

УДК 631.417.1

DOI: 10.25686/2306-2827.2019.1.54

ГРАНИЦЫ И ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Ю. П. Демаков^{1,2}, А. В. Исаев^{1,3}, И. И. Митякова², Н. Б. Нуреев²

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

³Марийский государственный университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1

E-mail: DemakovYP@volgatech.net

На основе электронной базы данных, содержащей информацию об основных показателях почв лесных биогеоценозов Среднего Поволжья (330 разрезов, 1 885 образцов), оценены пределы изменчивости их актуальной и потенциальной кислотности. Показано, что каждый из параметров кислотности почв варьирует в очень больших пределах и имеет различное информативное значение, о чём свидетельствует отсутствие между ними строго функциональной связи. Особенно слаба связь между значениями pH и гидролитической кислотности почв, которая является чутким индикатором концентрации в них органических кислот, образующихся при разложении лесной подстилки. Установлено, что кислотность почв довольно чётко изменяется по градиенту их профиля, отражая почвообразующую деятельность лесных фитоценозов, которые, особенно хвойные, способствуют её увеличению. Сделан вывод о том, что кислотностью почв в лесах можно в определённой мере управлять, регулируя с помощью хозяйственных мероприятий состав древесного, их полноту, обилие и структуру подпочвенной растительности, влияя на процесс разложения подстилки.

Ключевые слова: Среднее Поволжье; лесные биогеоценозы; почвы; показатели кислотности; статистическая оценка; взаимосвязи; математические модели.

Введение. Кислотность почв – одно из важнейших свойств, характеризующих их генезис, потенциальное плодородие и все протекающие в них химические, биохимические и биологические процессы [1–7]. Высокая концентрация протонов в почвенных растворах приводит к резкому снижению поступления в растения элементов питания в катионной форме или даже к потере элементов питания, особенно калия, из корней растений. При низких значениях pH заметно снижается активность многих микроорганизмов, в результате чего замедляется разложение растительных остатков и освобождение из них

азота, фосфора, серы и многих необходимых для растений микроэлементов. В условиях кислой реакции среды концентрация Al, Mn и других элементов, в частности Cu, Zn, Pb, Cd, ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr, может возрастать в почвенном растворе до токсичного для растений уровня, особенно на техногенно загрязнённых территориях, что приводит к вовлечению их в пищевые цепи со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями. Увеличение кислотности приводит к снижению ёмкости катионного обмена почв и ухудшению некоторых их водно-физических характеристик. Увеличение кислотности почвы

© Демаков Ю. П., Исаев А. В., Митякова И. И., Нуреев Н. Б., 2019.

Для цитирования: Демаков Ю. П., Исаев А. В., Митякова И. И., Нуреев Н. Б. Границы и причины изменчивости параметров кислотности почв лесных биогеоценозов Среднего Поволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2019. № 1 (41). С. 54–71. DOI: 10.25686/2306-2827.2019.1.54

приводит также к их оподзоливанию, выражающемуся в увеличении доли песчаных частиц вследствие разрушения и вымывания глинистых в более глубокие слои. При высоких же значениях pH ($> 7,5$) резко снижается содержание подвижных соединений кальция, магния, фосфора, железа, марганца и цинка.

Существенным источником подкисления почв являются атмосферные осадки, связанные с природными и техногенными выбросами оксидов азота и серы, образующими с водой азотную и серную кислоты [8–14]. В регионах с развитым интенсивным животноводством в атмосферу поступает также значительное количество аммиака, образующегося при разложении навоза. На кислотность почвы, особенно верхних её слоев, активно влияют древесные, кустарниковые и травянистые растения за счёт своих кроновых и корневых выделений, существенно изменяющих химический состав выпадающих осадков и почвенных растворов [15–21]. Важнейший же источник органических кислот в почвах – эктомикоризные грибы [6, 22, 23], которые при разложении подстилки вырабатывают кислоты, способствующие химическому распаду органического вещества. Бактерии же этих кислот не вырабатывают [24]. Поступление в почву органических и минеральных кислот приводит к появлению обменных ионов алюминия и водорода [5], усиливающих кислотность среды. Определённый вклад в развитие почвенной кислотности принадлежит также процессам гумификации и окисления элементов с переменной валентностью (N, S, Fe, Mn и др.). Так, например, на избыточно увлажнённых почвах их кислотность увеличивает процесс восстановления железа.

На кислотность почвы большое влияние оказывает также характер использования земель. Так, например, по мере зарастания заброшенных пашен лесом величина pH меняется от 5,7 до 4,0 [25]. Наиболее существенный сдвиг в сторону

подкисления отмечается при этом на стадии смыкания древостоя, когда образуется мощный слой слаборазложившейся подстилки. При зарастании же лесом сенокосов столь явного подкисления почв не наблюдается. Направление и характер постоагrogenного изменения почвенной кислотности в значительной степени определяется интенсивностью внесения органических удобрений при сельскохозяйственном использовании земель.

Кислотность почв во многом определяется климатом, уменьшаясь в целом по мере продвижения с севера на юг [2, 6]. В почвах аридных территорий с непромывным водным режимом органические кислоты нейтрализуются основаниями, освобождающимися при разложении растительных остатков и при выветривании минералов, и прогрессивного подкисления почвы не происходит. В гумидных же областях, где количество осадков превышает испаряемость, происходит постоянное подкисление почв в результате ежегодного необратимого вымывания оснований из почвенного профиля дренажными водами на фоне непрерывного образования кислотных продуктов в процессе функционирования биоты. На одном и том же участке леса кислотность почвы не остаётся постоянной во времени: во влажные годы она заметно меньше, чем в сухие. В течение вегетационного периода величина pH изменяется в ряде случаев на 1,1–1,6 единицы: с мая по июнь она возрастает, а затем вновь снижается, достигая минимума осенью.

Кислотность почвы, таким образом, является результатом длительного воздействия на горные породы климата, биоты и хозяйственной деятельности человека, видоизменяющих их исходное состояние.

Природа кислотности почв, познанием которой учёные занимаются давно [1, 26–32], достаточно сложна и окончательно до сих пор не раскрыта, что указывает на необходимость её детального изучения. Далеко не в полной мере установ-

лены границы и причины её изменчивости в пределах того или иного географического района или природной зоны, не выявлены имеющиеся взаимосвязи с остальными параметрами почв и не получены отображающие их математические модели, что существенным образом отражается на качестве исследовательских работ. Актуальность этих исследований в настоящее время велика, т. к. ареал распространения кислых почв на планете имеет тенденцию к расширению, что объясняется совокупным влиянием ряда природных и антропогенных факторов.

Цель работы заключается в установлении пределов и причин вариабельности показателей кислотности почв лесов Среднего Поволжья, выявлении имеющихся связей их с другими параметрами почв и отображении их в форме математических моделей.

Материал и методика исследований. Почвенная кислотность разделяется, как известно [27, 31], на *актуальную*, которую оценивают по величине pH водной суспензии почвы, и *потенциальную* (кислотность твёрдой фазы почвы), для оценки которой используют показатели pH солевой KCl-вытяжки и так называемой гидролитической кислотности. Каждый из этих показателей несёт свою дополнительную информацию о состоянии почв и протекающих в них химических процессах. Исходным материалом для расчётов служили собственные данные и материалы исследований различных авторов [33–43], проведённых в биогеоценозах Среднего Поволжья, в том числе на территории заповедника «Большая Кокшага», на основе которых была создана электронная база данных, содержащая информацию об основных показателях почв, взятых в 330 разрезах и представленных 1885 образцами. Полевые исследования почв и лабораторные анализы образцов проведены по стандартным методикам [5, 27, 44, 45]. Цифровой материал обработан на ПК с использованием прикладных программ Excel и Statistica общепринятыми методами математической статистики.

Результаты и их обсуждение. Анализ исходного материала показал, что кислотность почв лесных биогеоценозов Среднего Поволжья варьирует в очень больших пределах (рис. 1, табл. 1), свидетельствуя о разнообразии их лесорастительных свойств и породного состава произрастающих лесов. Так, значения pH водной вытяжки изменяются от 3,81 до 9,48, а солевой – от 3,10 до 7,88. Актуальная кислотность почв в подавляющем большинстве случаев гораздо ниже потенциальной, о чём свидетельствует отношение pH KCl-вытяжки к водной, составляющее в среднем 0,80 и изменяющееся от 0,49 до 1,05.

Характер распределения образцов почвы по значениям показателей кислотности в имеющейся выборке, как следует из приведённых данных, сугубо специфичен, что свидетельствует об отсутствии между ними строго функциональной связи и различии информативного значения каждого из них, которое необходимо раскрыть. Распределение значений pH водной и солевой вытяжек в выборке, как и их отношения между собой, близко по своему характеру к нормальному (гауссовскому), а гидролитической кислотности, имеющих очень высокую вариабельность, резко выраженную правостороннюю асимметрию и большой эксцесс, – к распределению Вейбулла.

