

УДК 574.47+57.087.1

ВОЛКОВ Алексей Геннадьевич, ассистент кафедры лесоводства и почвоведения лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 5 научных публикаций

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ В ЕЛОВОМ БИОГЕОЦЕНОЗЕ СЕВЕРНОЙ ПОДЗОНЫ ТАЙГИ*

Кислотность почвенного покрова является одним из основных факторов, определяющих плодородие почв. Важным его элементом является лесная подстилка, которая находится на поверхности, поэтому изучать кислотность необходимо в единой системе «подстилка – почва». Рассмотрены особенности вертикальной изменчивости и горизонтальной неоднородности обменной кислотности почв и лесной подстилки в ельнике черничном подзоны северной тайги. Пробная площадь представляет собой крутой склон с изменением почв от подзолистых до темногумусовых глеевых. Значения $pH_{(КС)}$ уменьшаются от верхних слоев лесной подстилки к почвенным минеральным горизонтам. При этом происходит увеличение вариабельности показателя. Выявлены сходства между изменениями обменной кислотности в профиле подзолистых почв и дерново-подбуров оподзоленных. В них происходит увеличение кислотности от лесной подстилки к верхнему минеральному горизонту почвы, а затем ее снижение. В темногумусовой-глеевой почве кислотность продолжает увеличиваться с глубиной. Коэффициент вариации $pH_{(КС)}$ в отдельных типах почв ниже, чем в целом по биогеоценозу. Пространственная неоднородность кислотности не связана с вариабельностью горизонтов лесной подстилки и почв.

Наибольшая пространственная неоднородность $pH_{(КС)}$ соответствует горизонтам лесной подстилки с наименьшей вариабельностью (8–13 %). Самым выравненным является верхний (0–10 см) минеральный слой почвы, характеризующийся в то же время наибольшей изменчивостью в пределах пробной площади (15 %). Обменная кислотность листового и ферментативного подгоризонтов лесной подстилки описывается линейной моделью, что говорит об их случайной пространственной структуре. Кислотность гумусированного слоя подстилки и минеральных горизонтов почв имеет сферическую модель с радиусом корреляции от 21 до 47 м.

Ключевые слова: *пространственная неоднородность, обменная кислотность почв, подзоны тайги, еловые биогеоценозы.*

*Работа выполнена под руководством доктора сельскохозяйственных наук, профессора кафедры лесоводства и почвоведения Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова Е.Н. Наквасиной.

В лесных экосистемах северной подзоны тайги кислотность почвенного покрова является одним из основных факторов, определяющих условия роста и развития растительности. Она в значительной мере обуславливает микробиологическую и ферментативную деструкцию опада и оказывает существенное влияние на особенности почвообразования. Через изменение подвижности химических соединений, степени насыщенности основаниями и доступности элементов питания растениям кислотность определяет в конечном итоге плодородие почвы [1].

Важным элементом почвенного покрова является лесная подстилка, которая находится на его поверхности и формально является особым биогеоценоотическим образованием – буфером между растениями и почвой. Поэтому рассматривать кислотность необходимо в единой системе «подстилка – почва». Актуальной задачей в последнее время становится изучение вариативности и пространственной неоднородности лесной подстилки и почвенного покрова [2, 3]. Отдельное внимание уделяется и изменчивости кислотных свойств лесной подстилки [4].

Х. Huang с соавторами [5], изучая пространственную неоднородность почвенного покрова, выявили, что обменная кислотность имеет низкие коэффициенты вариации (6-7 %), а пространственная структура описывается сферической моделью.

П.В. Красильников и В.А. Сидорова [6], исследуя неоднородность почв Русской равнины, получили схожие показатели. Коэффициенты вариации обменной кислотности колебались в пределах 7-14 %, а вариограммы описывались сферической моделью. Однако было показано, что в качестве модели для описания пространственной структуры кислотности может быть также использована модель наггет-эффекта, характеризующая случайность.

