв в лесных биотопах Среднего Поволжья

Параметр	Среднее значение параметра и его ошибки у различных почв*				
	ДП (N = 90)	БЛ (N = 133)	СЛ (N = 56)	ВЧ (N = 10)	АЛ (N = 23)
Содержание гумуса, %	2,57 ± 0,17	4,63 ± 0,19	5,50 ± 0,40	9,45 ± 0,55	5,28 ± 0,45
Содержание глины, %	17,4 ± 1,6	36,6 ± 1,4	45,9 ± 1,5	54,1 ± 2,4	53,2 ± 3,9
СОО, мг-экв. на 100 г	8,1 ± 0,9	20,3 ± 1,0	22,6 ± 1,2	39,7 ± 2,0	31,9 ± 2,3
Значение $K_{\text{нас.}}$ по глине	0,30 ± 0,02	0,40 ± 0,02	0,42 ± 0,03	0,68 ± 0,04	0,40 ± 0,03
Значение $K_{\text{нас.}}$ по СОО	0,63 ± 0,08	0,45 ± 0,02	0,44 ± 0,03	0,56 ± 0,03	0,37 ± 0,03

*Здесь и далее: ДП – дерново-подзолистые, БЛ – бурые лесные, СЛ – серые лесные, ВЧ – выщелоченные чернозёмы, АЛ – аллювиальные, N – число почвенных разрезов.

Таблица 6

Шкала для оценки степени гумусированности верхнего 20-см слоя почвы в зависимости от содержания в нём физической глины

Содержание глины, %	Степень гумусированности почвы при различном содержании в ней гумуса, %				
	Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
< 5	< 0,90	0,90-1,84	1,85-2,79	2,80-3,70	> 3,70
5-10	< 1,40	1,40-2,79	2,80-4,20	4,21-5,55	> 5,55
10-20	< 1,80	1,80-3,64	3,65-5,45	5,46-7,30	> 7,30
20-30	< 2,20	2,20-4,44	4,45-6,64	6,65-8,85	> 8,85
30-40	< 2,50	2,50-4,99	5,00-7,59	7,60-11,0	> 11,0
40-50	< 2,80	2,80-5,59	5,60-8,39	8,40-11,2	> 11,2
50-60	< 3,00	3,00-6,04	6,05-9,09	9,10-12,1	> 12,1
> 60	< 3,20	3,20-6,49	6,50-9,69	9,70-13,0	> 13,0

Информативное значение коэффициента насыщенности почв гумусом можно наглядно проиллюстрировать на примере результатов исследования, проведённого в разных биотопах лесопарка «Дубовая роща», расположенного в пойме реки Малая Кокшага, и на прилегающих к нему землях (табл. 7). Распашка земель и их интенсивное сельскохозяйственное использование привели, как следует из приведённых данных, к очень значитель-

ной потере гумуса в верхнем слое суглинистых почв, что полностью подтверждает выводы многих исследователей [18, 23, 30, 30, 38]. В подпахотных же слоях этих земель содержание гумуса и степень насыщенности им почвы гораздо выше, чем на лугах и в лесных биогеоценозах. Создание же лесных насаждений на месте лугов приводит к увеличению содержания гумуса на значительную глубину профиля почв.

Таблица 7

Степень гумусированности почвы при разном использовании земель в пойме Малой Кокшаги

Слой почвы	Значение показателей в разных биотопах*							
	Содержание гумуса, %				Коэффициент насыщенности гумусом			
	1	2	3	4	1	2	3	4
0-30 см	4,06	2,26	5,09	4,96	0,31	0,18	0,39	0,32
31-60 см	1,26	3,11	1,67	1,68	0,21	0,46	0,29	0,32
61-90 см	0,79	1,37	1,02	0,20	0,33	0,58	0,40	0,09
91-120 см	0,22	1,74	0,60	0,31	0,20	1,27	0,51	0,36

*Примечание: 1 – луга; 2 – пашни, 3 – лесные культуры, созданные на лугах, 4 – естественный лес.

Важную информацию об особенностях процесса накопления гумуса в каждом конкретном экотопе отражает характер распределения его содержания по профилю почвы, которое может быть убывающим, равномерным, возрастающим или бимодальным [23]. Для отображения этой закономерности конкретных количественных показателей пока не разработано, что не позволяет достаточно объективно охарактеризовать процесс гумусонакопления. Нами установлено, что этими показателями являются параметры уравнения $Y = \alpha \times \exp(-\beta \times X)$, в котором Y – содержание гумуса (%) на определённой глубине почвы (X , см), α – его содержание в нулевой точке, β – скорость убывания содержания с глубиной. Для реальной обстановки данное уравнение целесообразно несколько изменить, представив его в следующем виде:

$$Y = \alpha \times \exp[-\beta \times 10^{-2} \times (X - 3)]. \quad (8)$$

Параметр α соответствует в этом случае содержанию гумуса в почве на глубине 3 см, а параметр β характеризует величину его последующего снижения. Дифференциал этой функции отражает относительное снижение его величины по градиенту профиля, что описывает следующее уравнение:

$$\Delta Y = 100 \times [1 - \exp(-k \times \beta)], \quad (9)$$

в котором k – параметр шага дифференциации (для шага 1 см он равен 0,01, 10 см – 0,1).

На основе уравнения (8) можно вычислить также значение ещё одного параметра, соответствующего глубине почвы, на которой содержание гумуса вдвое меньше, чем на её поверхности под слоем подстилки. Для расчёта используется следующая формула:

$$N_{0,5\alpha} = [-\ln(0,5)/(\beta \times 10^{-2})] + 3. \quad (10)$$

Значения этих параметров, как показали расчёты, очень сильно варьируют в

разрезах исследованных экотопов (табл. 8), отражая специфику гумусонакопления в них (табл. 9, рис. 5). Особенно сильно изменяется параметр β , что свидетельствует о его высокой информативной значимости. Меньше всего варьирует относительное снижение содержания гумуса при использовании шага дифференциации 10 см.

Каковы же причины варьирования параметров, описывающих характер вертикального распределения содержания гумуса в почве лесных биогеоценозов? Расчёты показали, что значения параметра β уравнения (8) и ΔY_{10} на 40–45 % зависят от величины параметра α , отражающего содержание гумуса на глубине 3 см, а также от содержания в почве обменных оснований (X , мг-экв./100 г) или физической глины (Z , %), что описывают следующие уравнения регрессии:

$$\beta = 3,412 \times \alpha^{0,653} \times \exp(-23,96 \times 10^{-3} \times X); \quad (11)$$

$$R^2 = 0,409; p < 0,01;$$

$$\beta = 3,996 \times \alpha^{0,611} \times \exp(-15,18 \times 10^{-3} \times Z); \quad (12)$$

$$R^2 = 0,396; p < 0,01;$$

$$\Delta Y_{10} = 29,4 \times \alpha^{0,378} \times \exp(-12,19 \times 10^{-3} \times X); \quad (13)$$

$$R^2 = 0,448; p < 0,001;$$

$$\Delta Y_{10} = 29,3 \times \alpha^{0,413} \times \exp(-8,481 \times 10^{-3} \times Z); \quad (14)$$

$$R^2 = 0,453; p < 0,001.$$

Скорость снижения содержания гумуса в почве, как следует из этих уравнений, возрастает по мере увеличения значений параметра α и снижения содержания в почве обменных оснований и физической глины. Остальные 55–60 % изменчивости параметров β и ΔY_{10} связаны с особенностями сложения профиля почвы в каждом биотопе и её гидрологического режима, сезона года [65, 66], характера использования земель в прошлом и породного состава древостоя [15, 51, 54, 67–75], а также с инструментальными ошибками, избежать которых практически невозможно.