Расчёты показали, что распределение образцов почвы по степени их кислотности, оценённой с помощью усовершенствованной нами шкалы для разных показателей (табл. 2), имеет, как это ни парадоксально, диаметрально противоположный характер. Так, по значениям pH водной вытяжки большинство образцов почв относятся по своей реакции к среднекислым, по значениям pH солевой вытяжки – к сильнокислым, а по значениям гидролитической кислотности – к слабокислым или близким к нейтральным. Этот факт дополнительно свидетельствует о различии информативного значения каждого из показателей кислотности почв и требует объяснения.

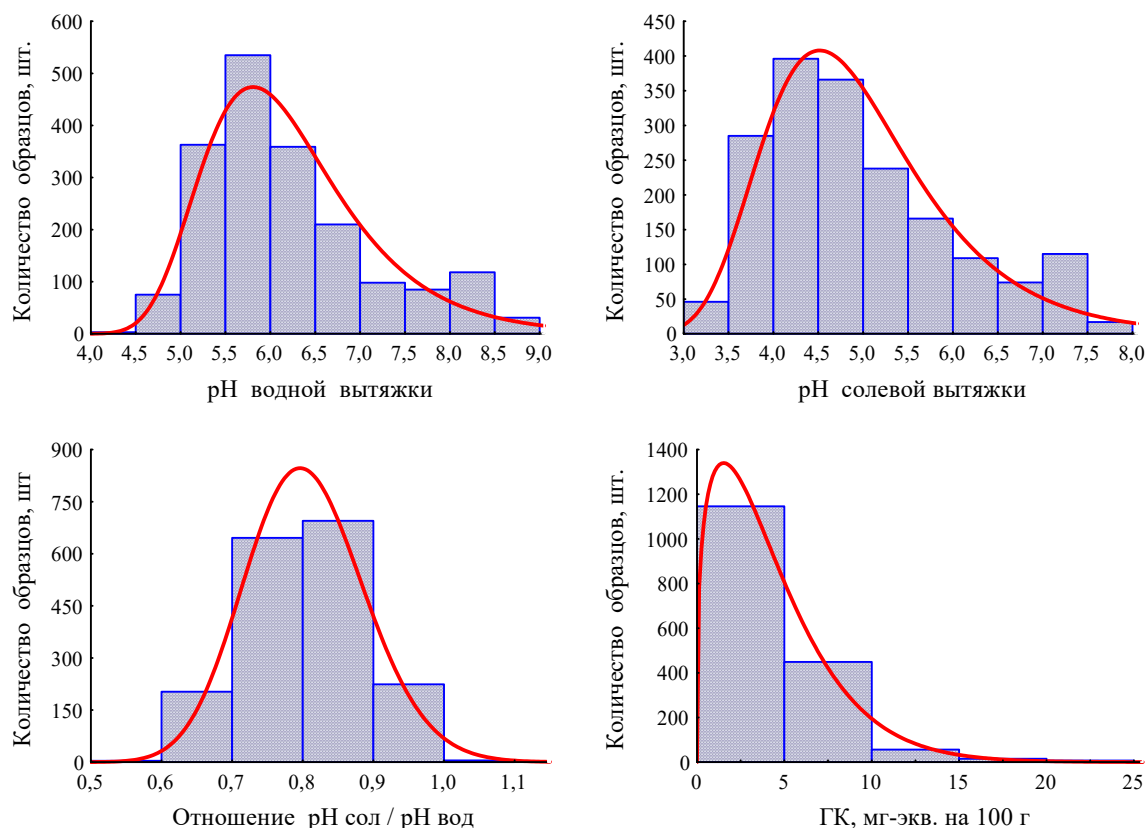


Рис. 1. Характер распределения образцов почвы в выборке по значениям показателей её кислотности

Таблица 1

Статистическая оценка параметров кислотности почв лесных биогеоценозов Среднего Поволжья

Параметр почвы	Значения статистических показателей							
	N	M_x	min	max	S_x	V	A	E
pH водной суспензии	1885	6,23	3,81	9,48	0,95	15,3	0,936	0,295
pH солевой вытяжки	1812	4,99	3,10	7,88	1,05	21,0	0,731	-0,271
Отношение pH сол / pH вод	1778	0,80	0,49	1,05	0,08	10,4	-0,068	-0,427
Гидролитическая кислотность	1674	4,17	0,07	25,8	3,32	79,7	1,894	6,166

Примечание: N – количество образцов в выборке, шт.; M_x – среднее арифметическое значение показателя (значения гидролитической кислотности выражены в мг-экв. на 100 г сухой почвы); min, max – минимальное и максимальное значения; S_x – среднее квадратическое отклонение показателя; V – коэффициент вариации, %; A – коэффициент асимметрии (скоса); E – коэффициент эксцесса.

Таблица 2

Характер распределения образцов почв лесных биогеоценозов Среднего Поволжья по степени их кислотности

Параметр почвы	Категория	Значения параметров и доля образцов, соответствующие разным баллам кислотности почв*						
		6	5	4	3	2	1	
pH водной суспензии	значение	< 5,5	5,5-6,3	6,3-6,9	6,9-7,5	7,5-8,5	> 8,5	
	доля, %	22,0	44,6	16,4	7,0	9,0	0,8	
pH солевой вытяжки	значение	< 4,5	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-7,0	> 7,0	
	доля, %	38,4	22,9	13,1	8,5	9,8	7,3	
Гидролитическая кислотность	значение	> 14,5	14,5-8,0	8,0-4,2	4,2-2,0	2,0-0,75	< 0,75	
	доля, %	1,6	9,9	31,8	26,1	24,2	6,4	

***Баллы кислотности почв:** 6 – сильнокислые почвы; 5 – среднекислые; 4 – слабокислые; 3 – близкие к нейтральным; 2 – нейтральные; 1 – слабощелочные.

Нами было установлено, что связь между значениями pH водной (X) и солевой (Y) вытяжек почвы довольно тесная (рис. 2), описываемая нелинейным уравнением:

$$Y = 5,75 \times \{1 - \exp[-7,56 \times 10^{-2} \times (X - 3,5)^{1,864}]\} + 2,85; \quad (1)$$

$$R^2 = 0,813; p < 0,001.$$

Дополнительное небольшое влияние на величину pH KCl-вытяжки оказывает содержание в почве гумуса (Z, %), что аппроксимирует следующее уравнение регрессии:

$$Y = (5,93 \times (1 - \exp(-7,56 \times 10^{-2} \times (X - 3,5)^{1,746})) + 2,85) \times \exp(1,23 \times 10^{-2} \times Z); \quad (2)$$

$$R^2 = 0,853.$$

Связь же между значениями гидролитической кислотности (Y, мг-экв./100 г) и pH водной вытяжки (X) довольно слабая, хотя и достоверная, аппроксимируемая уравнением:

$$Y = 15,16 \times \exp[-64,93 \times 10^{-2} \times (X - 3,5)]; \quad (3)$$

$$R^2 = 0,259; p < 0,01.$$

Дополнительное влияние на величину гидролитической кислотности оказывает

также содержание в почве гумуса (Z, %), что аппроксимирует следующее уравнение регрессии:

$$Y = 18,50 \times \exp[11,32 \times 10^{-2} \times Z - 54,46 \times 10^{-2} \times (X - 3,5)]; \quad (4)$$

$$R^2 = 0,407; p < 0,001.$$

Характер и теснота этих связей различны для каждого типа почв и генетического горизонта (рис. 3 и 4), что отмечают и другие исследователи [28–32]. Эти различия связаны с особенностями пространственного распределения концентрации Al, Fe, Mn, S и органических кислот, которые принимают активное участие в процессе диссоциации протонов, определяя кислотность среды. Определенный вклад вносят также недостатки методики лабораторной оценки показателей. Дело в том, что величины pH водной и солевой вытяжек чаще всего не соответствуют реальному значению pH почвенного раствора из-за большой степени разбавления [45]. Значения pH KCl-вытяжки ниже, за редким исключением, чем значения pH водной суспензии, поскольку в раствор KCl переходят не только водорастворимые, но и обменные наиболее сильнокислотные компоненты.

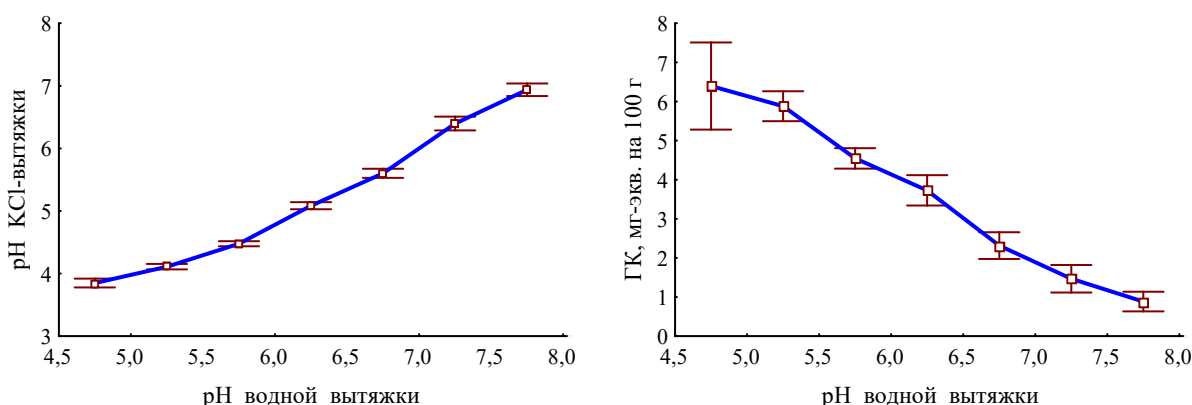


Рис. 2. Характер связи между разными показателями кислотности почвы в выборке

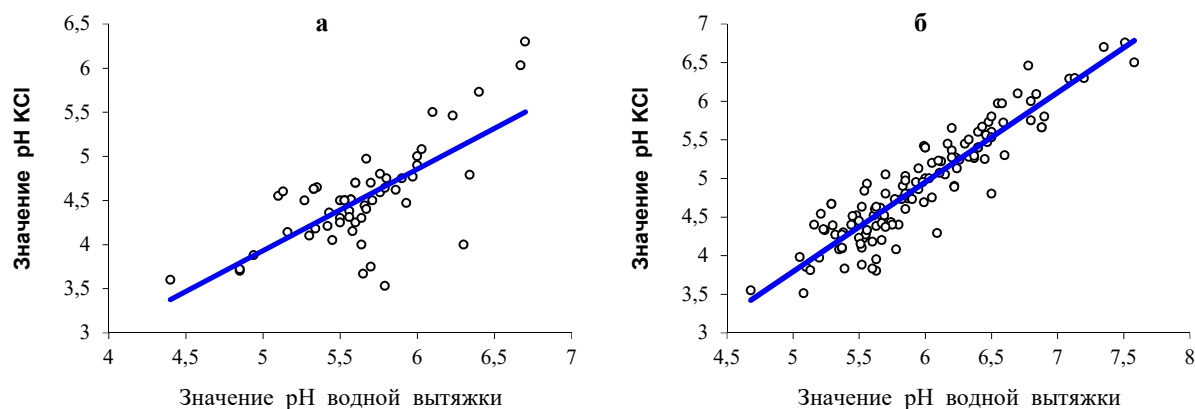


Рис. 3. Характер связи между значениями pH водной и солевой вытяжек, оцененными для гумусово-элювиального горизонта дерново-подзолистых (а) и бурых лесных (б) почв Марийского Заволжья

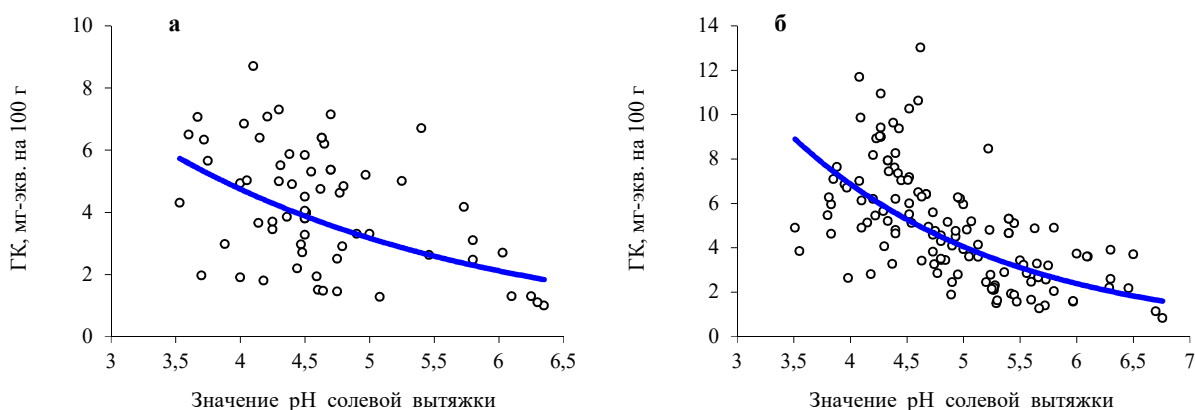


Рис. 4. Характер связи между значениями pH солевой вытяжки и гидролитической кислотности гумусово-элювиального горизонта дерново-подзолистых (а) и бурых лесных (б) почв Марийского Заволжья

Общепринятый метод определения обменной кислотности имеет, по данным исследователей [45], некоторые ограничения. Так, в почвах, богатых гидроксидами Fe и Al, аллофанами и имоголитом, вытесненные в раствор протоны поглощаются гидроксильными группами, находящимися на поверхности частиц этих минералов, равновесные значения pH в вытяжке повышаются, Al выпадает в осадок в форме гидроксида, и результаты определения обменной кислотности оказываются искажёнными. Ещё одно ограничение метода возникает при работе с почвами, имеющими сильно-кислую реакцию среды. В этом случае равновесное значение pH в KCl-вытяжке может установиться на уровне < 4 , и в таких условиях начинают растворяться многие соединения Al, которые не являются об-

менными. Кроме того, переход окраски по фенолфталеину при титровании основанием не всегда происходит при $\text{pH} = 8,2$. Эта величина может смещаться (обычно в сторону повышения) в зависимости от состава раствора. Экспериментально показано также, что в разных генетических горизонтах подзолистых почв однократная обработка раствором 1 M KCl извлекает только 60–70 % от общего количества обменных кислотных компонентов [5].

Величина отношения между потенциальной и актуальной кислотностью, т. е. между значениями $\text{pH}_{\text{сол.}}$ и $\text{pH}_{\text{вод.}}$, во многом зависит, как показали расчёты, от содержания в почве гумуса (рис. 5); содержание в почве глинистых частиц и суммы обменных оснований существенного влияния не оказывает. Величина же гидроли-

тической кислотности почв в пределах одинаковых значений pH_{KCl} в целом увеличивается по мере возрастания содержания в почве гумуса (табл. 3) и глины (табл. 4), однако совместное влияние на неё этих переменных объясняет только

48,4 % общей дисперсии её значений, что свидетельствует о воздействии других более мощных факторов, в том числе деятельности фитоценозов и почвенных микроорганизмов, изменяющих состав органических кислот.

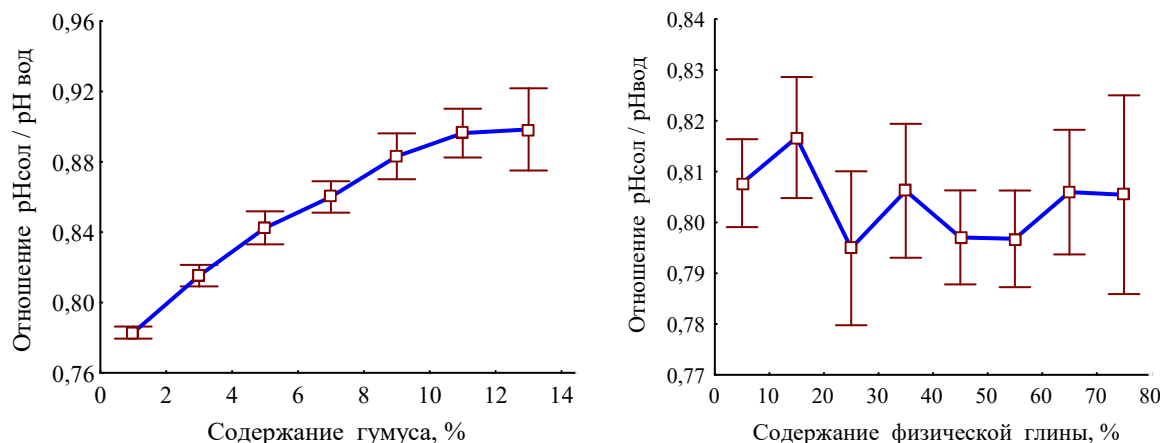


Рис. 5. Влияние содержания в почве гумуса и глины на величину отношения $pH_{sol} / pH_{вод}$

Таблица 3

Изменение значений гидролитической кислотности почвы (мг-экв. на 100 г сухой почвы) в зависимости от содержания в ней гумуса и pH_{KCl} - вытяжки

Содержание гумуса, %	Среднее значение и пределы изменений гидролитической кислотности в зависимости от pH					В среднем
	< 3,5	3,5-4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	> 6,5	
< 1	<u>10,5</u> 3,1-27,0	<u>4,32</u> 0,3-15,4	<u>2,25</u> 0,3-25,8	<u>1,21</u> 0,2-2,7	<u>1,40</u> 0,2-11,3	<u>3,44</u> 0,2-27,0
1-3	<u>11,4</u> 4,2-21,4	<u>5,84</u> 0,7-23,1	<u>3,90</u> 0,6-9,6	<u>2,19</u> 0,7-5,0	<u>1,22</u> 0,7-2,7	<u>4,83</u> 0,6-23,1
3-5	-	<u>7,44</u> 3,6-13,0	<u>5,43</u> 1,9-15,3	<u>2,55</u> 1,2-4,5	<u>1,33</u> 0,7-2,3	<u>5,05</u> 0,7-15,3
>5	-	<u>10,6</u> 3,1-24,7	<u>7,70</u> 1,8-24,3	<u>4,39</u> 1,2-12,5	-	<u>6,87</u> 0,9-24,7