Цель нашей статьи – охарактеризовать вариативность и пространственную неоднородность кислотности лесной подстилки и верхних почвенных горизонтов в еловом биогеоценозе северной подзоны тайги.

Исследования проводили в Приморском районе Архангельской области, где был выбран участок елового биогеоценоза площадью 1050 м². Пробная площадь представляет собой крутой склон северо-восточной экспозиции с перепадом высот 17 м. В нижней ее части расположен ручей с небольшой поймой. Состав древостоя 7ЕЗС ед. Б, класс бонитета III, возраст 90 лет. Подрост представлен елью в количестве 170 шт./га. В подлеске осина, рябина и черемуха. Напочвенный покров представляют черника (*Vaccinium myrtillus* L.) и лесные травы: кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), костяника каменистая (*Rubus saxatilis* L.), золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea* L.), таволга вязолистная (*Filipendula vulgaris* (L.) Maxim.), луговик извилистый (*Deschampsia flexuosa* (L.) Trin.), голокучник обыкновенный (*Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.), герань лесная (*Geranium sylvaticum* L.) и грушанка круглолистная (*Pyrola rotundifolia* L.).

На пробной площади выделено три типа почв: подзолистые, дерново-подбуры оподзоленные и темногумусовые-глеевые. В рельефе они располагаются в порядке ослабления подзолистого процесса. Так, на вершине склона, в условиях сильного промывания осадками, формируются типичные поверхностно-подзолистые почвы, которые по мере увеличения латерального переноса воды и снижения промывания переходят в дерново-подбуры оподзоленные. У подножья склона, в условиях переувлажнения водами ручья, формируются темногумусово-глеевые почвы, подзолистый процесс в которых не развивается.

Пробную площадь разбивали на регулярную сеть с шагом 5 м, в узлах которой проводили отбор образцов. Всего было опробовано 60 точек. Лесная подстилка разделялась на три подгоризонта: L – листовой, F – ферментативный и H – гумусированный [7]. Основные различия между ними заключаются в процессах, формирующих их, и морфологически выражаются в степени разложения органического материала. Ниже подстилки проводили от-

бор образцов из почвенных слоев с глубины 0–10 см и 10–20 см, включая два первых минеральных горизонта почвенного покрова (далее слои 1 и 2). В случае подзолистой почвы это были элювиальный (EL) и текстурный (BT) горизонты, у дерново-подбура оподзоленного – серогумусовый оподзоленный (AYe) и иллювиально-железистый (BF), а у темногумусовой-глеевой почвы – темногумусовый (AU) и глеевый (G) горизонты [8].

Изучали обменную кислотность солевой вытяжки KCl в соотношении 1:25 для органических горизонтов и 1:2,5 для минеральных. Значения $pH_{(KCl)}$ определялись потенциометрическим способом [9].

Пространственную неоднородность изучали с помощью геостатистических методов [10]. Инструментом для описания пространственной структуры и количественной характеристики неоднородности является вариография. Она основывается на предположении, что объекты, находящиеся ближе друг к другу, более схожи между собой, чем те, которые располагаются на значительном удалении. Основными показателями вариограммы являются: модель, характеризующая пространственную структуру свойства; радиус корреляции, показывающий расстояние, в пределах которого значения автокоррелированы между собой; остаточная дисперсия, описывающая класс пространственной корреляции [11]. Используя вариограммы, с помощью метода универсального кригинга строи-

ли картограммы обменной кислотности для отдельных горизонтов.

Для расчета статистических показателей и проведения статистических анализов использовали программу «Statistica». Вариограммы и построение карт проводили в программе «ARCGIS».

В связи с особенностями генезиса горизонты лесной подстилки и почвы имеют разные значения $pH_{(KCl)}$. Увеличение кислотности происходит от верхних слоев подстилки к почвенным горизонтам (табл. 1), изменяясь от среднекислой в листовом подгоризонте до сильнокислой в лежащих под ней минеральных горизонтах. Средние значения отражают основное влияние факторов, и в случае $pH_{(KCl)}$ ими являются процесс образования горизонта и его состав.