Таблица 8

Вариабельность параметров уравнения, описывающего характер вертикального распределения содержания гумуса в почве лесных биогеоценозов Среднего Поволжья

Параметр уравнения	Значения статистических показателей параметров уравнения (N = 330)							
	M ± m	min	max	S _x	V, %	p, %	A	E
α	8,31 ± 0,30	0,29	34,67	5,50	66,2	3,6	1,212	2,315
β	8,09 ± 0,34	1,02	44,54	6,17	76,3	4,2	2,112	7,293
ΔY на 1 см	7,6 ± 0,30	1,0	35,9	5,4	70,6	3,9	1,724	4,545
ΔY на 10 см	49,0 ± 0,6	9,7	98,8	21,3	43,6	2,4	0,300	-0,857
H _{0,5α}	17,1 ± 0,6	4,6	71,0	10,7	62,8	3,5	1,953	5,112

Таблица 9

Параметры вертикального распределения гумуса в почвах лесных биогеоценозов Среднего Поволжья

Оцениваемые параметры	Среднее значение параметра и его ошибки у различных почв				
	ДП (N = 90)	БЛ (N = 133)	СЛ (N = 56)	ВЧ (N = 10)	АЛ (N = 23)
Параметр α уравнения (8)	5,24 ± 0,45	9,06 ± 0,19	9,55 ± 0,79	11,77 ± 0,84	8,44 ± 0,88
Параметр β уравнения (8)	8,59 ± 0,76	8,96 ± 0,55	6,95 ± 0,64	3,02 ± 0,29	6,17 ± 0,88
Величина H _{0,5α} , см	17,8 ± 1,3	15,2 ± 0,8	18,4 ± 1,6	27,6 ± 2,1	19,4 ± 2,0
ΔY на 1 см, %	8,00 ± 0,65	8,40 ± 0,48	6,61 ± 0,58	2,97 ± 0,28	5,90 ± 0,81
ΔY на 10 см, %	49,4 ± 2,5	52,9 ± 1,8	45,4 ± 2,6	25,8 ± 2,0	42,0 ± 4,1

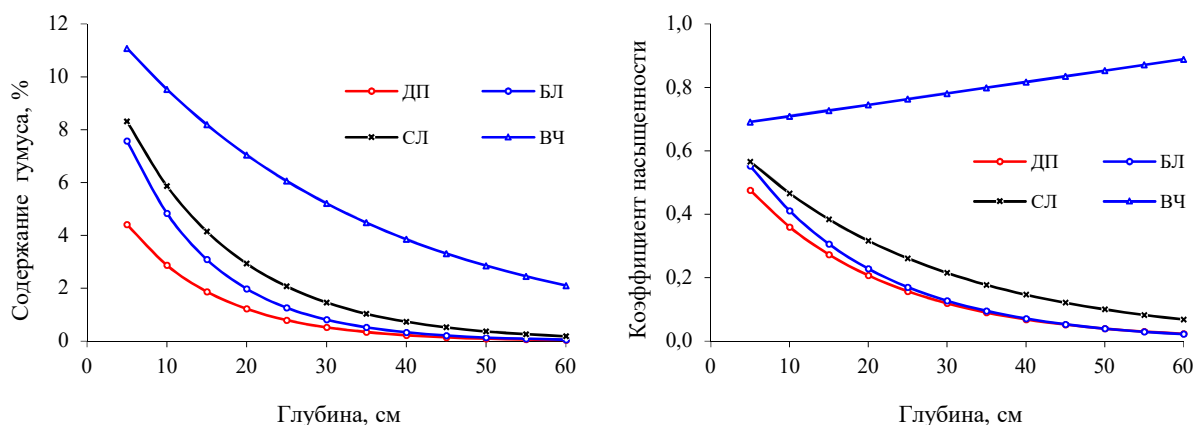


Рис. 5. Характер изменения содержания гумуса и коэффициента насыщенности им по градиенту профиля разных типов почв Среднего Поволжья

Численное интегрирование уравнения (8), описывающего характер распределения содержания гумуса по профилю почвы, позволяет оценить его запасы, накопившиеся в том или ином слое. Расчёты показали, что эта величина варьирует в лесных экосистемах весьма значительно, но не выходит в целом за пределы, установленные И.В. Тюриным [7] и другими исследователями [13, 19, 22, 23, 38, 49, 76]. Так, в слое почвы 0–20 см запас гумуса изменяется в лесных биогеоценозах Среднего Поволжья от 8 до 277,9 т/га, составляя в среднем $95,1 \pm 2,7$ т/га, в слое 0–50 см –

от 12,8 до 439,5 т/га, а в метровом – до 600 т/га (табл. 10). Запасы гумуса в лесных биогеоценозах, как показали расчёты, в определённой мере зависят от типа почв, а также от содержания в них физической глины (табл. 11), определяющей величину поглощающего комплекса. Эту зависимость по всей совокупности данных описывает уравнение регрессии, которое статистически высоко достоверно, хотя и объясняет только 38 % дисперсии показателя: $M_{20} = 19,01 \times X^{0,468}$; $R^2 = 0,381$; $p < 0,001$; (15) M_{20} – запас гумуса в слое почвы 0–20 см, т/га; X – содержание физической глины, %.

Таблица 10

Пределы и закономерности изменчивости запасов гумуса в почве лесных биогеоценозов

Слой почвы	Значения статистических показателей (N = 321)					
	M ± m	min	max	S _x	V, %	p, %
Абсолютная величина запаса, т/га						
0-20 см	95,1 ± 2,7	8,0	277,9	48,7	51,2	2,9
0-50 см	158,7 ± 5,0	12,8	439,5	90,4	57,0	3,2
0-100 см	174,9 ± 5,9	12,8	600,1	106,1	60,7	3,4
Доля запаса гумуса относительно его абсолютной величины в слое почвы 0-100 см, %						
0-20 см	58,9 ± 1,0	26,8	99,8	17,5	29,6	1,7
0-50 см	92,2 ± 0,5	62,2	99,9	9,2	9,9	0,6

Таблица 11

Запасы гумуса в верхнем горизонте разных типов почв в зависимости от содержания в них глины

Тип почвы	Средний запас гумуса (т/га) в слое почвы 0-20 см при разном содержании в нём глины					
	< 10 %	10-20 %	20-40 %	40-50 %	50-65 %	> 65 %
ДП	43,7 ± 3,9	57,5 ± 6,0	65,4 ± 6,3	107,1 ± 4,2	-	-
БЛ	71,3 ± 9,0	87,6 ± 9,2	86,4 ± 10,1	108,2 ± 5,6	110,3 ± 7,7	150,5 ± 19,8
СЛ	-	-	91,0 ± 8,3	109,1 ± 7,0	154,1 ± 12,2	113,2 ± 20,2
ВЧ	-	-	-	163,9 ± 33,1	183,9 ± 7,9	-
АЛ	-	91,7 ± 16,4	96,9 ± 24,0	89,1 ± 29,7	122,6 ± 12,9	124,1 ± 15,1

Важнейшим фактором изменчивости запасов гумуса в почве является, как уже отмечалось, породный состав древостоев [51, 54, 67–75], определяющий массу и качество опада, а также количество и состав атмосферных осадков, проникающих под лесной полог и способствующих выносу из почв элементов питания. Так, под пологом ельников при сопоставимом гранулометрическом и химическом составе почв ежегодно образуется 42 кг/га нового гумуса, а под пологом сосняков 286 кг/га. Синтез гумусовых веществ в березняках составляет 170, а в осинниках – 512 кг/га в год, где формируется мощный гумусово-элювиальный горизонт, содержащий больше, чем в других экотопах, обменных оснований, подвижных соединений калия и фосфора, что связано с высоким содержанием в опаде соединений кальция, нейтрализующих органические кислоты, выделяющиеся в процессе его разложения. В осиннике медленнее, чем в других биогеоценозах, особенно луговых,

протекает процесс вымывания илестых частиц из гумусово-элювиального горизонта в иллювиальный. Воздействие одних и тех же видов растений на почву в разных биогеоценозах проявляется неодинаково и во многом зависит от физико-географических условий [1]. Так, в лесной зоне берёза, по сравнению с дубом и сосной, способствует большему накоплению гумуса в верхнем горизонте почвы, но в лесостепной уже уступает им.

Запас гумуса в почве, как и его содержание, не может превышать некоторого предела, соответствующего наиболее зрелой стадии её развития. Этот предел, согласно проведённым расчётам, отображает следующее уравнение регрессии:

$$\lim M_{20} = 59,47 \times X^{0,362}. \quad (16)$$

Отношение фактического запаса гумуса к предельно возможному значению при определённом содержании в почве физической глины можно назвать коэффициентом реализации потенциала насыщения

(К_{рпн}), использование которого в исследовательской работе позволит объективнее оценить влияние на почвообразовательный процесс фитоценозов и характер хозяйственного использования земель. Расчёты показали, что значения этого коэффициента варьируют в очень больших пределах, составляя в среднем $0,46 \pm 0,01$ и подчиняясь, в отличие от фактических запасов гумуса, закону нормального распределения (рис. 6). Варьирование К_{рпн} связано с генезисом почв и ходом развития каждого конкретного биогеоценоза.

