

4. Goryachkin, S.V. *Pochvennyy pokrov. Struktura i dinamika prirodnikh komponentov Pinezhskogo zapovednika* (severnaya tayga ETR, Arkhangel'skaya oblast') [Soil cover. Structure and dynamics of natural ingredients Pinezhsky Reserve (northern taiga ETR, Arkhangel'sk region)]. Arkhangel'sk, 2000. pp.56-64.
5. Goryachkin, S.V. *Pochvennaya karta Pinezhskogo gosudarstvennogo zapovednika Ob'yasnitel'naya zapiska k karte i legende k ney* [Soil map Pinezhsky State Reserve. Explanatory note to the map and legend to her.]. Moscow, 1989. 128 p.
6. *Krasnaya kniga Arkhangel'skoy oblasti* [The Red Book of the Arkhangel'sk Region]. – Arkhangel'sk: The Environmental Committee of the Arkhangel'sk Region, 2008. 351 p.
7. Cherepanov, S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv* [Vascular plants of Russia and Neighboring Countries]. Saint Petersburg, 1995. 990 p.
8. *Polevoy praktikum po pochvovedeniyu* [Field Workshop on Soil]. Arkhangel'sk: Arkhangel'sk State Technical University, 2007. 127 p.
9. *Agrokhimicheskie svoystva pochv: ucheb. posobie* [Agrochemical properties of soils: proc. allowance]. Arkhangel'sk: Arkhangel'sk State Technical University, 2009. 101p.
10. *GOST 27784-88. Pochvy. Metod opredeleniya zol'nosti torfyanykh i otorfovannykh gorizontov pochv* [GOST 27784. soils. Method for determination of ash content of peat and peaty soil horizons.]. Moscow: State Committee on Standards, 1988. 7 p.
11. *GOST 26423-85. Pochvy. Metody opredeleniya udel'noy elektricheskoy provodimosti, pH i plotnogo ostatka vodnoy vytyazhki* [GOST 26423. Soils. Methods for determination of specific electric conductivity, pH and solid residue of water extract]. Moscow: State Committee on Standards, 1988. 10 p.

СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ЕГО ЗАПАСЫ В ПОЧВАХ КАРЕЛИИ, СФОРМИРОВАВШИХСЯ НА КОРЕННЫХ ПОРОДАХ

О.Н. БАХМЕТ, доц., лаборатория лесного почвоведения Институт леса КарНЦ РАН,
канд. биол. наук

obahmet@mail.ru

ФГБУН Карельский научный центр Российской академии наук
185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11

Проведены исследования органического вещества почв, формирующихся на различных по минералогическому и химическому составу коренных горных породах (от бедных по составу гранитов до богатых элементами минерального питания растений мраморов, доломитов и шунгитовых сланцев). Для того, чтобы выделить влияние литологического фактора на запасы и состав органического вещества почв, пробные площади подбирались в одних климатических условиях (среднетаежная подзона Карелии) и одинаковых по породному составу и возрасту лесах (сосняках 40–80 лет). На богатых по составу, но глубоко метаморфизованных, соответственно, обладающих значительной устойчивостью к выветриванию коренных породах (например, порфиритах титаномагнетитового оруденения или вулканической брекчии) органическое вещество почв трансформируется крайне медленно. Основные запасы его накапливаются на дневной поверхности в виде лесной подстилки, лишь незначительная часть находится в минеральной толще почвы. Тип формирующегося в данных условиях гумуса – фульватный, т.е. в его составе преобладают фульвокислоты. В менее устойчивых породах (например, доломитах) складываются более благоприятные условия для жизнедеятельности биоты, активнее протекает преобразование органического вещества почв, о чем свидетельствует соотношение гуминовых и фульвокислот (>1). Органическое вещество в таких почвах в значительной степени мигрирует вниз по почвенному профилю и накапливается в минеральной толще. Таким образом, проведенные исследования почв показали, что на состав органического вещества и характер его накопления оказывают влияние не только минералогические и химические особенности почвообразующей породы, но и в значительной степени устойчивость ее к выветриванию.

Ключевые слова: почва, коренные породы, органическое вещество, запасы, состав, лес.