Таблица 4

Изменение значений гидролитической кислотности почвы (мг-экв. на 100 г сухой почвы) в зависимости от содержания в ней глины и pH_{KCl} -вытяжки

Содержание глины, %	Среднее значение и пределы изменений гидролитической кислотности в зависимости от pH					В среднем
	< 3,5	3,5-4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	> 6,5	
< 10	<u>4,83</u> 2,1-7,7	<u>2,89</u> 0,6-9,2	<u>1,67</u> 0,3-8,5	<u>1,04</u> 0,1-4,5	-	<u>2,15</u> 0,1-9,2
10-30	<u>8,57</u> 4,5-13,2	<u>3,91</u> 0,5-12,5	<u>2,78</u> 0,5-24,3	<u>2,01</u> 0,4-5,5	<u>0,73</u> 0,2-2,6	<u>3,19</u> 0,2-24,3
30-50	<u>8,18</u> 2,4-17,6	<u>6,17</u> 1,1-24,7	<u>5,03</u> 0,6-18,4	<u>2,99</u> 0,4-11,9	<u>1,89</u> 0,3-16,3	<u>5,22</u> 0,3-24,7
50-70	<u>8,56</u> 3,1-14,3	<u>5,69</u> 0,3-23,1	<u>4,50</u> 0,4-25,8	<u>2,67</u> 0,4-6,8	<u>1,27</u> 0,5-5,2	<u>4,51</u> 0,3-25,8
>70	<u>19,28</u> 12,7-27,0	<u>6,52</u> 1,8-12,0	<u>5,73</u> 1,0-13,6	<u>2,69</u> 0,6-12,5	<u>1,01</u> 0,6-1,5	<u>6,47</u> 0,6-27,0

Парадокс слабой связи между значениями pH и гидролитической кислотности почв объясняется, на наш взгляд, более чуткой реакцией последнего из показателей на действие слабых органических кислот, образующихся при разложении лесной подстилки. Наглядное представление об этом дают данные, полученные на опытном объекте в смешанных сосново-берёзовых культурах, созданных по схеме 5С5Б в сухом бору Старожильского лесничества на гари 1972 года. Почва на данном участке рыхлопесчаная дерново-слабоподзолистая на древнеаллювиальных песках. Подстилка и верхний слой почвы в рядах культур сосны имеют более кислую реакцию, чем в рядах берёзы (табл. 5). Особенно большие различия между вариантами опыта имеют значения гидролитической кислотности, величина которой в подстилке, являющейся основным источником подкисления почв, в 4,3–

4,8 раза выше, чем в гумусово-элювиальном горизонте.

Подкисляющее действие лесных насаждений на среднесуглинистую почву, подстилаемую тяжёлыми суглинками, чётко проявилось также на другом опытном объекте, расположенном на овражно-балочных землях водосбора р. Манага. Так, реакция среды верхнего слоя почвы на пашне по значениям pH KCl-вытяжки и гидролитической кислотности близка к нейтральной (табл. 6). На лугу по величине pH почва сильноокислая, а по гидролитической же кислотности – близкая к нейтральной, что является свидетельством низкой концентрации в ней слабых органических кислот. Почва же под пологом лесных насаждений, особенно хвойных, более кислая. Варианты опыта различаются между собой по величине pH в 1,4 раза, а по гидролитической кислотности – в два раза.

Таблица 5

Влияние состава древостоев на кислотность подстилки и почвы в 30-летних сосново-берёзовых культурах, созданных в сухих борах Марийского Полесья

Порода	Значения статистических параметров кислотности (N = 10)					
	pH водной вытяжки		pH солевой вытяжки		Гидролитическая кислотность	
	M ± m	t факт.	M ± m	t факт.	M ± m	t факт.
Лесная подстилка						
Сосна	5,07 ± 0,07	-	4,25 ± 0,08	-	32,17 ± 2,62	-
Берёза	5,15 ± 0,07	0,81	4,43 ± 0,13	1,19	22,56 ± 1,01	3,42
Верхний 20-см слой почвы						
Сосна	5,42 ± 0,08	-	3,96 ± 0,15	-	7,49 ± 0,52	-
Берёза	5,65 ± 0,07	2,04	4,25 ± 0,13	1,48	4,68 ± 0,30	4,67

Примечание: M ± m – среднее значение показателя и его ошибка; t факт. – фактическое значение критерия Стьюдента; t крит. = 2,10 при p = 0,05 и 2,88 – при p = 0,01; значения гидролитической кислотности выражены в мг-экв. на 100 г сухой почвы.

Таблица 6

Кислотные свойства верхнего 20-см слоя среднесуглинистой почвы в различных экотопах на овражно-балочных землях водосбора р. Манага

Параметр кислотности	Среднее значение параметров кислотности почв в различных экотопах				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
pH солевой вытяжки	5,54	4,41	4,20	4,00	4,35
Гидролитическая кислотность	2,28	2,10	4,20	3,51	4,03

Примечание: экотоп № 1 – пахотные угодья; № 2 – луга; № 3 – смешанные сосново-елово-берёзовые 50-летние культуры состава 5Б3Е2С; № 4 – чистые 50-летние культуры сосны; № 5 – чистые очень густые 30-летние культуры ели.

В короткопойменных экотопах воздействие лесных насаждений на кислотные свойства тяжелосуглинистых почв проявляется иначе. Так, реакция среды верхнего слоя почвы на пашне по значениям всех параметров кислотности близка к нейтральной, а на лугу является среднекислой (табл. 7). Под пологом молодого в стадийном отношении осинника почва менее кислая, чем на лугу и в других лесных биогеоценозах: по величине рН водной и солевой вытяжек она близка к нейтральной, а по гидролитической кислотности является слабокислой. Наиболее кислая почва в смешанном дубово-липово-пихтовом древостое естественного происхождения (по величине всех показателей она является среднекислой), который по своей структуре больше всего со-

ответствует зрелому в стадийном отношении биоценозу для данных лесорастительных условий. Почвы всех короткопойменных экотопов различаются между собой по величине рН_{вод.} в 1,27, рН_{сол.} – в 1,37, а по гидролитической кислотности – в 4,31 раза.

Исследования показали, что подстилка и почва на дерново-подзолистых суглинках южной части Марийско-Вятского увала наиболее кислую реакцию имеют под пологом сосняков (табл. 8 и 9). Под пологом же мягколиственных древостоев их реакция менее кислая. Особенно большие различия между почвами биогеоценозов отмечаются по значениям гидролитической кислотности, величина которой в подстилке в 3,9–6,8 раза выше, чем в гумусово-элювиальном горизонте.

Таблица 7

Кислотные свойства горизонта А1 суглинистой почвы в различных экотопах лесопарка «Дубовая роща», расположенного в пойме р. Малая Кокшага

Параметр кислотности	Среднее значение параметров кислотности почв в различных экотопах					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
рН водной вытяжки	7,24	5,74	6,92	6,37	5,89	5,70
рН солевой вытяжки	6,13	4,47	5,89	4,81	4,59	4,56
Гидролитическая кислотность	2,32	9,24	5,69	5,58	8,25	9,99

Примечание: экотоп № 1 – пахотные угодья; № 2 – луга и поляны; № 3 – осинники; № 4 – 60-летние культуры тополя бальзамического; № 5 – 50-летние культуры лиственницы сибирской; № 6 – смешанные дубово-липово-пихтовые древостои естественного происхождения.