Листовой слой подстилки, располагающийся на поверхности, состоит из неразложившегося опада и имеет наибольшее значение $pH_{(KCl)}$, равное 4,67. Природу его кислотности сложно объяснить почвенными процессами и можно связать лишь с особенностями химического состава растительности. В толще лесной подстилки возрастает степень разложения опада, а значения $pH_{(KCl)}$ слоя гумификации достигают 4,17. В подгоризонтах F и H проявляются биохимические процессы ферментации и гумификации, т. е. происходит образование органических кислот. Именно они являются основным фактором повышения кислотности, поэтому

Таблица 1

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОБМЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ ГОРИЗОНТОВ $pH_{(KCl)}$

Горизонт/слой	Среднее значение	Ошибка среднего значения	Min	Max	Коэффициент вариации, %
<i>Лесная подстилка</i>					
L	4,67	0,05	3,65	5,71	8
F	4,21	0,06	3,25	5,38	10
H	4,17	0,07	3,22	5,55	13
<i>Минеральные слои почвы</i>					
1 (0–10 см)	3,92	0,07	3,10	6,15	15
2 (0–20 см)	3,96	0,06	3,18	5,95	12

верхние минеральные горизонты почв более кислые (3,92–3,96), чем лесная подстилка.

Исследованный ельник черничный имеет низкую неоднородность и пестроту по показателю обменной кислотности лесной подстилки и верхних минеральных слоев почвы. Самым выравненным по показателю $pH_{(KCl)}$ оказался листовая слой лесной подстилки (8%), хотя, находясь на поверхности, он подвергается воздействию большего количества факторов. Почвенные горизонты имеют наибольшую вариабельность.

Сравнительный анализ показал, что подгоризонты лесной подстилки и минеральные горизонты значительно различаются между собой по показателю обменной кислотности ($p < 0,01$), что связано со спецификой их генезиса. Однако ферментативный и гумусированный горизонты лесной подстилки достоверно не различаются между собой, так же как и почвенные слои 1 и 2 ($p > 0,08$).

Несмотря на то, что почвенное разнообразие обуславливает разную кислотность, среднее значение в пределах пробной площади сглаживает различия между отдельными ее частями. При расчете средних значений обменной кис-

лотности в пределах типов почв различия между минеральными горизонтами являются более существенными, а изменчивость снижается. Так, по значениям $pH_{(KCl)}$ почвы выстраиваются в ряд от наиболее кислых, подзолистых, через дерново-подбур оподзоленные к темногумусовым-глеевым. Именно в таком порядке они расположены в биогеоценозе в связи с понижением рельефа.

Характер профильного изменения кислотности у подзолистых почв и дерново-подбур оподзоленных схож (рис. 1а). Наблюдается уменьшение значений $pH_{(KCl)}$ от листового слоя к ферментативному, а далее – более сглаженное подкисление вплоть до первого минерального горизонта (0–10 см). Он может быть представлен элювиальным горизонтом в подзолистых почвах или серогумусовым оподзоленным в подбурах. Кислотность в данном случае отражает степень выраженности подзолистого процесса, который сильнее развит в собственно подзолистых почвах, чем в оподзоленных аналогах других типов.

Значения $pH_{(KCl)}$ элювиального и серогумусового оподзоленного горизонтов достоверно отличаются друг от друга ($p = 0,017$). В то же