Почвообразующая порода влияет на скорость почвообразования, направление процесса, плодородие почв. Скорость формирования почвы определяется устойчивостью породы к воздействию биоклиматических факторов [8]. Уровень плодородия почв во многом зависит от ее состава, сложения и структуры, на бедных по содержанию элементов минерального питания породах никогда не сформируются высокоплодородные почвы [1]. Вещественный состав и свойства горных пород наиболее значительно сказываются на свойствах молодых и маломощных почв [9].

Минералогический, гранулометрический, химический состав и свойства почвообразующих пород определяют видовой и, следовательно, биохимический состав фитоценозов, их продуктивность, скорость разложения опада и характер продуктов разложения [10, 11]. Таким образом, почвообразующая порода и сформировавшиеся на ней почвы существенно влияют на характер биологического круговорота на всех его этапах, а также определяют биологическое разнообразие.

На выходах кристаллических пород на дневную поверхность поселяются лишай-

Лесоводственно-таксационная характеристика сосняков на коренных породах

Forestry and taxation characteristics of pine forests on bedrock

№ пп	Порода	Состав пород	А, лет	Полнота	Класс бонитета	Тип леса
6	граниты	10С едБ, Е	45	0,5	IV,8	С. брусничный скальный
9	брекчия диабазов	10С+Б, ед Ол.с	50	0,5	IV,0	С. брусничный скальный
13	основные вулканы	10С+Б	80	0,5	IV,4	С. черничный скальный
14	порфириды	10С (50) едС(160)Б	50	0,65	IV,4	С. брусничный скальный
19	мраморы	9С1Б+ Ос	85	0,7	III,1	С. чернично-разнотравный скальный
20	доломиты	10СедЕ, Ол.с	40	0,5	II,8	С. черничный скальный
21	шунгитовые сланцы	9С1Еед Б,Ос	30	0,5	III,4	С. брусничный скальный

ники, способные фиксировать атмосферный азот, что приводит к накоплению органического вещества и химическому выветриванию кристаллических пород, в результате чего формируются примитивные почвы.

На элювии и элюво-делювии основных или средних почвообразующих пород, богатых невыветрелыми минералами, формируются почвы с бурым слабо дифференцированным профилем – подбуры. Химический состав коренных пород, специфика биологического круговорота веществ обуславливают формирование в этих почвах кислого грубого гумуса [2, 3]. Своеобразны почвы, развивающиеся на элювии шунгитовых сланцев, они имеют почти черную окраску, профиль слабо дифференцирован на горизонты, хорошо выражен лишь гумусово-аккумулятивный горизонт, постепенно переходящий в почвообразующую породу [2].

Целью наших исследований было установление особенностей состава и запасов органического вещества почв, сформировавшихся на различных по химическому составу коренных породах.

Объекты и методы

Структура исследованной части Балтийского щита определяется Карельским блоком. Он представляет в регионе наиболее сложную структуру, в строении которой участвуют разновозрастные геологические комплексы от нижнего архея до верхнего протерозоя [4, 5]. Основу ее, как и в целом в Карелии, составляют кислые метаморфические породы.

Поэтому в качестве зонального варианта почвообразования был выбран участок на кислых кристаллических породах – гранито-гнейсах.

Массив этих пород прорывается многочисленными интрузивными образованиями различного состава, от кислых до ультраосновных. Для изучения начальных стадий почвообразования на основных и ультраосновных породах был подобран ряд пробных площадей: на мраморе, доломитах, базальтах, шунгитах и вулканических брекчии и туфах диабазов (метаморфические и осадочные породы).

Для того чтобы вычленить влияние литологического фактора в почвообразовании сформировавшихся здесь почв, пробные площади были подобраны в насаждениях одного породного состава – сосняках без ограничения площади в натуре. Таксация древостоев приведена в табл. 1.

Пробные площади расположены в одном климатическом районе в среднетаежной подзоне Карелии, что исключает влияние климатических факторов на разницу в производительности обследованных древостоев. Сумма положительных температур +10° и выше в год в данном районе составляет 1405° (1330–1480), годовое количество осадков – 680 мм. При данных климатических условиях максимально возможная производительность сосновых древостоев, произрастающих в оптимальных почвенно-гидрологических условиях, может достигать 1а,5 класса бонитета.