Таблица 8

Влияние состава древостоев на величину рН солевой вытяжки из подстилки и почвы лесов различных формаций, произрастающих в ТЛУ С₂ южной части Марийско-Вятского увала

Лесная формация	Статистические показатели величины рН солевой вытяжки из подстилки							
	N	M ± m	min	max	размах	S _x	V, %	p, %
Лесная подстилка								
Лиственная	28	5,90 ± 0,06	4,98	6,45	1,47	0,34	5,8	1,1
Хвойно-лиственная	19	5,65 ± 0,06	4,70	6,45	1,75	0,41	7,3	1,7
Пихтовая	41	5,51 ± 0,06	4,81	5,98	1,17	0,32	5,9	0,9
Еловая	23	5,36 ± 0,14	3,30	6,10	2,80	0,65	12,2	2,5
Сосновая	21	4,75 ± 0,16	3,25	5,90	2,65	0,75	15,8	3,4
Лесная формация	Статистические показатели величины рН солевой вытяжки из подстилки							
	N	M ± m	min	max	размах	S _x	V, %	p, %
Верхний 20-см слой почвы								
Лиственная	28	4,73 ± 0,16	3,65	6,18	2,53	0,82	17,3	3,3
Хвойно-лиственная	19	4,19 ± 0,14	3,65	5,80	2,15	0,61	14,5	3,3
Пихтовая	41	4,74 ± 0,09	3,66	6,01	2,35	0,61	12,8	2,0
Еловая	23	4,46 ± 0,15	3,30	5,70	2,40	0,71	15,8	3,3
Сосновая	21	4,42 ± 0,15	3,42	6,00	2,58	0,70	15,9	3,5

Таблица 9

Влияние состава древостоев на гидролитическую кислотность подстилки и почвы лесов различных формаций, произрастающих в ТЛУ С₂ южной части Марийско-Вятского увала

Лесная формация	Статистические показатели гидролитической кислотности, мг-экв. на 100 г							
	N	M ± m	min	max	размах	S _x	V, %	p, %
Лесная подстилка								
Лиственная	28	24,58 ± 1,46	13,00	40,25	27,25	7,73	31,5	5,9
Хвойно-лиственная	19	30,50 ± 2,67	5,51	61,25	55,74	11,62	38,1	8,7
Пихтовая	41	31,31 ± 1,49	16,40	52,50	36,10	9,56	30,5	4,8
Еловая	23	38,48 ± 4,21	17,50	85,75	68,25	20,17	52,4	10,9
Сосновая	21	45,90 ± 4,38	19,95	82,25	62,30	20,08	43,8	9,5
Верхний 20-см слой почвы								
Лиственная	28	6,05 ± 0,57	1,31	13,48	12,17	2,99	49,5	9,4
Хвойно-лиственная	19	6,52 ± 0,57	1,60	13,48	11,88	3,15	48,4	11,1
Пихтовая	41	8,09 ± 0,89	2,42	28,34	25,92	5,68	70,2	11,0
Еловая	23	8,48 ± 0,83	2,10	16,10	14,00	4,00	47,2	9,8
Сосновая	21	6,75 ± 0,85	1,49	17,15	15,66	3,88	57,5	12,5

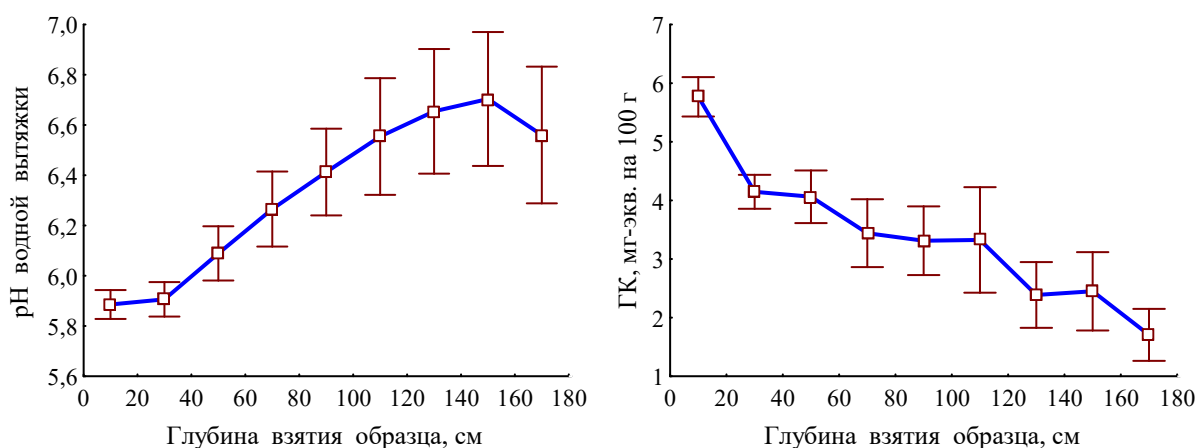


Рис. 6. Изменение показателей кислотности почв по градиенту глубины взятия образцов

Кислотность почв, как нами было установлено, довольно чётко изменяется по вертикальному градиенту профиля (рис. 6), отражая тем самым *почвопреобразующую деятельность фитоценозов*. Так, значения pH водной вытяжки до глубины 150 см в целом возрастают, а затем начинают немного снижаться. Значения же гидролитической кислотности неуклонно падают, стабилизируясь после отметки 170–190 см.

В каждом экотопе, исходя из особенностей структуры их фитоценозов, эти изменения происходят по-разному и связаны с содержанием в почве гумуса (табл. 10, 11 и 12), изменением ионного состава атмосферных осадков под воздействием экзоте-

таболитов растений [46], а также с обменными химическими реакциями, происходящими между почвой и корнями растений [5, 31]. Песчаные почвы, содержащие обычно малое количество гумуса и доступных растениям элементов питания, являются в среднем более кислыми по сравнению с глинистыми, в которых их гораздо больше. Для того чтобы извлечь их из почвы, растения выделяют в окружающую среду органические кислоты в количестве, обратно пропорциональном содержанию подвижных, т. е. доступных элементов. Регулирует же кислотность почв её обменный комплекс, который постоянно восстанавливает состав и количество катионов на поверхности почвенной матрицы [6].

Таблица 10

Изменение среднего значения pH солевой вытяжки в зависимости от глубины взятия образцов почвы и содержания в ней гумуса

Глубина, см	Среднее значение pH в зависимости от содержания в почве гумуса							В среднем
	< 1 %	1-2 %	2-3 %	3-4 %	4-6 %	6-8 %	> 8 %	
< 20 см*	4,35	4,54	4,63	4,86	5,04	5,21	5,38	4,91
21-40 см	4,50	4,53	4,95	5,14	5,71	5,69	-	4,70
41-60 см	4,50	5,06	5,24	6,00	5,97	-	-	4,74
61-80 см	5,02	4,79	5,60	6,50	-	-	-	4,82
> 80 см	5,14	4,55	5,31	4,69	-	-	-	5,09
В среднем	4,75	4,65	4,83	5,03	5,16	5,27	5,33	4,99

* исключая слой лесной подстилки.

Таблица 11

Изменение среднего значения pH солевой вытяжки в зависимости от глубины взятия образцов почвы и содержания в ней физической глины

Глубина, см	Среднее значение pH в зависимости от содержания в почве глины							В среднем
	< 10 %	10-20 %	20-30 %	30-40 %	40-50 %	50-60 %	> 60 %	
< 20 см*	4,25	4,98	4,80	4,85	4,89	5,41	5,18	4,91
21-40 см	4,80	4,88	4,41	4,51	4,49	4,69	5,10	4,70
41-60 см	4,89	4,63	4,75	4,67	4,73	4,64	4,90	4,74
61-80 см	5,05	4,80	4,54	3,97	4,79	5,31	5,25	4,82
> 80 см	4,81	4,98	4,83	5,41	5,35	5,38	6,05	5,09
В среднем	4,72	4,93	4,71	4,90	4,90	5,07	5,38	4,99

* исключая слой лесной подстилки.

Таблица 12

Изменение среднего значения pH солевой вытяжки из почвы в зависимости от содержания в ней гумуса и глины

Содержание гумуса, %	Среднее значение pH в зависимости от содержания в почве физической глины							В среднем
	< 10 %	10-20 %	20-30 %	30-40 %	40-50 %	50-60 %	> 60 %	
< 1	4,76	4,79	4,53	4,66	4,72	4,55	5,10	4,75
1-3	4,45	4,80	4,52	4,66	4,56	4,97	4,87	4,71
3-5	4,08	5,05	5,36	4,83	4,87	5,33	5,61	5,07
>5	-	5,21	5,23	5,07	5,25	5,45	5,33	5,26
В среднем	4,72	4,93	4,71	4,90	4,90	5,07	5,38	4,99

Исследования показали, что характер изменения параметров кислотности почв по градиенту профиля зависит не только от текущего состояния биогеоценоза, но и предшествующего хода его развития. Так, в липняках Раифского лесного массива верхний слой почвы до глубины 30 см имеет, по данным К.Ш. Шакирова [33], менее кислую реакцию, чем в сосняках, а особенно в ельниках (рис. 7), однако характер изменения величины pH по гради-

енту профиля существенным образом отличается от эталона, представленного на рис. 6. Этот факт является, как можно предположить, свидетельством произрастания в прошлом на этой территории еловых лесов, приведших к сильному закислению почвы, которое в настоящее время под действием растительности снижается. Окончательный вывод может быть сделан только после детального анализа генезиса и истории развития здесь биогеоценозов.