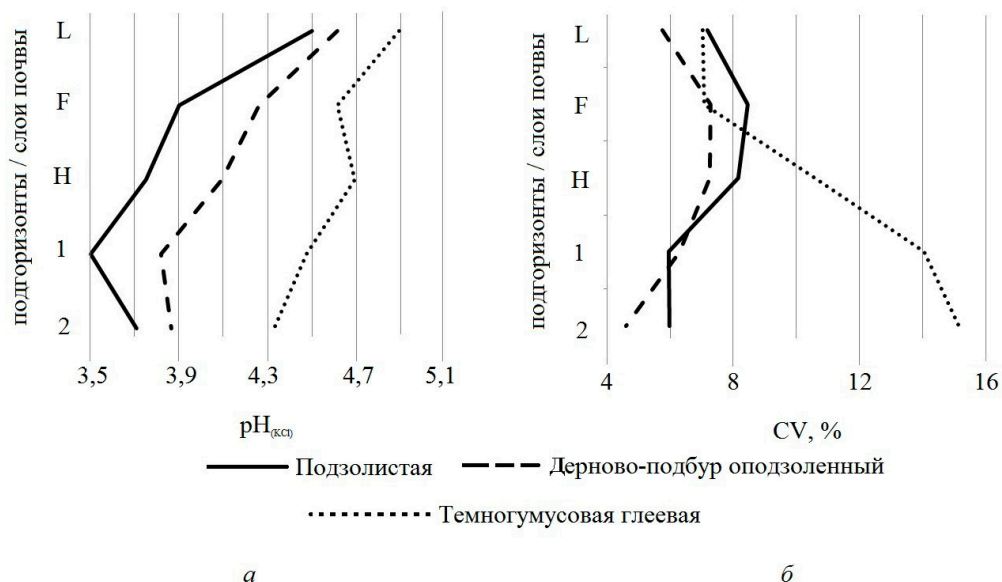


Рис. 1. Профильное изменение: а – кислотности почв, б – коэффициента вариации

время в толще минеральных горизонтов кислотность второго слоя снижается, что может быть связано с иллювиальным процессом и насыщением почвенного поглощающего комплекса основаниями.

Другими особенностями профильного изменения обменной кислотности обладает темногомусовая-глеевая почва. В слое гумификации лесной подстилки $pH_{(KCl)}$ увеличивается до 4,7, что, вероятно, связано с более интенсивным процессом разложения травянистого опада в нижней части склона. В отличие от подзолистых почв и подбуров кислотность минеральных слоев увеличивается (рис. 1а) в связи с развитием процессов оглеения [12].

Вариабельность обменной кислотности отдельных горизонтов в пределах типов почв ниже (рис. 1б) относительного среднего коэффициента вариации по биогеоценозу. Исключение составляет глеевый горизонт темногомусовой почвы, в котором может проявляться разная степень развития глеевого процесса в зависимости от уровня грунтовых вод.

Изучение вариабельности или изменчивости кислотности, характеризующейся коэффициентом вариации, в рамках заранее ограниченных территорий (типы почвы) не позволяют выяснить их пространственную организацию в пределах всей пробной площади. Не удастся также выяснить, существуют ли более или менее однородные ареалы в

пределах изучаемой территории, на каких расстояниях они сменяют друг друга и какова вариабельность значений в масштабе меньшем, чем шаг опробования.

Так, показатель с одинаковым значением коэффициента вариации может иметь различную пространственную структуру, т. е. быть однородным или проявлять пестроту, мозаичность. Для оценки такой пространственной неоднородности применяются геостатистические методы.

Для оценки пространственной неоднородности обменной кислотности были построены вариограммы – графики зависимости полудисперсии (h) от расстояния. Крутой склон с большим перепадом высот обуславливает наличие линейного тренда, который был вычтен из данных. С помощью метода наименьших квадратов к эмпирическим детрендрованным данным подобраны модели вариограмм.

Установлено, что пространственная неоднородность листового и ферментативного подгоризонтов лесной подстилки описывается линейной моделью (табл. 2) и подразумевает случайное, хаотическое распределение значений $pH_{(KCl)}$ по площади биогеоценоза.