В наиболее типичных участках почвенного покрова биогеоценоза закладывали почвенные разрезы, определяли их морфологическое

Физико-химические параметры исследованных почв
Physico-chemical parameters of the soils

Пробная площадь	Горизонт	pH _{KCl}	P ₂ O ₅	K ₂ O	C	N	C/N
			мг/100 г а.с.п.		%		
Подзол маломощный на гранитогнейсах							
6	Ao	3,29	53,7	141,1	50,4	1,18	42,7
	A2	3,32	101,9	3,6	1,05	0,06	17,5
	Bf	4,92	127,1	3,7	1,76	0,12	14,7
Подзол маломощный на вулканической брекчии							
9	Ao	4,85	80,7	96,9	38,4	1,05	36,6
	Bf	4,52	99,4	41,5	1,42	0,08	17,2
	BC	4,36	134,4	5,4	2,95	0,15	19,7
Примитивная почва на порфиритах титаномagnetитового оруденения							
14	Ao	3,04	37,6	92,4	42,8	1,41	30,4
	BC	4,93	170	1,4	0,6	0,06	10,0
Подбур маломощный на доломитных мраморах							
19	Ao	4,69	57,8	40,1	24,5	1,03	23,8
	A1B	4,77	114,7	32,6	5,17	0,29	17,8
Подбур маломощный на доломитах							
20	Ao	4,03	42,8	78	32,6	1,39	23,5
	A1B	4,56	173,7	5,6	3,1	0,25	12,4
Почва на шунгитовых сланцах							
21	Ao	4,22	38,5	129,3	32,7	1,29	25,3
	A1B	4,03	11,5	5,76	4,0	0,27	14,8
	BC	4.04	19.32	69.4	3.9	0.27	14.4

строение. Особое внимание уделяли строению органо-профиля (характер гумуса, степень разложения органического материала).

По генетическим горизонтам отбирали почвенные образцы для проведения стандартных химических анализов по общепринятым методикам [6]. Кроме традиционных физико-химических и химических свойств исследовали групповой и фракционный состав органического вещества для различных генетических горизонтов почв.

Для характеристики запасов органического вещества в почве в целом запасы в лесной подстилке определяли отдельно, а затем суммировали с запасами в минеральной толще.

Результаты и обсуждение

Исследованные почвы относятся к следующим типам: примитивным, подзолистым, дерново-карбонатным и дерново-шунгитовым.

Исследованные примитивные почвы сформировались на основных и ультраосновных коренных породах – пироксенитах, основных вулканитах и порфиритах титаномagnetитового оруденения. Данные химического состава этих пород позволяют предполагать, что почвы, формирующиеся на них, будут обладать большими запасами элементов минерального питания.

Однако эти породы имеют высокую плотность сложения и соответственно большую устойчивость к разрушению. В настоящее время они мало нарушены выветриванием и почвообразование здесь находится на начальных стадиях. За период, прошедший после схода ледника, в их профиле появился, кроме органо-генного, минеральный щебнистый горизонт. Морфологическое строение исследованных примитивных почв – Ao–BC, мощность всей почвенной толщи составляет 7–11 см.

Содержание элементов минерального питания в них достаточно высоко (табл. 2). Однако мощность примитивных почв и соответственно запас питательных элементов явно недостаточны для хорошего произрастания растений. Примитивные почвы характеризуются высокой кислотностью, особо низкие значения pH отмечены в лесной подстилке. В горизонте BC по сравнению с органо-генным величина pH снижается более, чем на единицу. Основное количество гумуса и азота сосредоточено в лесной подстилке, в минеральном горизонте отмечается их незначительное содержание.

Фракционный состав органического вещества исследованных почв
Fractional composition of the organic matter of the soils

№ п/п	Гори- зонт	Фракции ГК				Фракции ФК					ГК/ФК	Негидрол. ост.
		1	2	3	Σ	1a	1	2	3	Σ		
Подзол маломощный на гранитах												
6	Bf	6,1	8,0	15,1	29,2	7,1	8,6	2,9	15,7	34,3	0,9	36,5
Маломощный подзол на вулканической брекчии												
9	Bf	13,4	2,2	6,1	21,7	0,6	16,4	2,3	4,1	23,4	0,9	54,9
Дерново-карбонатная почва на доломитах												
20	B1	7,0	5,9	10,8	23,7	19,5	7,0	15,3	5,4	47,2	0,5	29,1
	B2	4,2	6,3	16,7	27,2	6,9	0,2	12,3	2,1	21,5	1,3	51,3
Шунгитовая почва на шунгитовых сланцах												
21	A1B	8,5	3,9	11,3	23,7	0,9	8,2	3,7	5,3	18,1	1,3	58,2

Маломощные подзолы были изучены на кислых породах (гранитах), а также на основных и средних вулканитах. Их профиль Ao-A2-Bf-BC образовался на маломощных (до 20–25 см) скоплениях мелкозема, образовавшегося в результате выветривания почвообразующих пород. Материал горизонта A2 сложен почти исключительно скелетными зернами, не имеющими пленок, структура не выражена. В иллювиальных горизонтах появляется буроокрашенный тонкодисперсный материал, образующий тонкие пленки на песчаных зернах и небольшие компактные агрегаты.

Профильное распределение агрохимических показателей дает представление об уровне плодородия сформировавшихся на коренных породах подзолов (табл. 2). Для всех горизонтов подзолов характерна кислая реакция, особенно высока кислотность почв, развитых на кислых породах. Для этих почв характерно низкое содержание углерода и азота и их элювиально-иллювиальное перераспределение по профилю. Минеральные горизонты почв, развитых на основных породах, значительно богаче этими элементами.

Формирование осветленного элювиального горизонта считается несвойственным для таежных почв на основных породах, хотя в единичных работах возможность такого процесса не исключалась [7]. Исследования показали, что глубоко измененные основные породы иначе реагируют на воздействие кислотных агентов. В них мало основных плагиоклазов, которые могут быстро подвергаться полному растворению с выходом в раствор щелочных

и щелочноземельных катионов, а также полуторных окислов. Поэтому быстрое осаждение поступающих из подстилки гумусовых кислот ограничено, что способствует образованию элювиального горизонта, состоящего в основном из отмытого силикатного материала.

На карбонатных породах образовались дерново-карбонатные почвы – почвы со слабодифференцированным профилем, имеющим строение – Ao-A1B-BC. На этих почвах развит травянистый напочвенный покров, поэтому растительный опад, в основном, разлагается в течение года, лесная подстилка имеет небольшую мощность – 3–4 см. Почвы на доломитах и мраморах характеризуются кислой реакцией солевой вытяжки, высоким содержанием углерода и азота. В целом, они характеризуются довольно высоким плодородием по сравнению с фоновыми таежными почвами.

Почвы, сформировавшиеся на шунгитовых сланцах, имеют то же строение профиля (Ao-A1B-BC). Их классификационное положение окончательно не определено, в различных классификационных системах авторы относят их к разным разделам. Эти почвы, благодаря повышенному содержанию питательных элементов в шунгитовых сланцах, также отличаются более высоким плодородием в сравнении с зональными почвами

Исследование группового и фракционного состава органического вещества почв, сформировавшихся на коренных породах, позволило определить доли подвижных соединений гуминовых и фульвокислот (фракции 1 и 1a), связанные с кальцием (фракция 2) и об-

разовавших прочные соединения с оксидами железа и алюминия (фракция 3) (табл. 3). Содержание подвижных соединений гумусовых кислот особенно велико в подзоле на вулканической брекчии, что связано с малой выветрелостью этой почвообразующей породы. Наиболее высокая доля органического вещества, связанного с кальцием, как и следовало ожидать, отмечена в дерново-карбонатной почве, а образовавшие комплексные соединения с железом и алюминием – зональном подзоле, сформировавшемся на гранитах. В целом, гумус в исследованных подзолах характеризуется как фульватный, а в дерново-карбонатных и шунгитовых почвах – гуматный.

В целом все исследованные типы почв характеризуются невысокими запасами органического вещества (рисунок).

Различия наблюдаются в соотношении запасов в органогенном горизонте и минеральной толще. В почвах на кислых почвообразующих породах поступающий растительный опад трансформируется крайне медленно, поэтому органическое вещество накапливается на поверхности почвы. Его запасы, сосредоточенные в лесной подстилке, в этих почвах абсолютно преобладают над запасами в минеральной толще. Несколько иная картина наблюдается в почвах, формирующихся на доломитах, мраморах и шунгитах. На пробных площадях, занятых этими почвами, в составе напочвенного покрова преобладают травы, опад которых сравнительно быстро разлагается. В результате большее количество органического вещества поступает в минеральные горизонты. Бонитет сосняков на карбонатных

породах и шунгитовых сланцах также значительно выше, чем на породах, где формируются примитивные почвы и подзолы.

Заключение

Изучение состава и запасов органического вещества в почвах, сформировавшихся на коренных породах Карелии, показало, что они различаются в зависимости от особенностей почвообразующей породы. Влияние оказывает не только ее химический состав, но и устойчивость к выветриванию. На богатых по составу – основных и ультраосновных, но глубоко метаморфизованных (следовательно, устойчивых к разрушению) породах образуются примитивные и подзолистые почвы, отличающиеся невысокими запасами органического вещества, сосредоточенного, главным образом, в органогенном горизонте. Кроме того, органическое вещество в этих почвах имеет фульватную природу, что в целом характерно для зональных почв. Примитивные почвы не отличаются высоким плодородием, что связано не только с небольшим количеством присутствующего в них органического вещества, но и невысоким запасом доступных для растений элементов минерального питания. Плодородие маломощных подзолов на кислых породах ограничено высокой кислотностью и низким содержанием элементов минерального питания как в элювии почвообразующей породы, так и в унаследованном минеральном материале собственно почвы. Несколько большей продуктивностью обладают подзолы на основных породах.

Наиболее благоприятные условия для жизнедеятельности биоты складываются в маломощных почвах, развитых на карбонатных породах и шунгитах. Они содержат большое количество элементов питания, а также характеризуются сравнительно невысокой устойчивостью к выветриванию, что делает эти ресурсы доступными. В составе органического вещества этих почв гуминовые кислоты, хотя и в незначительной степени, преобладают над фульвокислотами. Запасы органического вещества в таких почвах распределены более равномерно, значительная их доля сосредоточена в минеральной толще.



Рисунок. Запасы органического вещества в исследованных почвах

Figure. Stocks of organic matter in the soils studied

Библиографический список

1. Самойлова, Е.М. Почвообразующие породы / Е.М. Самойлова. – М.: МГУ, 1992. – 176 с.
2. Морозова, Р.М. Лесные почвы Карелии / Р.М. Морозова. – Л.: Наука, 1991. – 184 с.
3. Бахмет, О.Н. Почвенный покров / О.Н. Бахмет, Р.М. Морозова // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. – С. 29–31.
4. Геология Карелии. – Л.: Наука, 1987. – 231 с.
5. Сыстра, Ю.И. Основные черты геологического строения Карельского региона / Ю.И. Сыстра // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. – С. 14–29.
6. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: МГУ, 1970. – 488 с.
7. Седов, С.Н. Особенности таежного почвообразования и выветривания на постмагматически измененных основных породах: дисс. ...канд. с.-х. наук. / С.Н. Седов. – М., 1992. – 315 с.
8. Kammer A., Hagedorn F., Rigling A., Shevchenko I., Leifeld J., Guggenberger G., Goryacheva T., Moiseev P. Treeline shifts in the Ural Mountains affect soil organic matter dynamics. *Global Change Biology*. 2009. T. 15. no. 6. P. 1570-1583.
9. Djukic I., Zehetner F., Tatzber M., Gerzabek M.H. Soil organic-matter stocks and characteristics along an alpine elevation gradient. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2010. T. 173. no. 1. pp. 30-38.
10. Heckman K., Rasmussen C., Welty-Bernard A., Schwartz E. Geologic controls of soil carbon cycling and microbial dynamics in temperate conifer forests. *Chemical Geology*. 2009. T. 267. no. 1-2. pp. 12-23.
11. Prietzel J., Bachmann S. Changes in soil organic C and N stocks after forest transformation from Norway Spruce and Scots Pine into Douglas Fir, Douglas Fir/Spruce, or European beech stands at different sites in southern Germany. *Forest Ecology and Management*. 2012. T. 269. pp. 134-148.

ORGANIC MATTER COMPOSITION AND STOCK IN SOILS OVER DIFFERENT TYPES OF BEDROCK IN KARELIA

Bakhmet O.N., Assoc. Prof. FRI KarRC RAS, Ph.D. (Biol.)

obahmet@mail.ru

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the RAS, 11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

The research of the organic matter in the soils forming over bedrock of varying mineralogical and chemical composition (from poor granites to nutrient-rich marbles, dolomites and shungite schists) has been conducted. To single out the effect of the lithological factor on the stock and composition of organic matter in the soils, sample plots were chosen so that they would lie in the same climatic settings (mid-taiga subzone of Karelia) and in forests with the same tree species in composition and age (40-80-year-old pine stands). In the areas where the bedrock is rich in composition, but deeply metamorphosed and, hence, weathering-resistant (e.g., porphyrites with titanomagnetite ore, or volcanic breccia), it takes very long for the soil organic matter to be transformed. The bulk of it is stored at the surface as the forest floor; with only a minor part found in the mineral body of the soil. The humus forming under such conditions is mainly of the fulvate type, i.e. with the composition dominated by fulvic acids. Less resistant rocks (e.g., dolomites) offer better conditions for biotic activity, and the rate of soil organic matter transformation is higher, as evidenced by the humic/fulvic acid ratio (> 1). Organic matter in such soils migrates massively down the soil profile to be deposited in the mineral horizons. Thus, the studies have shown that the composition of organic matter and its deposition patterns are influenced not only by the mineralogical and chemical characteristics of the parent rock, but also, quite significantly, by its weathering resistance.

Keywords: soil, bedrock, organic matter, stock, composition, forest.

References

1. Samoylova E.M. *Pochvoobrazuyushchie porody* [Soil-forming rocks]. Moscow, MGU Publ., 1992. 176 p.
2. Morozova R.M. *Lesnye pochvy Karelii* [Forest soils in Karelia]. Leningrad, Nauka, 1991. 184 p.
3. Bakhmet O.N., Morozova R.M. *Pochvennyy pokrov* [Soil cover]. *Raznoobrazie bioty Karelii: usloviya formirovaniya, soobshchestva, vidy* [Biotic diversity of Karelia: conditions of formation, communities and species]. Petrozavodsk, KRC of RAS Publ., 2003. pp. 29-31.
4. *Geologiya Karelii* [Geology of Karelia]. Leningrad, Nauka, 1987. 231 p.
5. Systra Yu. Y. *Osnovnye cherty geologicheskogo stroeniya Karel'skogo regiona* [The main features of the geological structure of the Karelian region]. *Glubinnoe stroenie i seysmichnost' Karel'skogo regiona i ego obramleniya* [Deep structure and seismicity of the Karelian region and its surroundings]. Petrozavodsk, KRC of RAS Publ., 2004. pp. 14-29.
6. Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Guidance on chemical analysis of soils]. Moscow, MGU Publ., 1970. 488 p.
7. Sedov S.N. *Osobennosti taezhnogo pochvoobrazovaniya i vyvetrivaniya na postmagmaticheski izmenennykh osnovnykh porodakh* [Features of taiga soil formation and weathering on postmagmatic altered basic rocks]. *Diss. kand. biol. nauk* [PhD diss.], Moscow, 1992. 315 p.
8. Kammer A., Hagedorn F., Rigling A., Shevchenko I., Leifeld J., Guggenberger G., Goryacheva T., Moiseev P. Treeline shifts in the Ural Mountains affect soil organic matter dynamics. *Global Change Biology*. 2009. T. 15. no. 6. pp. 1570-1583.
9. Djukic I., Zehetner F., Tatzber M., Gerzabek M.H. Soil organic-matter stocks and characteristics along an alpine elevation gradient. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2010. T. 173. no. 1. pp. 30-38.
10. Heckman K., Rasmussen C., Welty-Bernard A., Schwartz E. Geologic controls of soil carbon cycling and microbial dynamics in temperate conifer forests. *Chemical Geology*. 2009. T. 267. no. 1-2. pp. 12-23.
11. Prietzel J., Bachmann S. Changes in soil organic C and N stocks after forest transformation from Norway Spruce and Scots Pine into Douglas Fir, Douglas Fir/Spruce, or European beech stands at different sites in southern Germany. *Forest Ecology and Management*. 2012. T. 269. pp. 134-148.