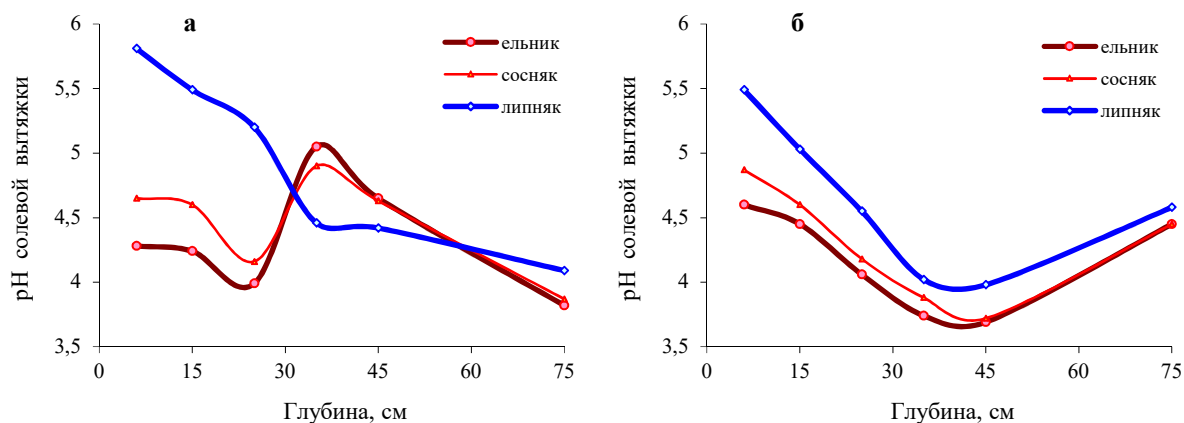


Рис. 7. Характер изменения значений pH солевой вытяжки почв по градиенту глубины взятия образцов в Раифском лесном массиве по данным К.Ш. Шакирова [33]: а – дерново-сильно-подзолистая супесчаная почва; б – дерново-среднеподзолистая тяжелосуглинистая почва

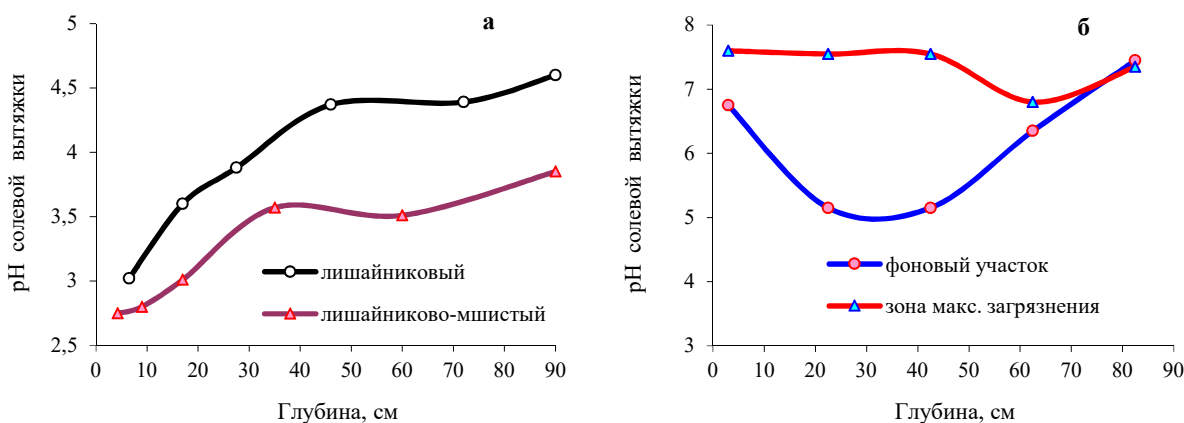


Рис. 8. Изменение значений pH почвы в сосняках Марий Эл по градиенту глубины профиля на фоновых территориях (а) и в зоне выбросов завода силикатного кирпича (б)

Исследования показали, что увеличению кислотности бедных песчаных почв в сосняках способствует моховой покров (рис. 8, а), а известковое загрязнение среды в зоне выбросов завода силикатного кирпича приводит к сильному её снижению до глубины 50–60 см (рис. 8, б). Все эти факторы приводят, естественно, к изменению состава и обилия почвенной биоты, ферментативной активности почв, подвижности химических элементов и доступности их растениям.

Итак, кислотностью почв, характер изменения определяющих параметров которой по градиенту профиля зависит от комплекса природных и антропогенных факторов, можно в определённой мере управлять с помощью различных мелиоративных и лесохозяйственных мероприятий. Снижению кислотности почв в лесных

насаждениях будет способствовать также периодическое рыхление лесной подстилки, которая является основным источником органических кислот, образующихся при разложении отмершего органического вещества макро- и микромицетами.

Выводы

1. Кислотность почв лесных биогеоценозов Среднего Поволжья варьирует в очень больших пределах, свидетельствуя о разнообразии их лесорастительных свойств и породного состава произрастающих на них лесов.

2. Каждый из параметров кислотности почв имеет своё информативное значение, о чём свидетельствует отсутствие между ними строго функциональной связи. Особенно слабая связь отмечается между значениями $pH_{вод}$ и гидролитической кислотности почв.

3. Показатель гидролитической кислотности является более чутким индикатором наличия в почве слабых органических кислот, образующихся при разложении лесной подстилки, чем показатели pH водной и солевой вытяжек.

4. Характер и теснота связи между различными параметрами кислотности различны в каждом типе почв и их генетических горизонтов, что связано как с содержанием в них гумуса, так и с особенностями протекания биохимических процессов.

5. Кислотность почв довольно чётко изменяется по вертикальному градиенту их профиля, отражая почвопреобразующую деятельность фитоценозов.

6. Лесные насаждения, особенно хвойные, способствуют увеличению кислотности почв. При сельскохозяйственном же использовании земель кислотность почв снижается.

7. Основным источником подкисления почв является лесная подстилка, значения гидролитической кислотности которой в несколько раз выше, чем в гумусово-элювиальном горизонте.

8. Кислотностью почв в лесных биогеоценозах можно в определённой мере управлять, регулируя с помощью хозяйственных мероприятий состав древостоев, их полноту, обилие и структуру подпологовой растительности, влияя на процесс разложения подстилки.

Список литературы

1. *Kappen G.* Почвенная кислотность. М.: Изд-во колхозной и совхозной литературы, 1934. 392 с.
2. *Иванов А. Ф.* Рост древесных растений и кислотность почв. Минск.: Наука и техника, 1970. 220 с.
3. *Ritchie G. S. P., Posner A. M.* The effect of pH and metal binding on the transport properties of humus acids // *Journal of Soil Science*. 1982. Vol. 33. P. 233-247.
4. *Смирнов П. М., Муравин Э. А.* Агрохимия. М.: Колос, 1984. 305 с.
5. *Орлов Д. С.* Химия почв. М.: МГУ, 1992. 400 с.
6. *Карпачевский Л. О.* Экологическое почвоведение. М.: ГЕОС, 2005. 336 с.
7. *Демаков Ю. П., Нуреев Н. Б.* Биологическая активность почв лесных биогеоценозов Среднего Поволжья // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 4 (40). С. 21-33.
8. *Tukey H. B.* Leaching of substances from plants // *Annual Review of Plant Physiology*. 1970. Vol. 21. P. 305-324.
9. *Gersper P., Holowaychuk H.* Some effect of stem flow from forest canopy trees on chemical properties of soils // *Ecology*. 1971. Vol. 52. № 4. P. 230-239.
10. Влияние атмосферного загрязнения на свойства почв / Под ред. Л.А. Гришиной. М.: МГУ, 1990. 205 с.
11. *Matzner E.* Acidification of Forests and forest Soils: Current status // *Studies in Environmental Science*. 1992. Vol. 50. P. 77-86.
12. Кислотные осадки и лесные почвы / Под ред. В.В. Никонова и Г.И. Копчик. Апатиты: Колеский научный центр РАН, 1999. 322 с.
13. Status of soil acidification in North America / M. E. Fenn, T. G. Huntington, S. B. McLaughlin et al // *Journal of Forest Science*. 2006. № 52 (Special Issue). P. 3-13.
14. *Медведева М. В., Яковлев А. С.* Изменение биохимических показателей почв в зоне влияния Костомукшского горно-обогатительного комбината // *Почвоведение*. 2011. № 2. С. 233-239.
15. *Berkvist B., Folkesson L.* The influence of tree species on acid deposition, proton budgets and element fluxes in south Sweden forest ecosystems // *Ecological Bulletins*. 1995. № 44. P. 90-99.
16. *Finzi A.C., Canham C.D., Van Breemen N.* Canopy tree soil interactions within temperate forests: species effects on pH and cations // *Ecological Applications*. 1998. № 8. P. 447-454.
17. Воздействие полога ельника сложного на химический состав осадков / Л.О. Карпачевский, Т.А. Зубкова, Т. Пройслер и др. // *Лесоведение*. 1998. № 1. С. 50-59.
18. *Пристова Т. А.* Влияние древесного полога лиственно-хвойного насаждения на химический состав осадков // *Лесоведение*. 2005. № 5. С. 49-55.
19. Трансформация химического состава атмосферных осадков пологом древостоя южно-таежных лесов / С.В. Марунин, А.С. Буров, Ю.Н. Кузнецова и др. // *Известия РАН. Серия географическая*. 2006. № 4. С. 52-57.
20. *Арчегова И. Б., Кузнецова Е. Г.* Влияние древесных растений на химический состав атмосферных осадков в процессе восстановления средне-таежных лесов // *Лесоведение*. 2011. № 3. С. 34-43.
21. *Демаков Ю. П., Исаев А. В.* Влияние аэриального поступления веществ на их круговорот в лесных экосистемах // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*.

Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 1 (25). С. 66-86.

22. Добровольская Т. Г. Структура бактериальных сообществ почв. М.: Академкнига, 2002. 283 с.

23. Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв. М.: МГУ, 2005. 445 с.

24. Риклефс Р. Основы общей экологии. М.: Мир, 1979. 424 с.

25. Телеснина В. М. Динамика свойств почв южной тайги в ходе постагрогенного лесовосстановления при разных типах сельскохозяйственного использования // Почвы в биосфере. Ч. 2. Томск: Издательский Дом Томского гос. университета, 2018. С. 159-163.

26. Чернов В. А. О природе почвенной кислотности. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 185 с.

27. Соколова Т. А., Толпеишта И. И., Трофимов С. Я. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и почвенном растворе. Тула: Гриф и К, 2012. 124 с.

28. Шамрикова Е. В. Кислотность КС1-вытяжек из органогенных горизонтов подзолистых почв: источники, возможные равновесия // Почвоведение. 2010. № 7. С. 1-8.

29. Шамрикова Е. В., Казаков В. Г., Соколова Т. А. Варьирование показателей кислотного состояния автоморфных суглинистых почв таежной и тундровой зон Республики Коми // Почвоведение. 2011. № 6. С. 699-712.

30. Шамрикова Е. В., Соколова Т. А. Взаимосвязь между различными формами кислотности автоморфных суглинистых почв тундры и тайги // Почвоведение. 2013. № 5. С. 556-569.

31. Шамрикова Е. В. Кислотность почв таежной и тундровой зон Европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 2013. 157 с.

32. Кислотность органогенных горизонтов арктических почв побережья Баренцева моря / Е. В. Шамрикова, С. В. Денева, О. С. Кубик и др. // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1325-1335.

33. Шакиров К. Ш. Влияние различных лесных насаждений на почвообразовательный процесс. Казань: КГУ, 1961. 64 с.

34. Винокуров М. А., Гришин П. В. Лесные почвы Татарии. Казань: КГУ, 1962. 70 с.

35. Миронов Н. А. Зависимость между свойствами почв и составом смешанных насаждений // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. 1964. № 1. С. 199-204.

36. Смирнов В. Н. Почвы Марийской АССР, их генезис, эволюция и пути улучшения. Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1968. 532 с.

37. Шакиров К. Ш., Арсланов П. А. Почвы широколиственных лесов Предволжья. Казань: КГУ, 1982. 176 с.

38. Гилаев А. М. Почвы и продуктивность пихтовых древостоев Среднего Поволжья на юго-западном пределе ареала пихты сибирской. Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. 184 с.

39. 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.

40. 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.

41. 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.

42. Пуряев А. С., Газизуллин А. Х. Защитные лесные насаждения Республики Татарстан и почвенно-экологические условия их произрастания. Казань: КГАУ, 2011. 176 с.

43. 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.

44. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 490 с.

45. Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М.: МГУ, 1998. 272 с.

46. Химическая и биологическая активность водных экстрактов лесных растений / Ю. П. Демаков, А. В. Исаев, В. И. Таланцев и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 2 (26). С. 57-76.

Статья поступила в редакцию 12.12.18.

Принята к публикации 25.02.19.

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»; доцент, Марийский государственный университет. Область научных интересов – биогеоценология, лесное почвоведение, 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.

НУРЕЕВ Наиль Биалович – кандидат сельскохозяйственных 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.

UDC 631.417.1

DOI: 10.25686/2306-2827.2019.1.54

LIMITS AND REASONS FOR VARIABILITY OF SOIL ACIDITY PARAMETERS IN FOREST BIOGEOCENOSSES OF MIDDLE VOLGA REGION

Yu. P. Demakov^{1,2}, A. V. Isaev^{1,3}, I. I. Mityakova², N. B. Nureev²

¹ State 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

³Mari State University,
1, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: DemakovYP@volgatech.net

Keywords: Middle Volga Region; forest biogeocenoses; soils; pH value, statistical analysis, interconnection, mathematical models.

ABSTRACT

Introduction. Soil acidity is an important property of soil, it describes soil genesis, its potential fertility and all the chemical, biochemical and biological processes. The scientists became interested in the nature of soil acidity many years ago, but soil acidity is a rather complex phenomenon, and it has not been uncovered yet. Thus, it is important to study the nature of soil acidity in detail. The problem is of topical importance as the area of acid soil on the Planet has a tendency to expand due to the complex influence of natural and human-caused factors. The **goal** of the research is to determine the limits and regularities for variability of indices of soil acidity in the Middle Volga Region forests, to reveal the existing relations with other soil parameters and to reflect them as mathematical models. **Material and research methodology.** The data of the authors of the article and the materials of some other researchers were used in the article. The used data show the results of the researches taken in the Middle Volga Region. On the basis of the data, an e-database was developed. The information about physical and chemical parameters of soil status in 1885 samples, taken in 330 soil profile cuts is presented in the data base. Digital material was computer processed using the general methods of mathematical statistics and standard applied programs. **Results.** The limits and regularities for variability of indices of current potential soil acidity in forest biogeocenoses of Middle Volga Region were defined. It was demonstrated that each index varied within huge limits and had a diverse informative value. The interconnections between the parameters of soil acidity and other indices were estimated, corresponding empiric equations were given. It was determined that soil acidity varied rather strictly upon gradient of soil profile showing soil-transforming activity of forest biogeocenoses. Besides, forest biogeocenoses (it particularly concerns coniferous stands) contribute to high soil-transforming activity. Forest cover is the major reason for soil acidulation, the importance of its hydrolytic acidity is twice or thrice higher than in the humus-eluvial horizon. **Conclusion.** Soil acidity depends on a number of natural and man-made factors. It is possible to control soil acidity in some degree, regulating the stand composition, stand density, abundance and structure of under-canopy vegetation, and influencing the decomposition of litter with a number of economic measures.

REFERENCES

1. Kappen G. *Pochvennaya kislotalnost* [Soil Acidity]. Moscow: Izd-vo kolkhoznoy i sovkhoznoy literatury, 1934. 392 p. (In Russ.).
2. Ivanov A. F. *Rost drevesnykh rasteniy i kislotalnost pochv* [Growth of Woody Plants and Soil Acidity]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1970. 220 p. (In Russ.).
3. Ritchie G. S. P., Posner A. M. The effect of pH and metal binding on the transport properties of humus acids. *Journal of Soil Science*. 1982. Vol. 33. P. 233-247.
4. Smirnov P. M., Muravin E. A. *Agrokhimiya* [Agrochemistry]. Moscow: Kolos, 1984. 305 p. (In Russ.).
5. Orlov D. S. *Khimiya pochv* [Soil Chemistry]. Moscow: MGU, 1992. 400 p. (In Russ.).
6. Karpachevskiy L. O. *Ekologicheskoe pochvo-vedenie* [Ecological Pedology]. Moscow: GE-OS, 2005. 336 p. (In Russ.).
7. Demakov Yu. P., Nureev N. B. Biologicheskaya aktivnost pochv lesnykh biogeotsenozov Srednego Povolzhya [Bioactivity of Soils of Forest Biogeocenoses in Middle Volga Region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2018. No 4 (40). Pp. 21-33. (In Russ.).
8. Tukey H. B. Leaching of substances from plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 1970. Vol. 21. Pp. 305-324.
9. Gersper P., Holowaychuk H. Some effect of stem flow from forest canopy trees on chemical properties of soils. *Ecology*. 1971. Vol. 52. № 4. Pp. 230-239.
10. Vliyanie atmosfernogo zagryazneniya na svoystva pochv. Pod red. L.A. Grishinoy [The Influence of Air Pollution on the Soil Properties; under the editorship of L.A. Grishina]. Moscow: MGU, 1990. 205 p. (In Russ.).
11. Matzner E. Acidification of Forests and forest Soils: Current status. *Studies in Environmental Science*. 1992. Vol. 50. Pp. 77-86.
12. Kislotalnye osadki i lesnye pochvy. Pod red. V.V. Nikonova i G.I. Koptsik. [Acid Rain and Forest Soils; under the editorship of V.V. Nikonov and G.I. Koptsik]. Apatity: Kolskiy nauchnyy tsentr RAN, 1999. 322 p. (In Russ.).
13. Fenn M. E., Huntington T. G., McLaughlin S. B. et al Status of soil acidification in North America. *Journal of Forest Science*. 2006. No 52 (Special Issue). Pp. 3-13.
14. Medvedeva M. V., Yakovlev A. S. Izmenenie biokhimicheskikh pokazateley pochv v zone vliyaniya Kostomukshskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata [Change of Biochemical Soil Criteria in the Zone of Influence of Kostomuksha Mining and Refining Facility]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 2011. No 2. Pp. 233-239. (In Russ.).
15. Berkvist B., Folkesson L. The influence of tree species on acid deposition, proton budgets and element fluxes in south Sweden forest ecosystems. *Ecological Bulletins*. 1995. No 44. Pp. 90-99.
16. Finzi A.C., Canham C.D., Van Breemen N. Canopy tree soil interactions within temperate forests: species effects on pH and cations. *Ecological Applications*. 1998. No 8. Pp. 447-454.
17. Karpachevskiy L.O., Zubkova T.A., Proysler T. et al. Vozdeystvie pologa elnika slozhnogo na khimicheskiy sostav osadkov [The Influence of the Canopy of the Complex Spruce Grove (P. Composita) on the Chemical Composition of Falls]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 1998. No 1. Pp. 50-59. (In Russ.).
18. Pristova T. A. Vliyanie drevesnogo pologa listvenno-khvoynogo nasazhdeniya na khimicheskiy sostav osadkov [The Influence of Canopy of Broad-leaved-Coniferous Stands on Chemical Composition of Falls]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2005. No 5. Pp. 49-55. (In Russ.).
19. Marunich S.V., Burov A.S., Kuznetsova Yu.N., Nedogarko I.V. Transformatsiya khimicheskogo sostava atmosferykh osadkov pologom drevostoya yuzhno-taizhnykh lesov [Transformation of the Chemical Composition of Atmospheric Falls with the Stand Canopy in South-Taiga Forests]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. [News of RAS. Series Geographic]. 2006. No 4. Pp. 52-57. (In Russ.).
20. Archegova I. B., Kuznetsova E. G. Vliyanie drevesnykh rasteniy na khimicheskiy sostav atmosferykh osadkov v protsesse vosstanovleniya srednetaizhnykh lesov [The Influence of Woody Plants on the Chemical Composition of Falls in the Course of Middle-Taiga Forests Regeneration]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2011. No 3. Pp. 34-43. (In Russ.).
21. Demakov Yu. P., Isaev A. V. Vliyanie aeralnogo postupleniya veshchestv na ikh krugovorot v lesnykh ekosistemakh [The Influence of Aerial Entry of Matters on Their Circulation in Forest Ecosystems]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2015. No 1. Pp. 66-86. (In Russ.).
22. Dobrovolskaya T. G. *Struktura bakterialnykh soobshchestv pochv* [The Structure of Bacterial Soil Communities]. Moscow: Akademkniga, 2002. 283 p. (In Russ.).
23. Zvyagintsev D. G., Babeva I. P., Zenova G. M. *Biologiya pochv* [Biology of Soils]. Moscow: MGU, 2005. 445 p. (In Russ.).
24. Ricklefs R. Osnovy obshchey ekologii [Fundamentals of General Ecology]. Moscow: Mir, 1979. 424 p. (In Russ.).

25. Telesnina V. M. Dinamika svoystv pochv yuzhnoy tajgi v khode postagrogennogo lesovostanovleniya pri raznykh tipakh selskokhozyaystvennogo ispolzovaniya [Dynamics of the Properties of Soils in Southern Taiga in the Course of Post-Agrogenic Forest Regeneration Under Various Kinds of Agricultural Exploitation]. *Pochvy v biosphere. Ch.2* [Soils in the Biosphere. Part 2]. Tomsk: Izdatelskiy dom Tomskogo gos.universiteta, 2018. Pp. 159-163. (In Russ.).
26. Chernov V. A. *O prirode pochvennoy kislotnosti* [On the Nature of Soil Acidity]. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1947. 185 p. (In Russ.).
27. Sokolova T. A., Tolpeshta I. I., Trofimov S. Ya. *Pochvennaya kislotnost. Kislотно-osnovnaya bufernost pochv. Soedineniya aluminiya v tverdoy faze pochvy i pochvennom rastvore* [Soil Acidity. Acid-Base Soil Buffering. Aluminum Compounds in Solid Soil and Soil Solution]. Tula: Grif i K, 2012. 124 p. (In Russ.).
28. Shamrikova E. V. Kislotnost KCl-vytyazhek iz organogennykh gorizontov podzolistykh pochv: istochniki, vozmozhnye ravnovesiya [Acidity of KCl-Extracts of O Horizons of Ash Gray Soils: Sources, Virtual Stability]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 2010. No 7. Pp. 1-8. (In Russ.).
29. Shamrikova E. V., Kazakov V. G., Sokolova T. A. Variirovanie pokazateley kislотно-osnovnogo sostoyaniya avtomorfnykh suglinistykh pochv taezhnoy i tundrovoy zon Respubliki Komi [Variation of Indices of Acid-Base Balance of Automorphous Loamy Soils in Taiga and Tundra Zones of the Komi Republic]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 2011. No 6. Pp. 699-712. (In Russ.).
30. Shamrikova E. V., Sokolova T. A. Vzaimosvyaz mezhdru razlichnymi formami kislotnosti avtomorfnykh suglinistykh pochv tundry i taygi [The Interconnection between Various Levels of Acidity of Automorphous Clay Loam Soils in Tundra and Taiga]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 2013. No 5. Pp. 556-569. (In Russ.).
31. Shamrikova E. V. *Kislotnost pochv taezhnoy i tundrovoy zon Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Soil Acidity in Taiga and Tundra Zones of European North-East of Russia]. Saint-Petersburg: Nauka, 2013. 157 p. (In Russ.).
32. Shamrikova E. V., Deneva S.V., Kubik O.S. et al. Kislotnost organogennykh gorizontov arkticheskikh pochv poberezhya Barentseva morya [Acidity of O horizons of Arctic Soils on the Seaside of the Barents Sea]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 2017. No 11. Pp. 1325-1335. (In Russ.).
33. 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.).
34. Vinokurov M. A., Grishin P. V. *Lesnye pochvy Tatarii* [Forest Soils in Tatar Republic]. Kazan: Izd-vo Ka-zanskogo universiteta, 1962. 70 p. (In Russ.).
35. Mironov N. A. Zavisimost mezhdru svoystvami pochv i sostavom smeshannykh nasazhdeniy [Depend-ance between the Property of Soil and the Composition of Mixed Stands]. *Nauchnye doklady vysshey shkoly. Bio-logicheskie nauki* [Scientific Reports of Higher School. Biological Sciences]. 1964. No 1. Pp. 199-204. (In Russ.).
36. Smirnov V. N. *Pochvy Mariyskoy ASSR, ikh genesis, evolutsiya i puti uluchsheniya* [Soils of Mari ASSR, Their Genesis, Evolution and Ways to Improve]. Yoshkar-Ola: Marknigoizdat, 1968. 532 p. (In Russ.).
37. 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.).
38. Gilaev A. M. *Pochvy i produktivnost pikhtovykh drevostoev Srednego Povolzhya na yugozapadnom pre-dele areala pikhty sibirskoy* [Soils and Productivity of Middle Volga Region Fir Stands in the South-West Border of Siberian Fir Habitat]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 1999. 184 p. (In Russ.).
39. 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.).
40. 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.).
41. 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.).
42. 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.).

43. Demakov Yu. P., Isaev A. V., Mityakova I.I. Pochvy lesoparka «Dubovaya roshcha»: stroenie, svoystva, razvitie [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: PGU, 2017. Iss. 8. Pp. 115-168. (In Russ.).
44. Arinushkina E. V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Guidebook on Chemical Soil Test]. Moscow: MGU, 1970. 490 p. (In Russ.).
45. Vorobyeva L. A. *Khimicheskiy analiz pochv* [Chemical Soil Test]. Moscow: MGU, 1998. 272 p. (In Russ.).
46. Demakov Yu. P., Isaeva A.V., Talantsev V.I., et al. Khimicheskaya i biologicheskaya aktivnost vodnykh ekstraktov lesnykh rasteniy [Chemical and Biological Activity of Aqueous Extracts of Forest Plants]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ecologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2015. No 2. Pp. 57-76. (In Russ.).

The article was received 12.12.18.

Accepted for publication 25.02.19.

For citation: Demakov Yu. P., Isaev A. V., Mityakova I. I., Nureev N. B. Limits and Reasons for Variability of Soil Acidity Parameters in Forest Biogeocenoses of Middle Volga Region. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2019. No 1 (41). Pp. 54–71. DOI: 10.25686/2306-2827.2019.1.54

Information about authors

Yuriy P. Demakov – 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, biogeocenology, ecology. The author of 330 publications, including 12 monographs and study guides.

Alexander V. Isaev – Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director for Research Activity, State Nature Reserve “Bolshaya Kokshaga”, Associate Professor at Mari State University. Research interests – biogeocenology, forest pedology, nature protection. The author of 50 publications, including one monograph.

Irina I. Mityakova – 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 60 publications.

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