Основная доля гумуса сосредоточена в верхних слоях почвы, во многом определяя ошибку оценки общего его запаса в биогеоценозах, нормативные (модальные) значения которого отражают следующие уравнения регрессии:

$$M_{50} = 1,485 \times M_{20} \times \exp(2,736 \times 10^{-3} \times X);$$

$$R^2 = 0,892; p < 0,001; \quad (17)$$

$$M_{100} = 1,568 \times M_{20} \times \exp(3,603 \times 10^{-3} \times X);$$

$$R^2 = 0,772; p < 0,001, \quad (18)$$

в которых M_{20} – запас гумуса в слое почвы 0–20 см, т/га; M_{50} – запас гумуса в слое почвы 0–50 см, т/га; M_{100} – запас гумуса в слое почвы 0–100 см, т/га; X – содержание физической глины в слое почвы 0–20 см, %. Любое отклонение фактического запаса гумуса в том или ином биотопе от расчётного значения должно служить предметом тщательного анализа с целью получения дополнительной информации о процессе почвообразования.

В результате проведённых расчётов были установлены средние значения запасов гумуса и коэффициента К_{рпн} для разных типов почв Среднего Поволжья, позволившие уточнить и детализировать имеющиеся весьма скудные региональные данные, приведённые в работах И.В. Тюрина [7] и В.Н. Смирнова [76]. Самое низкое положение в ранговом ряду по запасам гумуса занимают песчаные дерново-подзолы, за которыми следуют бурые и серые лесные почвы, превосходящие их в 1,7–2,1 раза (табл. 12). Запасы гумуса в аллювиальных почвах лишь немногим выше, чем в серых лесных. В выщелоченных же суглинистых чернозёмах, занимающих самое высокое положение в ранговом ряду почв региона, они в 3,15–4,65 раза выше, чем в дерново-подзолистых. Доля запаса гумуса в слое почвы 0–20 см по отношению к метровому слою наиболее велика у бурых лесных почв, что свидетельствует о резком снижении его с глубиной. Немногим меньше значение этого показателя у дерново-подзолистых почв. Наиболее же низко оно у выщелоченных чернозёмов. Серые лесные и аллювиальные почвы практически не различаются между собой по величине этого параметра. По величине коэффициента К_{рпн} лидируют выщелоченные чернозёмы, а замыкают ранговый ряд дерново-подзолистые почвы. У остальных типов почв значения К_{рпн} одинаковы.

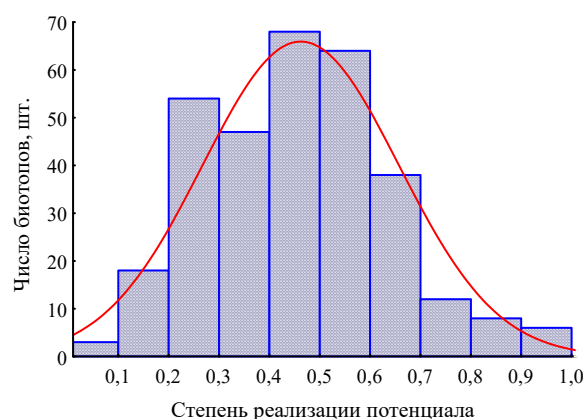
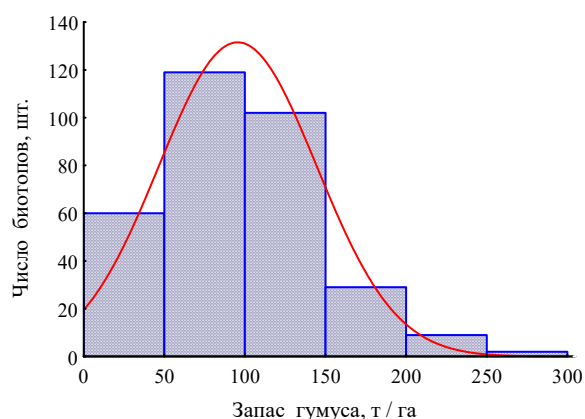


Рис. 6. Частотное распределение биотопов по запасам гумуса в слое почвы 0–20 см и степени реализации его потенциала

Таблица 12

Запас гумуса в различных типах почв Среднего Поволжья

Параметр	Среднее значение показателей и их ошибки для почв различных типов				
	ДП	БЛ	СЛ	ВЧ	АЛ
Запас гумуса в слое 0-20 см, т/га	58,5 ± 3,4	98,6 ± 3,4	113,3 ± 6,5	179,9 ± 8,4	114,0 ± 8,1
Запас гумуса в слое 0-50 см, т/га	93,8 ± 5,6	158,5 ± 6,2	192,7 ± 11,6	370,0 ± 15,1	202,9 ± 17,0
Запас гумуса в слое 0-100 см, т/га	101,9 ± 6,0	170,9 ± 7,1	212,6 ± 12,9	465,4 ± 21,6	232,0 ± 21,5
Отношение M_{20} / M_{100} , %	60,1 ± 2,0	61,9 ± 1,5	55,9 ± 2,2	38,9 ± 1,7	53,3 ± 3,3
Коэффициент реализации потенциала	0,39 ± 0,02	0,47 ± 0,01	0,48 ± 0,03	0,71 ± 0,03	0,47 ± 0,03

Коэффициент $K_{рпн}$ можно рассматривать не только в качестве показателя степени реализации потенциала почв по накоплению ими запасов гумуса, свидетельствующего в определённой мере об их сукцессионном возрасте, но и в качестве показателя скорости биологического круговорота в лесных экосистемах, которая обратно пропорциональна значению этого коэффициента. Таким образом, большие запасы гумуса в почвах не следует считать, с экологических позиций, положительным явлением в развитии экосистем. Наоборот, они свидетельствуют о замедлении протекания в них биологического круговорота и приближении климакса, наступление которого в природе часто прерывается различного рода катаклизмами или антропогенной деятельностью, способствующих в конечном итоге эволюции биоты. Так, к примеру, после пожара на низинном болоте, уничтожившего всю растительность вместе с корнями и торф на глубину до 30 см, через некоторое время вырос осинник, который постепенно сменился вязовником [77]. При отсутствии пожара сукцессия либо растянулась бы на неопределённо длительное время, либо пошла по совершенно иному пути. Ещё более ярким примером является постепенная смена растительности на холмах Шотландии от высокопроизводительных дубрав до вересковых пустошей, приведшая в условиях влажного и прохладного климата к формированию мощного слоя торфа, используемого населением в настоящее время для отопления жилищ. При устойчивом бесконечно долгом развитии

наземных экосистем запасы гумуса и величина коэффициента $K_{рпн}$ будут находиться на некотором оптимальном уровне, определяемом физико-географическими факторами (в почвах высокопроизводительных дождевых тропических лесов, к примеру, гумуса очень мало).

Заключение. Итак, в результате проведённого исследования установлены пределы и причины варибельности содержания и запасов гумуса в почвах лесных биогеоценозах Среднего Поволжья. Показано, что величина этих показателей зависит от суммы обменных оснований, которая функционально связана с содержанием в почве физической глины. Приведены соответствующие эмпирические уравнения, отражающие характер изменения содержания гумуса в градиенте профиля различных типов почв, которые численно отображают реально существующие законы вертикального распределения гумуса и предельного насыщения им почвы. Предложены новые параметры, позволяющие оценивать степень насыщенности почв гумусом и реализации потенциальных возможностей к накоплению его запасов, использование которых в исследовательской работе позволит объективнее оценить влияние на почвообразовательный процесс фитоценозов и характер хозяйственного использования земель. Сделан вывод о том, что большие запасы гумуса в почвах свидетельствуют о замедлении протекания в лесных экосистемах биологического круговорота и приближении стадии климакса, наступление кото-

рого в природе часто прерывается различного рода катаклизмами или антропогенной деятельностью, способствующих в конечном итоге эволюции биоты. При устойчивом бесконечно долгом развитии биогеоценозов запас гумуса будет находиться на некотором оптимальном уровне, определяемом физико-географическими факторами.

Пределы и причины изменчивости запасов гумуса в почвах лесных биогеоценозов Среднего Поволжья установить удалось нам только благодаря электронной базе данных, отражающей обширную информацию, добытую как многими исследователями, так и нашим творческим коллективом. Создание подобных баз

данных, открытых для свободного доступа, позволит решить новым поколениям исследователей многие актуальные задачи почвоведения, выявить новые закономерности и описать их в форме математических уравнений. Для повышения точности оценок запасов гумуса в лесных экосистемах необходима также полная увязка почвенной типологии с биогеоценотической и ландшафтной, которая пока практически отсутствует. Необходимо также углублённое изучение динамики состояния почв в процессе развития биогеоценозов, смен растительного покрова и хозяйственного использования земель, проводимое на стационарных опытных объектах.

Список литературы

1. Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность, 1981. 264 с.
2. Карпачевский Л. О. Экологическое почвоведение. М.: Геос, 2005. 336 с.
3. Ковда В. А. Основы учения о почвах. Кн. 1. М.: Наука, 1973. 448 с.
4. Тейт Р. Органическое вещество почвы. М.: Мир, 1991. 400 с.
5. Кудяров В. Н. Роль почв в круговороте углерода // Почвоведение. 2005. № 8. С. 915-923.
6. Заварзин Г. А., Кудяров В. Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник РАН. 2006. № 76 (1). С. 14-29.
7. Тюрин И. В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. Л.: Сельхозгиз, 1937. 268 с.
8. Ваксман С. А. Гумус: происхождение, химический состав и значение в природе. М.: Сельхозгиз, 1937. 471 с.
9. Роде А. А. Почвообразовательный процесс и эволюция почв. М.: Географгиз, 1947. 142 с.
10. Иенни Г. Факторы почвообразования. М.: Изд-во иностранной литературы, 1948. 347 с.
11. Емельянов И. И. К вопросу о географических закономерностях гумусообразования в почвах Казахстана // Почвоведение. 1953. № 9. С. 40-48.
12. Волобуев В. Р. Почвы и климат. Баку: АН АзССР, 1953. 320 с.
13. Кононова М. М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. М.: АН СССР, 1963. 314 с.
14. Афанасьева Е. А. Черноземы Среднерусской возвышенности. М.: Наука, 1966. 222 с.
15. Смирнов В. Н. Почвы Марийской АССР, их генезис, эволюция и пути улучшения. Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1968. 532 с.
16. Гумус почв Волжско-Камской лесостепи и его роль в плодородии / М.А. Винокуров, А.В. Колоскова, Г.И. Сперанская и др. Казань: КГУ, 1972. 132 с.
17. Бахмет О. Н. Особенности органического вещества почв в лесных ландшафтах Карелии // Лесоведение. 2012. № 2. С. 19-27.
18. Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 288 с.
19. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 222 с.
20. Stevenson F. I. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. N.Y.: John Wiley & Sons, 1982. 443 p.
21. Орлов Д. С., Бирюкова О. Н. Гумусное состояние почв как функция их биологической активности // Почвоведение. 1984. № 8. С. 40-49.
22. Гришина Л. А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. М.: МГУ, 1986. 242 с.
23. Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Суханова Н. И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
24. Soil carbon pools and world life zones / W. M. Post, W. R. Emanuel, P. J. Zinke et al. // Nature. 1982. Vol. 298. No 5870. Pp. 156-157.
25. Schlesinger W. H. Soil organic matter: a source of atmospheric CO₂ // The Role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle. Scope 23. N.Y.: John Wiley & Sons, 1984. P. 111-127.
26. Schlesinger W. H., Andrews J. A. Soil respiration and global carbon cycle // Biogeochemistry. 2000. Vol. 48. P. 7-20.
27. Колоскова А. В., Гилязова С. М., Сакаева А. Х. Гумусное состояние почв Волжско-Камской лесостепи. Казань: Изд-во Казанского университета, 1985. 140 с.

28. *Vinson T. S., Kolchugina T. P.* Pools and fluxes of biogenic carbon in the Former Soviet Union // *Water, Air and Soil Pollution*. 1993. No 70. Pp. 223–237.
29. Запасы органического углерода в почвах Западной Сибири / А. А. Титлянова, Г. И. Булавко, Н. П. Миронычева-Токарева и др. // *Почвоведение*. 1994. № 10. С. 49–53.
30. *Титлянова А. А., Наумов А. В.* Потери углерода из почв Западной Сибири при их сельскохозяйственном использовании // *Почвоведение*. 1995. № 11. С. 1357–1362.
31. *Bird M. I., Santrruchkova Y, Lloyd J. et al.* The global soil organic carbon pool // *Global biogeochemical cycles in the climate system*. N.Y.: Academic press, 2001. P. 185–200.
32. *Титлянова А. А., Чупрова В. В.* Изменение круговорота углерода в связи с различным использованием земель (на примере Красноярского края) // *Почвоведение*. 2003. № 2. С. 211–219.
33. Распределение запасов органического углерода в почвах лесов России / О. В. Честных, Д. Г. Замолодчиков, А. И. Уткин и др. // *Лесоведение*. 1999. № 2. С. 13–21.
34. *Честных О. В., Замолодчиков Д. Г., Уткин А. И.* Общие запасы биологического углерода и азота в почвах лесного фонда России // *Лесоведение*. 2004. № 4. С. 30–42.
35. *Martens D. A., Reedy T. E., Lewis D. T.* Soil organic carbon content and composition of 130 year crop, pasture and forest land use managements // *Global Change Biology*. 2004. No 10. P. 65–78.
36. *Бахмет О. Н.* Запасы углерода в почвах сосновых и еловых лесов Карелии // *Лесоведение*. 2018. № 1. С. 48–55.
37. Запасы органического углерода в почвах России / Д. Г. Щепаченко, Л. В. Мухортова, А. З. Швиденко и др. // *Почвоведение*. 2013. № 2. С. 123–132.
38. Динамика содержания гумуса и его запасов в почвах Республики Татарстан / А. Б. Александрова, Д. В. Иванов, В. В. Маланин и др. // *Российский журнал прикладной экологии*. 2015. № 3. С. 13–17.
39. *Болотина Н. И.* Запасы гумуса и азота в основных типах почв СССР // *Агрохимическая характеристика почв СССР: Почвенно-агрохимическое картирование*. М.: Наука, 1976. С. 187–202.
40. *Кононова М. М.* Органическое вещество и плодородие почв // *Почвоведение*. 1984. № 8. С. 6–20.
41. *Buringh P.* Organic carbon in Soils of the World // *The Role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle*. Scope 23. N.Y.: John Wiley & Sons., 1984. P. 91–109.
42. *Eswaran H., Van den Berg E., Reich P.* Organic carbon in soils of the world // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 1993. Vol. 57. P. 192–194.
43. *Исаев А. С., Коровин Г. Н.* Углерод в лесах Северной Евразии // *Круговорот углерода на территории России*. М.: Наука, 1999. С. 63–95.
44. *Добровольский Г. В., Трофимов С. Я., Седов С. Н.* Углерод в почвах и ландшафтах Северной Евразии // *Круговорот углерода на территории России*. М.: Наука, 1999. С. 233–270.
45. *Stolbovoi V.* Carbon in Russia Soils // *Climatic Change*. 2002. Vol. 55. No 1–2. Pp. 131–156.
46. *Stolbovoi V.* Soil carbon in the forests of Russia // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2006. No 11. Pp. 203–222.
47. *Замолодчиков Д. Г., Коровин Г. Н., Гитарский М. Л.* Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации // *Лесоведение*. 2007. № 6. С. 23–34.
48. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / В.Н. Кудеяров, Г.А. Заварзин, С.А. Благодатский и др. М.: Наука, 2007. 315 с.
49. *Николаишвили Д. А., Мачавариани Л. Г.* Запас гумуса и некоторые особенности его распределения в ландшафтах Грузии // *Почвоведение*. 2010. № 1. С. 47–57.
50. Почвы Чувашской Республики / И.В. Тюрин, С.И. Андреев, Л.Т. Земляницкий и др. М.-Л.: АН СССР, 1935. 304 с.
51. *Шакиров К. Ш.* Влияние различных лесных насаждений на почвообразовательный процесс. Казань: Изд-во Казанского университета, 1961. 64 с.
52. *Шакиров К. Ш., Арсланов П. А.* Почвы широколиственных лесов Предволжья. Казань: Изд-во Казанского университета, 1982. 176 с.
53. *Винокуров М. А., Гришин П. В.* Лесные почвы Татарии. Казань: Изд-во Казанского университета, 1962. 70 с.
54. *Миронов Н. А.* Зависимость между свойствами почв и составом смешанных насаждений // *Научные доклады высшей школы. Биологические науки*. 1964. № 1. С. 199–204.
55. *Смирнов В. Н.* О почвообразовании на песках в условиях лесной зоны Среднего Поволжья // *Поволжский лесотехнический институт. Сборник трудов № 58. Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во, 1967. Вып. 3. С. 138–162.*
56. *Усынина В. А., Иванова Е. И.* Валовой химический состав главнейших почв Марийской АССР // *Поволжский лесотехнический институт. Сборник трудов № 58. Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во, 1967. Вып. 3. С. 179–193.*
57. *Захаров К. К.* Почвы широколиственных лесов юго-восточной части Чувашской Республики // *Рациональное лесопользование и защита лесов в Среднем Поволжье. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. С. 142–145.*
58. *Бажин О. Н.* Свойства бурых лесных почв и их влияние на рост культур сосны и ели // *Рациональное лесопользование и защита лесов в Среднем Поволжье. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. С. 145–150.*
59. *Газизуллин А. Х.* Почвенно-экологические условия формирования лесов Среднего Поволжья.

- Т. 1: Почвы лесов Среднего Поволжья, их генезис, систематика и лесорастительные свойства. Казань: РИЦ «Школа», 2005. 496 с.
60. Дунаева Т. Ю. Почвенно-экологические условия произрастания насаждений липы Предкамья Республики Татарстан // Современные проблемы почвоведения и экологии. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. Ч. 1. С. 150-156.
61. Пуряев А. С., Газизуллин А. Х. Защитные лесные насаждения Республики Татарстан и почвенно-экологические условия их произрастания. Казань: КГАУ, 2011. 176 с.
62. Демаков Ю. П., Исаев А. В., Нуреев Н. Б. Вариабельность плотности сложения почв в лесных биогеоценозах Среднего Поволжья // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. Вып. 8. С. 44-55.
63. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.
64. Гринин А. С., Орехов Н. А., Новиков В. Н. Математическое моделирование в экологии. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 269 с.
65. Динамика запасов углерода в почвенном ярусе лесной таежной экосистемы / Л. Н. Шихова, О. А. Зубкова, Е. А. Русских и др. // Вестник Удмуртского государственного ун-та. Сер.: Биология. Науки о Земле. 2011. Вып. 4. С. 31-39.
66. Шихова Л. Н., Лисицын Е. М. Динамика содержания и запасов углерода гумуса в пахотных подзолистых почвах подзоны южной тайги Кировской области // Вестник Удмуртского университета. Сер.: Биология. Науки о Земле. 2014. Вып. 2. С. 7-13.
67. Ткаченко М. Е. Влияние отдельных пород деревьев на почву // Почвоведение. 1939. № 10. С. 3-17.
68. Зонн С. В. Влияние леса на почвы. М.: АН СССР, 1954. 160 с.
69. Моделирование развития искусственных лесных биогеоценозов / Шугалей Л. С., Семечкина М. Г., Яшихин Г. И. и др. Новосибирск: Наука, 1984. 152 с.
70. Шугалей Л. С. Моделирование процессов влияния основных древесных пород на почву // Исследование и моделирование почвообразования в лесных биогеоценозах. Новосибирск: Наука, 1979. С. 79-158.
71. Шугалей Л. С. Воздействие лесных культур на антропогенные почвы котловин юга Средней Сибири // Почвоведение. 1996. № 4. С. 411-421.
72. Исаев А. В. Формирование почвенного и растительного покрова в поймах речных долин Марийского Полесья (на примере территории заповедника «Большая Кокшага»). Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. 240 с.
73. Изменение параметров луговой аллювиальной почвы под влиянием лесной растительности / Ю. П. Демаков, А. В. Исаев, И. И. Митякова и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 3 (31). С. 59-76.
74. Демаков, Ю. П., Исаев А. В., Митякова И. И. Почвы лесопарка «Дубовая роща»: строение, свойства, развитие // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. Вып. 8. С. 115-168.
75. Влияние растительности на лабильные характеристики лесных почв зандровых местностей заповедника «Брянский лес» / А. И. Казакова, А. А. Семиколенных, А. В. Горнов и др. // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2018. № 3. С. 9-15.
76. Смирнов В. Н. Запасы гумуса, азота, легкорастворимых фосфора и калия в метровом слое дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почв и их распределение по генетическим горизонтам // Поволжский лесотехнический институт. Сборник трудов № 49. Йошкар-Ола: ПЛТИ, 1953. С. 50-52.
77. Риклефс Р. Основы общей экологии. М.: Мир, 1979. 424 с.

Статья поступила в редакцию 23.08.18.

Принята к публикации 06.09.18.

Информация об авторах

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник, государственный природный заповедник «Большая Кокшага»; профессор-консультант кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – лесоведение, лесоводство, биогеоценология, экология. Автор 330 публикаций, в том числе 12 монографий и учебных пособий.

ИСАЕВ Александр Викторович – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, государственный природный заповедник «Большая Кокшага». Область научных интересов – биогеоценология, лесное почвоведение, охрана природы. Автор 50 публикаций, в том числе одной монографии.

НУРЕЕВ Наиль Биалович – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и почвоведения, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – лесное почвоведение, биогеоценология, охрана природы. Автор 50 публикаций, в том числе одной монографии.

МИТЯКОВА Ирина Ивановна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – экология, почвоведение. Автор 60 публикаций.

UDC 631.417.1

DOI: 10.15350/2306-2827.2018.3.30

LIMITS AND REASONS OF VARIABILITY OF HUMUS STOCK IN THE SOILS OF MIDDLE VOLGA FORESTS

Yu. P. Demakov^{1,2}, A. V. Isaev¹, N. B. Nureev², I. I. Mityakova²

¹State Nature Reserve “Bolshaya Kokshaga”,
26, Voinov-Internatsionalistov St., Yoshkar-Ola, 424038, Russian Federation

²Volga State University of Technology,
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: DemakovYP@volgatech.net

Keywords: *Middle Volga Region; forest biogeocenoses; soils; humus; content; stock; variability; factors; mathematical models.*

ABSTRACT

Introduction. Humus stock is one of the most important characteristic of soil, it indicates to the genesis of soil, its maturity degree, accumulated potential of fertility, degree of disturbance, as well as the reliability of functioning of all the ecosystem. The interest to the problem of humus stock assessment has significantly increased in the late decades which is due to the increasing degradation of arable lands and global warming caused by disturbance of biological cycle of matters and densification of carbon dioxide to the atmosphere. Soil is a very important container for the carbon dioxide. **The goal of the research is to determine the limits and to reveal the regularities of variability of humus content and stock in the soils of Middle Volga forests based on the statistical processing of vast digital information from various source of literature, and to reflect the existing dependences as mathematical equations, improving the accuracy of humus assessment. **Material and research technique.** Some personal data and study materials of various authors, given in the biogeocenoses of Middle Volga Region were used in the paper. On the basis of the data, an e-database was established. The information about humus content and some other indices of soil status in 1621 samples, taken in 330 soil cuts, contains in the e-database. Digital material was processed on a computer using standard methods of mathematical statistics and conventional application software programs. **Results and discussion.** The limits and reasons for variability of content and stock of humus in the soils of forest biogeocenoses of Middle Volga Region were determined. It was demonstrated that the value of these indices depended on the S-value, which was functionally related to the content of physical clay in the soil. Some relevant empiric equations, reflecting nature of the change of humus content in the gradient of cut of various types of soil, were given. Real-life laws of vertical distribution of humus and maximum saturation of soil with it are shown in the equations. Some new parameters, making it simple to estimate the level of saturation of soils with humus and to implement potential possibilities to accumulate humus stock are offered. Use of the new parameters in the research will make it possible to assess the influence of plant formation on the soil forming process and the nature of economic use of lands more objectively. **Conclusion.** Humus stock in the soils is the evidence of the age of soils and the speed of biological cycle. In the context of sustainable aeonie evolution of biogeocenoses, humus stock will be on some optimum level, which is determined with physical and geographical factors. Establishment of electronic public data bases and complete coordination of soil typology with biogeocenotical and landscape typologies (there is practically no such typologies) is urgent to reveal new regularities of structural organization and development of soils as well as to improve the accuracy of humus stock assessment.**

REFERENCES

1. Karpachevskiy L. O. *Les i lesnye pochvy* [Forest and Forest Soils]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1981. 264 p. (In Russ.).
2. Karpachevskiy L. O. *Ekologicheskoe pochvovedenie* [Ecological Pedology]. Moscow: Geos, 2005. 336 p. (In Russ.).
3. Kovda V. A. *Osnovy ucheniya o pochvakh. Kn.1* [The Basis for the Study about Soils. Book 1.]. Moscow: Nauka, 1973. 448 p. (In Russ.).
4. Tate R. *Organicheskoe veshchestvo pochvy* [Soil Organic Matter]. Moscow: Mir, 1991. 400 p. (In Russ.).
5. Kudeyarov V. N. Rol pochv v krugovorote ugleroda [The Role of Soils in Carbon Cycle]. *Pochvovedenie* [Pedology.]. 2005. No 8. Pp. 915-923. (In Russ.).
6. Zavarzin G. A., Kudeyarov V. N. Pochva kak glavnyy istochnik uglekisloty i rezervuar organicheskogo ugleroda na territorii Rossii [Soil as Major Source of Carbon Dioxide and a Basin of Organic Carbon in Russia]. *Vestnik RAN* [Vestnik of RAS.]. 2006. No 76 (1). Pp. 14-29. (In Russ.).
7. Turin I. V. Organicheskoe veshchestvo pochv i ego rol v pochvoobrazovanii i plodorodii [Soil Organic Matter and Its Role in Soil Formation and Fertility]. Leningrad.: Selkhozgiz, 1937. 268 p. (In Russ.).
8. Vaksman S. A. *Gumus: proiskhozhdenie, khimicheskii sostav i znachenie v prirode* [Humus: Origin, Chemical Composition and Meaning for the Nature]. Moscow: Selkhozgiz, 1937. 471 p. (In Russ.).
9. Rode A. A. *Pochvoobrazovatelnyy protsess i evolutsiya pochv* [Soil Formation Process and Evolution of Soils]. Moscow: Geografiz, 1947. 142 p. (In Russ.).
10. Ienni G. *Factory pochvoobrazovaniya* [Factors of Soil Formation]. Moscow: Izd-vo inostrannoy literatury, 1948. 347 p. (In Russ.).
11. Emelyanov I. I. K voprosu o geograficheskikh zakonomernostyakh gumusoobrazovaniya v pochvakh Kazakhstana [On the Problem of Geographic Regularities of Humus-Formation in the Soils of Kazakhstan]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1953. No 9. Pp. 40-48. (In Russ.).
12. Volobuev V. R. *Pochvy i klimat* [Soils and Climate]. Baku: AN AzSSR, 1953. 320 p. (In Russ.).
13. Kononova M. M. *Organicheskoe veshchestvo pochvy, ego priroda, svoystva i metody izucheniya* [Soil Organic Matter, Its Nature, Properties and Methods to Study]. Moscow: AN SSSR, 1963. 314 p. (In Russ.).
14. Afanaseva E. A. *Chernozemy Srednerusskoy vozvyshehnosti* [Black Earth of the Central Russian Upland]. Moscow: Nauka, 1966. 222 p. (In Russ.).
15. Smirnov V. N. *Pochvy Mariyskoy ASSR, ikh genezis, evolutsiya i puti uluchsheniya* [Soils of Mari ASSR, Their Genesis, Evolution and Ways to Improve]. Yoshkar-ola: Marknigoizdat, 1968. 532 p. (In Russ.).
16. Vinokurov M.A., Koloskova A.V., Speranskaya G.I. et al. *Gumus pochv Volzhsko-Kamskoy lesostepi i ego rol v plodorodii* [Humus of Soils in Volga-Kama Forest-Steppe and Its Role in Fertility]. Kazan: KGU, 1972. 132 p. (In Russ.).
17. Bakhmet O. N. Osobennosti organicheskogo veshchestva pochv v lesnykh landshaftakh Karelii [Peculiarities of Soil Organic Matter in Forest Landscapes of Karelia]. *Lesovedenie* [Silviculture]. 2012. № 2. P. 19-27. (In Russ.).
18. Aleksandrova L. N. *Organicheskoe veshchestvo pochvy i protsessy ego transformatsii* [Soil Organic Matter and Processes of Its Transformation]. Leningrad: Nauka, 1980. 288 p. (In Russ.).
19. Ponomareva V. V., Plotnikova T. A. *Gumus i pochvoobrazovanie* [Humus and Soil Formation.]. Leningrad: Nauka, 1980. 222 p. (In Russ.).
20. Stevenson F. I. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. N.Y.: John Wiley & Sons, 1982. 443 p.
21. Orlov D. S., Birukova O. N. Gumusnoe sostoyanie pochv kak funktsiya ikh biologicheskoy aktivnosti [Humus Content of Soil as a Function of Their Biological Activity]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1984. No 8. Pp. 40-49. (In Russ.).
22. Grishina L. A. *Gumusoobrazovanie i gumusnoe sostoyanie pochv* [Humus-Formation and Humus Condition of Soils]. Moscow: MGU, 1986. 242 p. (In Russ.).
23. Orlov D. S., Birukova O. N., Sukhanova N. I. Organicheskoe veshchestvo pochv Rossiyskoy Federatsii [Soil Organic Matter of the Russian Federation]. Moscow: Nauka, 1996. 256 p. (In Russ.).
24. Pos W. M., Emanuel W. R., Zinke P. J. et al. Soil Carbon Pools and World Life Zones. *Nature*. 1982. Vol. 298. No 5870. P. 156-157.
25. Schlesinger W. H. Soil Organic Matter: a Source of Atmospheric CO₂. The Role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle. Scope 23. – N.Y.: John Wiley & Sons, 1984. Pp. 111-127.
26. Schlesinger W. H., Andrews J. A. Soil Respiration and Global Carbon Cycle. *Biogeochemistry*. 2000. Vol. 48. P. 7-20.
27. Koloskova A. V., Gilyazova S. M., Sakaeva A. Kh. *Gumusnoe sostoyanie pochv Volzhsko-Kamskoy lesostepi* [Humus Content of Soil in Volga-Kama Forest-Steppe]. Kazan: Izd-vo Kazanskogo universiteta, 1985. 140 p. (In Russ.).
28. Vinson T. S., Kolchugina T. P. Pools and Fluxes of Biogenic Carbon in the Former Soviet Union. *Water, Air and Soil Pollution*. 1993. No 70. Pp. 223–237.
29. Titlyanova A. A., Bulabko G. I., Mironycheva-Tokareva N. P. et al. Zapasy organicheskogo ugleroda v pochvakh Zapadnoy Sibiri [Stock of Organic Carbon in the Soil of Western Siberia].

Pochvovedenie [Pedology]. 1994. No 10. Pp. 49-53. (In Russ.).

30. Titlyanova A. A., Naumov A. V. Poteri ugleroda iz pochv Zapadnoy Sibiri pri ikh selsko-hozyaystvennom ispolzovanii [Loss of Carbon out from the Soils in Case of Their Agricultural Use (Western Siberia)]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1995. No 11. Pp. 1357-1362. (In Russ.).

31. Bird M. I., Santruchkova Y, Lloyd J. et al. The Global Soil Organic Carbon Pool. Global Biogeochemical Cycles in the Climate System. N.Y.: Academic press, 2001. Pp. 185-200.

32. Titlyanova A. A., Chuprova V. V. Izmenenie krugovorota ugleroda v svyazi s razlichnym ispolzovaniem zemel (na primere Krasnoyarskogo kraja). [Change of Carbon Cycle Due to Various Land Use (based on the example of Krasnoyarsk Territory)]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 2003. No 2. Pp. 211-219. (In Russ.).

33. Chestnykh O. V., Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Korovin G. N. Raspredelenie zapasov organicheskogo ugleroda v pochvakh lesov Rossii [Distribution of Organic Carbon Stock in the Soil of Russian Forests]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 1999. No 2. Pp. 13-21. (In Russ.).

34. Chestnykh O. V., Zamolodchikov D. G., Utkin A. I. Obshchie zapasy biologicheskogo ugleroda i azota v pochvakh lesnogo fonda Rossii [Total Reserve of Biological Carbon and Nitrogen in the Soil of Russian Forest Area]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2004. No 4. Pp. 30-42. (In Russ.).

35. Martens D. A., Reedy T. E., Lewis D. T. Soil Organic Carbon Content and Composition of 130 Year Crop, Pasture and Forest Land Use Managements. *Global Change Biology*. 2004. No 10. Pp. 65-78.

36. Bakhmet O. N. Zapasy ugleroda v pochvakh sosnovykh i elovykh lesov Karelii [Carbon Stock in the Soils of Pine and Spruce Forests of Karelia]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2018. No 1. Pp. 48-55. (In Russ.).

37. Shchepashchenko D. G., Mukhortova L. V., Shvidenko A. Z. et al. Zapasy organicheskogo ugleroda v pochvakh Rossii [Organic Carbon Stock in Russian Soil]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 2013. No 2. Pp. 123-132. (In Russ.).

38. Aleksandrova A. B., Ivanov D. V., Malanin V. V. et al. Dinamika soderzhaniya gumusa i ego zapasov v pochvakh Respubliki Tatarstan [Dynamics of Content of Humus and Its Stock in the Soil of the Republic of Tatarstan]. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii* [Russian Magazine of Applied Ecology]. 2015. No 3. Pp. 13-17. (In Russ.).

39. Bolotina N. I. Zapasy gumusa i azota v osnovnykh tipakh pochv SSSR [Humus and Nitrogen Stock in the Basic types of Soil of the USSR]. *Agrokhimicheskaya kharakteristika pochv SSSR: Pochvenno-agrokhimicheskoe kartirovanie* [Agrochemical Characteristics of the Soil of the USSR: Pedological and Agrochemical Mapping]. Moscow: Nauka, 1976. Pp. 187-202. (In Russ.).

40. Kononova M. M. Organicheskoe veshchestvo i plodorodie pochv [Organic Substance and Soil Fertility]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1984. No 8. Pp. 6-20. (In Russ.).

41. Buringh P. Organic Carbon in Soils of the World. The Role of Terrestrial Vegetation in the Global Carbon Cycle. Scope 23. N.Y.: John Wiley & Sons., 1984. P. 91-109.

42. Eswaran H., Van den Berg E., Reich P. Organic Carbon in Soils of the World. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 1993. Vol. 57. P. 192-194.

43. Isaev A. S., Korovin G. N. Uglerod v lesakh Severnoy Evrazii [Carbon in Forests of Northern Eurasia]. *Krugovorot ugleroda na territorii Rossii* [Carbon Cycle in Russia]. Moscow: Nauka, 1999. P. 63-95. (In Russ.).

44. Dobrovolskiy G. V., Trofimov S. Ya., Sedov S. N. Uglerod v pochvakh i landshaftakh Severnoy Evrazii [Carbon in the Soil and Landscapes of Northern Eurasia]. *Krugovorot ugleroda na territorii Rossii* [Carbon Cycle in Russia]. Moscow: Nauka, 1999. Pp. 233-270. (In Russ.).

45. Stolbovoi V. Carbon in Russia Soils. *Climatic Change*. 2002. Vol. 55. No 1-2. Pp. 131-156.

46. Stolbovoi V. Soil Carbon in the Forests of Russia. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. No 11. Pp. 203-222.

47. Zamolodchikov D. G., Korovin G. N., Gitskiy M. L. Budzhet ugleroda upravlyaemykh lesov Rossiyskoy Federatsii [Carbon Budget in the Manageable Russian Forests]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2007. No 6. Pp. 23-34. (In Russ.).

48. Kudeyarov V. N., Zavarzin G. A., Blagodatkiy S. A. et al. Puly i potoki ugleroda v nazemnykh ekosistemah Rossii [Pools and Streams of Carbon in the Terrestrial Russian Ecosystems]. Moscow: Nauka, 2007. 315 p. (In Russ.).

49. Nikolaishvili D. A., Machavariani L. G. Zapasy gumusa i nekotorye osobennosti ego raspredeleniya v landshaftakh Gruzii [Humus Stock and Some Peculiarities of Its Distribution in the Landscapes of Georgia]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 2010. No 1. Pp. 47-57. (In Russ.).

50. Turin I. V., Andreev S. I., Zemlyanitskiy L. T. et al. *Pochvy Chuvashskoy Respubliki* [The Soil of Chuvash Republic]. Moscow. Leningrad: AN SSSR, 1935. 304 p. (In Russ.).

51. Shakirov K. Sh. *Vliyanie razlichnykh lesnykh nasazhdeniy na pochvoobrazovatelnyy protsess* [Influence of Various Forest Plantations on the Soil-Formation Process]. Kazan: Izd-vo Kazanskogo universiteta, 1961. 64 p. (In Russ.).

52. Shakirov K. Sh., Arslanov P. A. *Pochvy shirokolistvennykh lesov Predvolzhya* [Soils of Broad-Leaved Forests of Fore-Volga Region]. Kazan: Izd-vo Kazanskogo universiteta, 1982. 176 p. (In Russ.).

53. Vinokurov M. A., Grishin P. V. *Lesnye pochvy Tatarii* [Forest Soils in Tatar Republic]. Kazan: Izd-vo Kazanskogo universiteta, 1962. 70 p. (In Russ.).

54. Mironov N. A. Zavisimost mezhdu svoystvami pochv i sostavom smeshannykh nasazhdeniy [Dependance between the Property of Soil and the Composition of Mixed Stands]. *Nauchnye doklady vysshey shkoly. Biologicheskie nauki* [Scientific Reports of Higher School. Biological Sciences]. 1964. No 1. Pp. 199-204. (In Russ.).
55. Smirnov V. N. O pochvoobrazovanii na peskakh v usloviyakh lesnoy zony Srednego Povolzhya [On Soil Formation on the Sand in the Forests of Middle Volga Region]. *Povolzhskiy lesotekhnicheskiiy institut. Sbornik trudov № 58* [Volga Forest Engineering Institute. Collected papers № 58]. Yoshkar-Ola: Mariyskoy kn. izd-vo, 1967. Iss. 3. Pp. 138-162. (In Russ.).
56. Usynina V. A., Ivanova E. I. Valovoy khimicheskiiy sostav glavneyshikh pochv Mariyskoy ASSR [Bulk Chemical Composition of the Predominant Soil in Mari ASSR.]. *Povolzhskiy lesotekhnicheskiiy institut. Sbornik trudov № 58*. [Volga Forest Engineering Institute. Collected papers № 58]. Yoshkar-Ola: Mariyskoy kn. izd-vo, 1967. Iss. 3. Pp. 179-193. (In Russ.).
57. Zakharov K. K. Pochvy shirokolistvennykh lesov yugo-vostochnoy chasti Chuvashskoy Respubliki [The Soil of Broad-Leaved Forests in South-Eastern Part of Chuvash Republic]. *Ratsionalnoe lesopolzovanie i zashchita lesov v Srednem Povolzhe* [Rational Forest Use and Forest Protection in Middle Volga Region]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2003. Pp. 142-145. (In Russ.).
58. Bazhin O. N. Svoystva burykh lesnykh pochv i ikh vliyanie na rost kultur sosny i eli [The Properties of Brown Forest Soils and Their Influence on the Growth of Pine and Spruce Plantations]. *Ratsionalnoe lesopolzovanie i zashchita lesov v Srednem Povolzhe* [Rational Forest Use and Forest Protection in Middle Volga Region]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2003. Pp. 145-150. (In Russ.).
59. Gazizullin A. Kh. Pochvenno-ekologicheskie usloviya formirovaniya lesov Srednego Povolzhya. [Soil-Ecological Condition for Forest Formation in Middle Volga Region]. *Tom 1: Pochvy lesov Srednego Povolzhya, ikh genesis, sistematika i lesorastitelnye svoystva* [Vol.1: The Soil of Middle Volga Region Forests, Their Genesis, Taxonomy and Forest Growth Properties]. Kazan: RITS "Shkola", 2005. 496 p. (In Russ.).
60. Dunaeva T. Yu. Pochvenno-ekologicheskie usloviya proizrastaniya nasazhdeniy lipy Predkamya Respubliki Tatarstan [Soil-Ecological Stand Conditions of Linden of Pre-Kama Region of the Republic of Tatarstan]. *Sovremennyye problemy pochvovedeniya i ekologii* [Current Problems of Pedology and Ecology]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2006. Part 1. Pp. 150-156. (In Russ.).
61. Puryaev A. Z., Gazizullin A. Kh. *Zashchitnye lesnye nasazhdeniya Respubliki Tatarstan i pochvenno-ekologicheskie usloviya ikh proizrastaniya* [Protective Forest Plantations of the Republic of Tatarstan and Their Soil-Ecological Stand Conditions]. Kazan: KGAU, 2011. 176 p. (In Russ.).
62. Demakov Yu. P., Isaev A. V., Nureev N.B. Variabelnost plotnosti slozheniya pochv v lesnykh biogeotsenozakh Srednego Povolzhya [Variability of Bulk Density of Soils in Forest Biogeocoenoses of Middle Volga Region]. *Nauchnye trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Bolshaya Kokshaga»* [Scientific papers of State Nature Reserve "Bolshaya Kokshaga"]. Yoshkar-Ola: PGU, 2017. Iss. 8. Pp. 44-55. (In Russ.).
63. Draper N., Smith G. *Prikladnoy regressionnyy analiz* [Applied Regression Analysis]. Moscow: Statistika, 1973. 392 p. (In Russ.).
64. Grinin A. S., Orekhov N. A., Novikov V. N. *Matematicheskoe modelirovanie v ekologii* [Mathematical Simulation in Ecology]. Moscow: YUNITI-DANA, 2003. 269 p. (In Russ.).
65. Shikhova L. N., Zubkova O. A., Russkikh E. A. et al. Dinamika zapasov ugleroda v pochvennom yaruse lesnoy taezhnoy ekosistemy [Dynamics of Carbon Stock in the Edaphic Layer of Forest Taiga Ecosystem]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser.: Biologiya. Nauki o Zemle* [Vestnik of Udmurt State University. Ser.: Biology. Earth Sciences]. 2011. Iss. 4. Pp. 31-39. (In Russ.).
66. Shikhova L. N., Lisitsyn E. M. Dinamika sodержaniya i zapasov ugleroda gumusa v pakhotnykh podzolistnykh pochvakh podzony yuzhnoy taygi Kirovskoy oblasti [Dynamics of Content and Stock of Carbon of Humus of Arable Podsollic Soil in the Subzone of Southern Taiga, Kirov Region]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser.: Biologiya. Nauki o Zemle* [Vestnik of Udmurt State University. Ser.: Biology. Earth Sciences.]. 2014. Iss. 2. Pp. 7-13. (In Russ.).
67. Tkachenko M. E. Vliyanie otdelnykh porod derevev na pochvu [Influence of Some Tree Species on the Soil]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1939. No 10. Pp. 3-17. (In Russ.).
68. Zonn S.V. Vliyanie lesa na pochvy [The influence of Forest on Soils]. Moscow: AN SSSR, 1954. 160 p. (In Russ.).
69. Shugaley L.S., Semechkina M.G., Yashikhin G.I. et al. *Modelirovanie razvitiya iskusstvennykh lesnykh biogeotsenozov* [Simulation of Artificial Forest Biogeocoenoses Development]. Novosibirsk: Nauka, 1984. 152 p. (In Russ.).
70. Shugaley L.S. Modelirovanie protsessov vliyaniya osnovnykh drevesnykh porod na pochvu [Simulation of the Processes of Principal Woody Species Influence on the Soil]. *Issledovanie i modelirovanie pochvoobrazovaniya v lesnykh biogeotsenozakh* [Study and Simulation of Soil Formation in Forest Biogeocoenoses]. Novosibirsk: Nauka, 1979. Pp. 79-158. (In Russ.).
71. Shugaley L.S. Vozdeystvie lesnykh kultur na antropogennyye pochvy kotlovin yuga Sredney Sibiri [Influence of Forest Plantations on Man-Made Soils of the Basins in the South of Middle Siberia]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1996. No 4. Pp. 411-421. (In Russ.).

72. Isaev A. V. *Formirovanie pochvennogo i rastitelnogo pokrova v poymakh rechnykh dolin Mariyskogo Polesya (na primere territorii zapovednika «Bolshaya Kokshaga»)* [Formation of Soil and Vegetative Cover in the Bottom-Land of River Valley of Mari Forest Region (based on the example of the area of “Bolshaya Kokshaga” nature reserve)]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2008. 240 p. (In Russ.).

73. Demakov Yu. P., Isaev A. V., Mityakova I.I. et al. *Izmenenie parametrov lugovoy alluvialno pochvy pod vliyaniem lesnoy rastitelnosti* [The Parameter Change of Meadow Alluvial Soil under the Influence of Forest Vegetation]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2016. No 3 (31). Pp. 59-76. (In Russ.).

74. Demakov Yu. P., Isaev A. V., Mityakova I.I. *Pochvy lesoparka «Dubovaya roshcha»: stroenie, svoystva, razvitiye* [Soils of “Dubovaya Roshcha” Urban Forest: Configuration, Properties, Development.]. *Nauchnye trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Bolshaya Kokshaga»* [Scientific papers of State Nature Reserve “Bolshaya Kokshaga”].

Yoshkar-Ola: PGTU, 2017. Iss. 8. Pp. 115-168. (In Russ.).

75. Kazakova A.I., Semikolennykh A.A., Gornov A.V., Gornova M.V., Lukina N.V. *Vliyanie rastitelnosti na labilnye kharakteristiki lesnykh pochv zandrovnykh mestnostey zapovednika «Bryanskiy les»* [The Influence of Vegetation on the Labile Characteristics of Forest Soils of Outwash Locations in “Bryanskiy Les” Nature Reserve]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 17. Pochvovedenie* [Vestnik of Moscow University. Ser. 17. Pedology]. 2018. No 3. Pp. 9-15. (In Russ.).

76. Smirnov V.N. *Zapasy gumusa, azota, legkorastvorimyykh fosfora i kaliya v metrovom sloe dernovo-podzolistykh suglinistykh i supeshchanykh pochv i ikh raspredelenie po geneticheskim gorizontam* [Stock of Humus, Nitrogen, Highly Soluble Phosphorus and Potassium in a Metre-Deep Layer of Sod Podzol Loamy and Clay Sand Soils and Their Distribution Throughout the Genetic Horizon]. *Povolzhskiy lesotekhnicheskii institut. Sbornik trudov № 49* [Volga Forest Engineering Institute. Collected papers № 49]. Yoshkar-Ola: PLTI, 1953. Pp. 50-52. (In Russ.).

77. Ricklefs R. *Osnovy obshchey ekologii* [Fundamentals of General Ecology]. Moscow: Mir, 1979. 424 p. (In Russ.).

The article was received 23.08.18.
Accepted for publication 06.09.18.

For citation: Demakov Yu. P., Isaev A. V., Nureev N. B., Mityakova I. I. Limits and Reasons of Variability of Humus Stock in the Soils of Middle Volga Forests. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2018. No 3(39). Pp. 30–49. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.3.16

Information about the authors

DEMAKOV Yuriy Petrovich – Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher at the State Nature Reserve “Bolshaya Kokshaga”; Visiting Professor at the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnologies, Volga State University of Technology. Research interests – forestry, silviculture, biogeocoenology, ecology. The author of 330 publications, including 12 monographs and study guides.

ISAEV Alexander Victorovich – Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director for Research Activity, State Nature Reserve «Bolshaya Kokshaga». Research interests – biogeocoenology, forest pedology, nature protection. The author of 50 publications including one monograph.

NUREEV Nail Bilalovich – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Chair of Ecology and Pedology, Volga State University of Technology. Research interests – biogeocoenology, forest pedology, nature protection. The author of 50 publications including one monograph.

MITYAKOVA Irina Ivanovna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management, Volga State University of Technology. Research interests – ecology, pedology. The author of more than 60 publications.