Это связано с тем, что на верхние горизонты лесной подстилки оказывает влияние большое количество факторов, при этом ни один из них не является определяющим. Несмотря на то, что коэффициент вариации подгоризонтов

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ КИСЛОТНОСТИ

Горизонт	Модель	Радиус корреляции, м	Наггет	Порог	Остаточная дисперсия, %
<i>Лесная подстилка</i>					
L	Линейная	–	–	–	100
F	Линейная	–	–	–	100
H	Сферическая	47	0,090	0,18	50
<i>Минеральные горизонты почвы</i>					
1	Сферическая	21	0,003	0,15	2
2	Сферическая	21	0,050	0,13	38

L и F был минимален среди всех слоев (8–10 %), эти оказались наиболее пестрыми и случайными. Остальные горизонты описываются сферической моделью с радиусом корреляции от 21 до 47 м. Это говорит о том, что однородные ареалы сменяют друг друга именно на таких расстояниях. Для подгоризонта гумификации Н отмечается высокая остаточная дисперсия (50 %), что создает мозаичность на расстояниях меньше 5 м. Близкий к нему по пространственной структуре минеральный слой почв (10–20 см) имеет чуть меньшую остаточную дисперсию и в два раза меньший радиус корреляции (21 м), т. е. является более однородным. Низкое значение остаточной дисперсии для верхнего (0–10 см) минерального горизонта почвы (2 %) показывает выровненность значений $pH_{(KCl)}$ между точками опробования и отсутствие ошибок измерения. При наибольшем коэффициенте вариации (15 %) первый слой

почвенного покрова оказался наиболее однородным в пространстве.

С использованием вариограмм с помощью метода кригинга были построены картограммы обменной кислотности подгоризонтов лесной подстилки и минеральных горизонтов почвенного покрова для территории елового биогеоценоза (рис. 2). На картограммах хорошо обнаруживаются особенности пространственной структуры и изменчивости кислотности $pH_{(KCl)}$. Заметно, что неоднородность увеличивается от поверхности лесной подстилки к почвенным горизонтам, что подтверждает ранее сделанные выводы.

Таким образом, при изучении кислотных свойств почв в еловом биогеоценозе подзоны северной тайги установлено, что значения $pH_{(KCl)}$ снижаются от верхних слоев лесной подстилки к почвенным минеральным горизонтам. Отмечено также незначительное увеличение

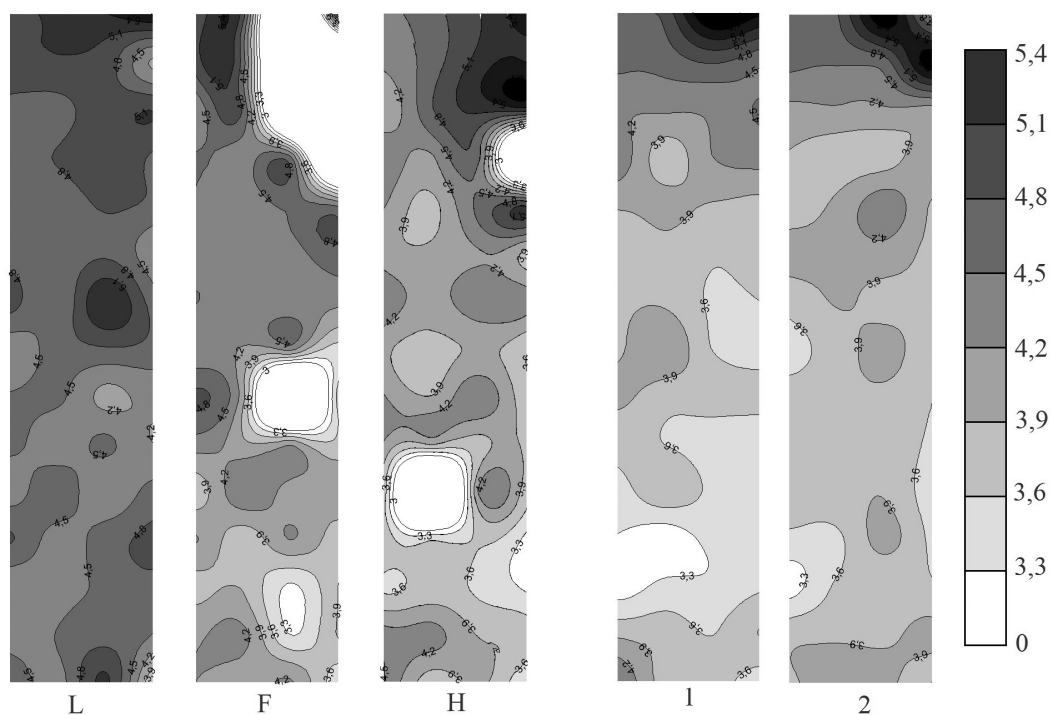


Рис. 2. Картограммы значений $pH_{(KCl)}$ подгоризонтов лесной подстилки и верхних минеральных горизонтов почвы

вариабельности показателя $pH_{(KCL)}$. Анализ профильного изменения обменной кислотности отдельных типов почв выявил сходство между подзолистыми почвами и дерново-подбурами оподзоленными. В них происходит увеличение кислотности от лесной подстилки к верхнему минеральному горизонту почвы, в котором и проявляется оподзоливание, а затем в связи с иллювиальным процессом кислотность снижается. В темногумусовой-глеевой почве процесс иллювиирования не развит, поэтому кислотность продолжает увеличиваться с глубиной. Коэффициент вариации $pH_{(KCL)}$ в целом по биогеоценозу выше, чем в различных типах почв. Повышению вариабельности способствует процесс оглеения. Несмотря на схожие и невысокие коэффициенты

вариации, пространственная структура разных горизонтов лесной подстилки и почв в пределах биогеоценоза неодинакова.

Так, в еловых биогеоценозах подгоризонты с наименьшей вариабельностью $pH_{(KCL)}$ (8-13 %) имеют сильную пестроту. Наиболее однородным является верхний (0–10 см) минеральный слой почвы, при этом его изменчивость наибольшая (15 %).

Для листового подгоризонта L и слоя ферментации F характерна случайная пространственная структура обменной кислотности, которая описывается линейной моделью. Неоднородность $pH_{(KCL)}$ подгоризонта гумификации H и минеральных горизонтов почв описывается сферической моделью с радиусом корреляции от 21 до 47 м.

Список литературы

1. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. Природа кислотных свойств подстилки болотных березняков // Журн. Сиб. федер. ун-та. Сер.: Биология. 2013. № 2. С. 205–219.
2. Вебстер Р. Почвоведение и геостатистика // Геостатистика и география почв. М., 2007. С. 8–18.
3. Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: на примере дерново-подзолистых почв. М., 2008. 160 с.
4. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Дричко В.Ф. Пространственная неоднородность кислотности почв // Агротех. вестн. 2006. № 6. С. 10–12.
5. Huang X., Skidmore E.L., Tibke G. Spatial Variability of Soil Properties Along Transect of CRP and Continuously Cropped Land // 10th International Soil Conservation Organization Meeting. 1999. P. 641–647.
6. Красильников П.В., Сидорова В.А. Геостатистический анализ пространственной структуры кислотности и содержания органического углерода зональных почв Русской равнины // Геостатистика и география почв. М., 2007. С. 67–80.
7. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М., 2005. 336 с.
8. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск, 2004. 342 с.
9. ГОСТ 26484-85. Почвы. Метод определения обменной кислотности. Введ. 1985.03.26. М., 1985. 3 с.
10. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М., 1968. 408 с.
11. Webster R., Oliver M.A. Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey. Oxford, UK, 1990.
12. Зайдельман Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв. М., 1998. 316 с.

References

1. Efremova T.T., Efremov S.P. Priroda kislotnykh svoystv podstilki bolotnykh bereznyakov [Acidic Properties Nature of Mulch of Bog Birch Forests]. *Zhurn. Sibirskogo federal'nogo univ. Ser.: Biologiya*, 2013, no. 2, pp. 205–219.
2. Webster P. Pochvovedenie i geostatistika [Soil Science and Geostatistics]. *Geostatistika i geogr. pochv.* Moscow, 2007, pp. 8–18.
3. Samsonova V.P. *Prostranstvennaya izmenchivost' pochvennykh svoystv: na primere dernovo-podzolistykh pochv* [Spatial Variability of Soil Properties in Terms of Sod-Podzolic Soils]. Moscow, 2008. 160 p.

4. Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Drichko V.F. Prostranstvennaya neodnorodnost' kislotnosti pochv [Spatial Heterogeneity of Soil Acidity]. *Agrohimichesky vestn.*, 2006, no. 6, pp. 10–12.
5. Huang X., Skidmore E.L., Tibke G. Spatial Variability of Soil Properties Along Transect of CRP and Continuously Cropped Land. *10th Intern. Soil Conservation Organization Meeting*. West Lafayette, 1999, pp. 641–647.
6. Krasil'nikov P.V., Sidorova V.A. Geostatisticheskiy analiz prostranstvennoy struktury kislotnosti i sodержaniya organicheskogo ugleroda zonal'nykh pochv russkoy ravniny [Geostatistical Analysis of the Spatial Structure of Acidity and Organic Carbon Content of Zonal Soils of the Russian Plains]. *Geostatistika i geogr. pochv* [Geostatistics and Geography of Soils]. Moscow, 2007, pp. 67–80.
7. Karpachevskiy L.O. *Ekologicheskoe pochvovedenie* [Environmental Soil Science]. Moscow, 2005. 336 p.
8. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and Diagnostics of Soils of Russia]. Smolensk, 2004. 342 p.
9. GOST 26484-85. *Pochvy. Metod opredeleniya obmennoy kislotnosti* [State Standart 26484-85. Soils. Method for Determination of Reverse Acidity]. Moscow, 1985. 3 p.
10. Matheron G. *Traité de géostatistique appliquée* [Treaty of Applied Geostatistics]. Paris, 1962-63. 408 p.
11. Webster R., Oliver M.A. *Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey*. Oxford, UK, 1990.
12. Zaydel'man F.R. *Protsess gleeobrazovaniya i ego rol' v formirovaniy pochv* [Gleyzation and Its Role in the Formation of Soils]. Moscow, 1998. 316 p.

Volkov Aleksey Gennad'evich

Postgraduate Student, Forestry Engineering Institute,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

SPATIAL HETEROGENEITY OF SOIL ACIDITY IN SPRUCE BIOGEOCENOSE IN THE NORTHERN TAIGA SUBZONE

The soil covering acidity is one of the basic soil fertility factors. Mulch is an important element of the soil covering, which is on the surface. So, it is necessary to study the acidity in the system “mulch-soil”. The features of the vertical variability and horizontal heterogeneity of the soil and mulch reverse acidity in the bilberry scrub forest of the northern taiga subzone are considered. The sampling area is a steep slope with a change of the podzolic soils to the dark-humus gleysols. $pH_{(KCl)}$ values are decreased from the upper layers of the forest mulch to the soil mineral horizons. Such reduction leads to the increasing of the index variability. Similarities of reverse acidity changes in the podzolic soils profile and turfy podzolized brown soils were identified. The acidity increases from the forest mulch to the upper mineral soil horizon, whereupon it decreases. The acidity continues to decrease with the deep in the dark-humus-gley soil. At the certain soil types the coefficient of $pH_{(KCl)}$ variation is lower than in biogeocenose generally. Spatial heterogeneity of acidity is not related to the variability of the horizons of forest mulch and soils.

The most spatial heterogeneity of $pH_{(KCl)}$ corresponds to the horizons of the forest mulch of the lowest variability (8–13 %). The upper (0–10 cm) mineral soil horizon is the most smoothed and characterized as highly variable (15 %) at the same time. Reverse acidity of limb and enzymic subhorizons of forest mulch is described by a linear model demonstrating their random spatial structure. The acidity of a humic layer of the forest mulch and mineral soil horizons is a spherical model with the correlation radius of 21–47 meters.

Keywords: *spatial heterogeneity, soil reverse acidity, taiga subzone, spruce biogeocenose.*

Контактная информация:

адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17;
e-mail: jonlordeg@rambler.ru

Рецензент – *Феклистов П.А.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники, общей экологии и природопользования института естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова