

УДК 631.472.51

## МОРФОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ ПОДСТИЛОК БОЛОТНЫХ ЕЛЬНИКОВ

© 2015 г. Т. Т. Ефремова, А. Ф. Аврова, С. П. Ефремов

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН*

*660036, Красноярск, Академгородок, 50/28*

E-mail: efr2@ksc.krasn.ru, avrova@ksc.krasn.ru, efr2@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 21.10.2014 г.

Впервые для заболоченных межгорных котловин Кузнецкого Алатау получено представление о морфолого-генетическом строении моховых подстилок долинно-приречных и приручейных ельников. В обобщенном виде подстилки зеленомошно-гипнового ельника можно охарактеризовать как среднемощные (9–17 см) с высокими запасами органической массы (77–99 т/га), отличающиеся нейтральными условиями среды (рН 6.8–7.0) и высокой зольностью (11–28 %). Выявлены типы подстилкообразования, обусловленные содержанием минеральных примесей в органогенном субстрате и степенью его дренированности. Выполнена дифференциация подгоризонтов подстилки, охарактеризованы визуальные диагностические признаки слоев ферментации и разработаны дополнительные (индексы) для указания их специфики. Выделены: торфяно- и торфянисто-ферментативный, гумифицированно-ферментативный и перегнойно-ферментативный слои. Торфяно- и торфянисто-ферментативные слои характеризуются содержанием плитовидных торфяных макроагрегатов грубого растительного состава, наличием обильного грибного мицелия и почвенных животных, первичных деструкторов – многоножек, брюхоногих моллюсков. Гумифицированно-ферментативные слои определяются по включению новообразованных аморфных гумусоподобных веществ, ореховато-зернистых структурных отдельностей гумусовой природы и почвенных животных-гумификаторов – энхитреид и дождевых червей. Перегнойно-ферментативные слои диагностируются сходными признаками с гумифицированно-ферментативными, но отличаются от них глинисто-гумусовым составом ореховато-зернистых отдельностей сизоватой побежалости. На основе диагностических признаков слоев ферментации разработана номенклатура и выполнена классификация моховых подстилок – торфяные, торфянистые, торфянистые редуцированные, перегнойно-торфянистые, перегнойно-торфянистые редуцированные. Методом дискриминантного анализа установлено, что физико-химические свойства, главным образом зольность и степень разложения, растительного субстрата объективно характеризуют своеобразие типов моховых подстилок, их подгоризонтов и слоев ферментации. Такие результаты подтверждают целесообразность использования для целей классификации морфолого-генетического строения подстилок, отражающего скорость круговорота веществ, парцеллярную структуру и продукционный потенциал лесных торфяных почв. Полученные материалы важны для прогноза трансформации лесных заболоченных котловин Кузнецкого Алатау в связи с глобальными и локальными флуктуациями климата.

**Ключевые слова:** *болотные ельники, морфолого-генетические типы моховых подстилок, типодиагностические подгоризонты.*

### ВВЕДЕНИЕ

Подстилка – один из главных компонентов лесных экосистем. Регулируя гидротермический и пищевой режим, интенсивность микробиологических и биохимических процессов, она обеспечивает продуцирующую

способность лесных почв. Мощность, запасы, фракционный состав и строение подстилки, отражающие скорость метаболизма растительных остатков в естественных условиях, положены в основу морфолого-генетических классификаций лесных подстилок, которые касаются преимущественно авто-

морфных лесов и практически не затрагивают леса гидроморфного ряда развития. В болотных лесах изучение скорости круговорота древесного и травяно-мохового ярусов в основном проводится в модельных полевых и лабораторных опытах (Титлянова и др., 1995; Domisch et al., 2000; Инишева, Дементьева, 2000; Инишева, Головацкая, 2002; Limpens, Berendse, 2003; Laiho et al., 2004; Миронычева-Токарева и др., 2007; Bragazza et al., 2007; Косых и др., 2009; Straková et al., 2011; Вишнякова и др., 2012). С морфолого-генетических позиций подробно изучены в последнее время подстилки болотных березняков Западной Сибири (Ефремова и др., 2009, 2010, 2013а–в). В сукцессионном ряду на градиенте крупнотравные – сфагново-мертвопокровные типы леса, приуроченные к различным гидрологическим условиям, выделено шесть типов подстилки: сильно- и средне-разложившаяся, корневищная, торфянистая, торфяная и оторфованная. Обоснована целесообразность изучения подстилок не по типам болотных березняков, а по группам типов леса. Установлены высокоинформативные кислотно-щелочные показатели – обменные (Ca+Mg) и общая потенциальная кислотность, различающие генетические ассоциации подстилок со 100%-й вероятностью.

Практически не исследованными остаются подстилки мшистых групп типов леса как болотных, так и суходольных местообитаний, не разработаны в полной мере вопросы их классификации, а также морфологические признаки дифференциации моховых подстилок на подгоризонты. Так, среди подстилок сосняков и ельников европейской части страны выделены торфянистая и торфяная подстилки (Кошельков, 1961). Однако их описание выполнено эскизно: верхние подгоризонты подстилок слагаются отмершими слоями сфагнома с включением элементов древесного опада, нижние – черной торфяной или торфоподобной массой. В базовой номенклатуре лесных подстилок А. П. Сапожникова (1984) типы торфянистая и торфяная подстилка сохраняются, отмечается торфоподобный характер их сложения и возможность расчленения на несколько генетически неоднородных подгоризонтов по цве-

ту, степени разложенности и связности. Однако предлагаемые морфологические признаки дифференциации подстилок слабо детализированы. Согласно классификации Л. Г. Богатырева (1990, 2004), в крайне гидроморфных условиях в результате процессов торфообразования (деструкции, агрегирования, минерализации, выщелачивания, брожения, обугливания, гумификации, гумусообразования, лигнификации) формируются торфянистые и торфяные подстилки. При этом автор признает, что морфологические параметры этих типов подстилок недостаточно изучены, но исключительно важны для разработки самостоятельной классификации (Богатырев и др., 2013). Утверждение справедливо как для лесов болотных, так и суходольных местообитаний.

Цель данной работы – разработать морфолого-генетическую классификацию моховых (по составу растительных остатков) подстилок, детализировать номенклатуру и индексацию подгоризонтов. В задачу исследований входило: охарактеризовать особенности строения моховых подстилок болотных ельников, объективно обосновать выделение типодиагностических подгоризонтов и критерии их дифференциации по сумме субстантивных признаков и физико-химических свойств, используя методы многомерного статистического анализа.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены в заторфованной долине р. Тунгужуль низкогорной части Кузнецкого Алатау. Торфяной массив мощностью 1.5–2.0 м и шириной около 2 км относится к долинно-приречному и приречному типу. Питается жесткими щелочными гидрокарбонатно-кальциево-магниевыми водами, а также надмерзлотной верховодкой (табл. 1).

В питании массива участвуют аллювиальные, делювиальные воды и эоловая пыль, дополнительно обогащающая зольными элементами. Торфяная залежь и минеральное днище постоянно заморожены, максимальная глубина оттаивания составляет в среднем 38–42 см и приходится на конец августа. В

**Таблица 1.** Химический состав гидрокарбонатных кальциево-магниевых речных и болотных вод, питающих торфяной массив Тунгужуль

Степень минерализации, мг/л	рН	С, мг/л	Катионы				Анионы		
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
<i>Река Тунгужуль в пределах болотного массива</i>									
393.2	7.95	0.8	<u>2.53</u>	<u>1.73</u>	<u>0.06</u>	<u>0.91</u>	<u>4.20</u>	<u>0.55</u>	<u>0.48</u>
			50.6	20.8	2.5	20.9	256.2	19.2	23.0
<i>Почвенно-грунтовые воды</i>									
315.1	7.5	3.1	<u>1.98</u>	<u>1.15</u>	<u>0.03</u>	<u>0.98</u>	<u>3.45</u>	<u>0.40</u>	<u>0.28</u>
			39.6	13.8	1.2	22.4	210.5	14.0	13.6
<i>Реликтовая внутризалежная мерзлота</i>									
100.2	7.3	0.4	<u>0.67</u>	<u>0.40</u>	<u>0.04</u>	<u>0.21</u>	<u>1.10</u>	<u>0.16</u>	<u>0.06</u>
			13.4	4.8	1.6	4.8	67.1	5.6	2.9

Примечание. В числителе – мг-экв/л, в знаменателе – мг/л.

результате мерзлотных явлений (морозобойное трещинообразование, процессы пучения) поверхность торфяника приобретает хорошо выраженный микрорельеф в виде приствольных моховых бугров, повышений и мочажин в межкروновых пространствах. Болотный массив пронизан наряду с основным руслом сетью водотоков второго и третьего

порядка, оказывающих дренирующее влияние на заболоченную территорию.

Торфяной массив занят ельником зеленомошно-гипновым Va класса бонитета. Степень проективного покрытия мхами 100 % (рис. 1).

Таксационные показатели древостоя приведены в табл. 2, согласно которой в ельни-



**Рис. 1.** Ельник зеленомошно-гипновый. Фото С. П. Ефремова.

**Таблица 2.** Таксационные показатели ельника зеленомошно-гипнового

Характеристика древостоя	Состав	Густота, экз./га	$\sum g$ , м <sup>2</sup> /га	$P$	$M$ , м <sup>3</sup> /га	Средние / амплитуда			Класс бонитета
						$D$ , см	$H$ , м	$A$ , лет	
Живая часть	10Еед.Л	1618	14.2	0.57	127	$\frac{10.6}{4-28}$	$\frac{12.5}{4-21}$	$\frac{207}{72-410}$	Va
Сухостой	10Еед.Л	890	9.0	0.35	59	$\frac{11.4}{4-26}$	$\frac{12.8}{3-20}$	$\frac{216}{61-440}$	Va

Примечание.  $\sum g$  – сумма площадей сечений,  $P$  – полнота насаждения,  $D$  – диаметр,  $H$  – высота,  $A$  – возраст,  $M$  – запас насаждения.

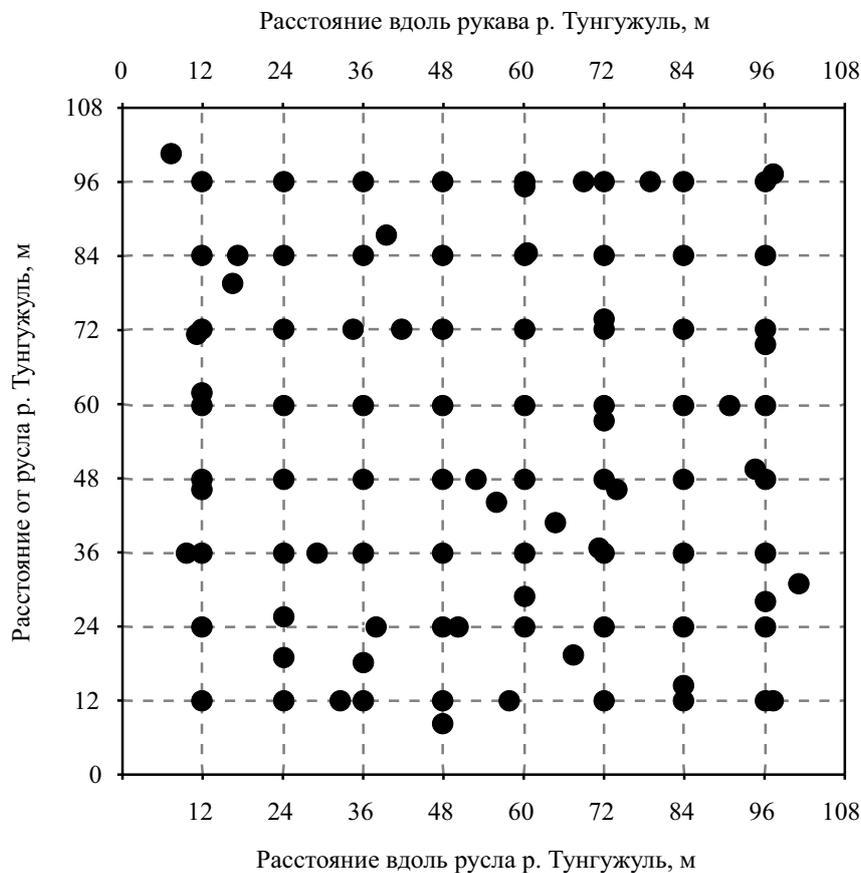
ке, если судить по числу стволов, полноте и запасам, высока доля сухостоя.

Пробная площадь (ПП) размером 1.2 га заложена в пределах межруслового пространства, образованного основным руслом р. Тунгжувль и ее правым рукавом. Гидрологический и температурный режимы участка характеризуются неоднородностью. Дренажность максимально выражена вдоль основного русла, слабее – возле рукава реки. Срединная часть ПП наиболее увлажнена.

Для отбора образцов подстилки проложили восемь параллельных линий в направле-

нии от русла к рукаву реки с шагом 12 м. Аналогичную разбивку провели в перпендикулярном направлении. Пересечение этих линий определило 64 точки отбора, дополнительно случайным образом выбрали еще 36. В итоге отобрали 100 образцов подстилки, равномерно расположенных по всей ПП (рис. 2).

За основу описания морфолого-генетического строения моховых подстилок в болотном ельнике взяты методические разработки Л. О. Карпачевского (1981), А. П. Сапожникова (1984) и Л. Г. Богатырева (1990, 1993),


**Рис. 2.** Схема отбора образцов подстилки.

дополненные визуальной оценкой биогенности субстрата: обилием грибного мицелия и наличием почвенных животных – деструкторов и гумификаторов, а также расसेвом органической массы на почвенных ситах различного размера. Во фракциях размером > 10–7, 7–5, 5–3 мм отдельно отбирали древесные и моховые остатки, а также различные типы структурных отдельностей – плитовидный (породный) и кубовидный (новообразованный).

Соотношение кубовидной и плитовидной структур отражает интенсивность совокупно протекающих биологических, химических и физико-химических процессов в ходе преобразования растительных остатков (Ефремова, 1992). Разделение измельченных фракций 3 – < 0.25 мм на дериваты и структурные отдельности не проводилось, так как они визуально трудноразличимы.

Зольность подстилки определяли сжиганием навески в муфельной печи при температуре 850 °С и оценивали по критериям, разработанным для торфов Н. И. Пьявченко (1963а), объемную массу находили методом режущего кольца (Агрохимические методы..., 1975). Степень разложения подстилки определяли объемно-весовым методом (Пьявченко, 1963б) с учетом содержания хорошо сохранившихся (оформленных) растительных остатков (Классификация почв..., 2000).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности гидрологического, температурного режимов, рельефа поверхности болота, оказывая влияние на структуру напочвенного мохового покрова, определяют пространственную мозаичность мощности, строения, запасов, глубины деструкции древесно-мохового опада подстилки. При отборе и описании образцов столкнулись с непростой задачей определения в профиле торфяной залежи границы подстилки по морфологическим признакам, которые названы наиболее надежным критерием диагностики ее нижних подгоризонтов (Розанов, 1983; Богатырев и др., 2004). Согласно Л. Г. Богатыреву, нижняя граница подстилки

определяется, во-первых, началом сплошного торфяного горизонта, во-вторых, глубиной, на которой сохраняются растительные остатки ныне существующего растительного покрова. Мы дополнили эти диагностические критерии. Наряду с инкрустированными в состав мохового очеса древесными остатками, преимущественно хвой, учитывали следующие морфолого-генетические особенности: мощность подстилок не более 20 см; рыхлое относительно нижележащего торфяного горизонта сложение; непрочную связь с торфяным субстратом (подстилка, как правило, легко отделяется); степень и тип агрегирования; неоднородную окраску преимущественно бурого цвета в сочетании с черными, сизоватыми, серыми, желтоватыми, белесыми вкраплениями; выраженную мицелярную и корневую связность; высокую насыщенность живыми, главным образом физиологически активными корнями; обилие мицелия преимущественно плесневых грибов; присутствие почвенной мезофауны.

Согласно этим признакам в болотном ельнике выполнена дифференциация подстилки на листовую подгоризонт и ферментативный, который также подразделен на слои: торфяно-торфянисто-ферментативный, гумифицированно-ферментативный и перегнойно-ферментативный. В соответствии с этой градацией выделено пять типов моховой подстилки, названных нами торфяной, торфянистой, торфянистой редуцированной, перегнойно-торфянистой, перегнойно-торфянистой редуцированной. В обобщенном виде подстилки зеленомошно-гипнового ельника можно охарактеризовать как среднеспособные (9–17 см) с высокими запасами органической массы (77–99 т/га), отличающиеся нейтральными условиями среды рН 6.8–7.0 и высокой зольностью 11–28 %.

Выявленные различия типов подстилкообразования определяются следующими факторами: зольностью органического субстрата вследствие обогащенности минеральными примесями в период весеннего половодья и степенью дренированности местобитания, обусловленными удаленностью от берегового вала и глубиной вреза речной сети (рис. 3).

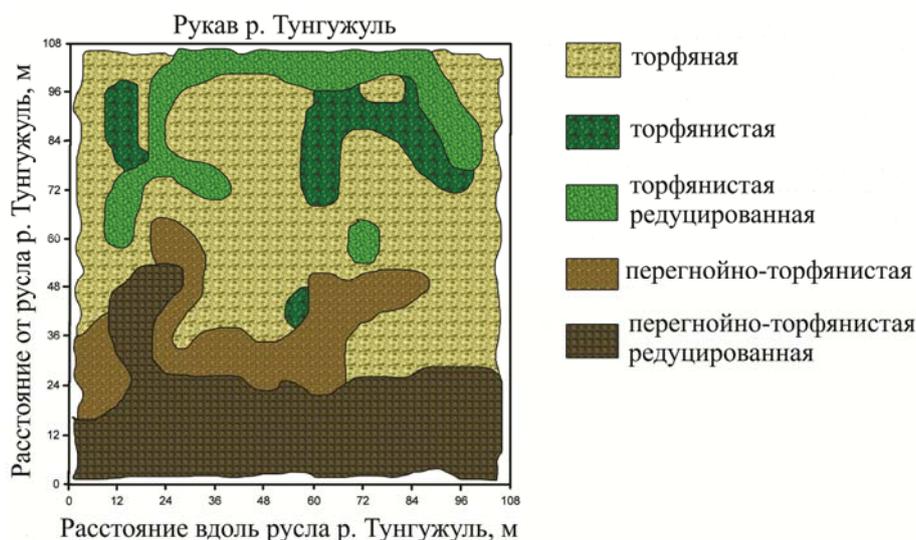


Рис. 3. Пространственное распределение типов подстилок в пределах ПП.

Приводим морфологическое описание моховых подстилок болотного ельника.

**Торфяная подстилка** формируется преимущественно монодоминантными синузиями томентгипнума блестящего (*Tomenthypnum nitens* (Hedw.) Loeske), а также смешанными сообществами гилокомиума блестящего (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Br. Sch. et Ymb.) с включением аулакомниума болотного (*Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr.) и вздутого (*A. turgidum* (Wahlenb.) Schwaegr.). Она занимает около 43 % междуруслового пространства, в основном срединную его часть. Подстилка характеризуется следующим морфолого-генетическим строением: L–F<sub>p</sub>, где L – листовой подгоризонт, F<sub>p</sub> – торфяно-ферментативный подгоризонт, p – торфяные агрегаты плитовидного типа.

**Листовой подгоризонт (L)** рыхлый, губчатого сложения. Связность слабая ризоидная. Слагается в основном моховым желто-светло-бурым очесом, не затронутым процессами разложения (рис. 4, А). Доля древесного опада (шишки, хвоя, веточки, древесина, кора) незначительная (6 %). Растительные компоненты слабо мацерированы, полностью сохранили морфологический облик, механически прочные. Единичны тонкие живые корни. Обильный ажурный соломенно-желтый и ватообразный белесовато-пепельный грибной мицелий. Подгоризонт характеризуется низкой плотностью (0.024 г/см<sup>3</sup>), слабой степенью разложения (12 %) и нормальной зольностью (8 %) (рис. 4, а). Реакция среды близ-

кая к нейтральной рН 6.8. Запасы органической массы составляют 2.0 кг/м<sup>2</sup>. Переход к следующему подгоризонту ясно выражен по степени деструкции органических остатков.

**Торфяно-ферментативный подгоризонт (F<sub>p</sub>)** губчато-горизонтально-слоистого сложения бурой и темно-бурой окраски. Связность слабая мицелярно-корневая. Доминируют мацерированные стебли мхов, частично утратившие анатомическую структуру тканей. Древесные компоненты немногочисленны, сильно размягчены, механически непрочные. Много (26 %) торфяных макроагрегатов плитовидного типа.

Распыленная часть (< 0.25 мм) включает небольшое количество сильно диспергированных остатков мхов, единичные комочки гумусовой плазмы. Присутствуют реликтовые спирально-плоскостные мелкие раковины пресноводных моллюсков. Растительные фрагменты обильно пронизаны ватообразным белесым и ажурным желтоватым мицелием, в меньшей мере – точечной белесоватой плесенью. Много тонких живых корней. Обитают почвенные животные, так называемые первичные деструкторы, многоножки и брюхоногие моллюски.

Торфяно-ферментативный подгоризонт по сравнению с листовым характеризуется более высокими (в 1.8 раза) степенью разложения и зольностью. Значительно увеличивается плотность и как следствие – запасы органической массы (до 5.7 кг/м<sup>2</sup>). Величина рН 7.1.

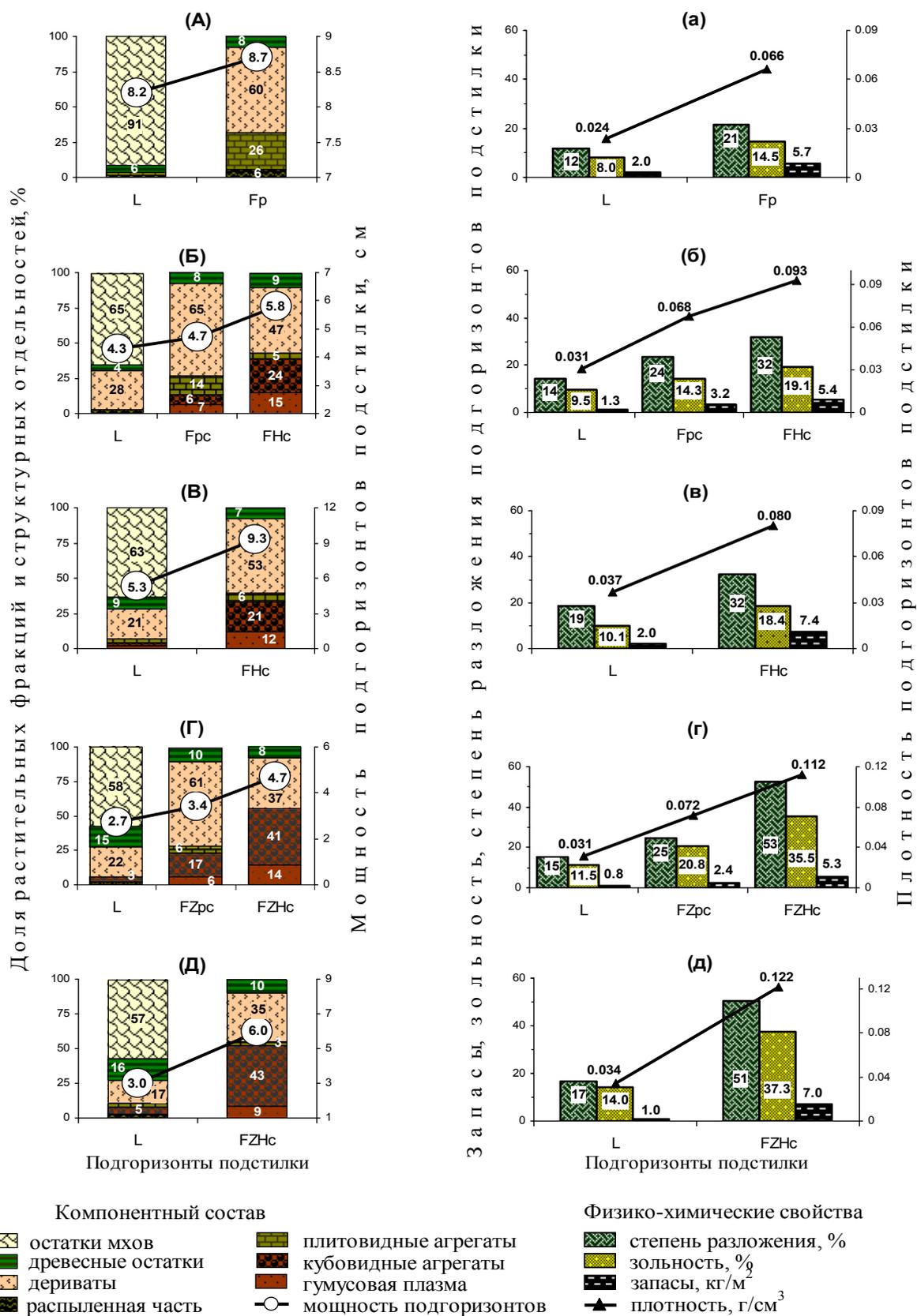


Рис. 4. Компонентный состав и физико-химические свойства подгоризонтов морфолого-генетических типов подстилок болотных ельников. Индексы подгоризонтов см. в тексте.

**Торфянистая подстилка** формируется в основном под сообществами томентгипнума блестящего с включением аулакомниумов вздутого и болотного. Она встречается преимущественно на расстоянии 12–36 м от рукава р. Тунгжувль и занимает около 12 % ПП. Подстилка характеризуется следующим морфолого-генетическим строением  $L-F_{pc}-FH_c$ , где  $F_{pc}$  и  $FH_c$  – торфянисто-ферментативный и гумифицированно-ферментативный подгоризонты соответственно, с – гумусовые агрегаты кубовидного типа.

**Листовой подгоризонт (L).** Цвет – желто-светло-бурый, сложение рыхлое, губчатое. Слабая ризоидная связность в вертикальной плоскости. Слагается преимущественно мховым очесом, а также дериватами, т. е. измельченными в разной степени остатками мхов (рис. 4, Б). Древесный опад – кора, шишки, веточки, хвоя – хорошо сохранил анатомическое строение и составляет не более 5 %. Встречаются реликтовые спирально-плоскостные мелкие раковины пресноводных моллюсков. Единичны тонкие живые корни. В нижней части подгоризонта – ватобразный грибной мицелий белесоватого цвета. Реакция среды подгоризонта близка к нейтральной (рН 6.7), характеризуется нормальной зольностью, слабой степенью разложения, низкой объемной массой и запасами органической массы (рис. 4, б). Переход к следующему подгоризонту ясно определяется по степени разложения растительных остатков.

**Торфянисто-ферментативный подгоризонт ( $F_{pc}$ )** различных оттенков бурого цвета. Сложение горизонтально-слоистое. Связность слабая, мицелярно-корневая. Слагается главным образом стеблями мхов, которые сильно мацерированы, измельчены и частично утратили анатомическую структуру тканей. Древесные остатки, доля которых 8 %, темно-бурого цвета, сильно размягчены, механически непрочны, но хорошо распознаваемы. Остатки мхов в небольшой степени инкрустированы сгустками аморфной гумусовой плазмы. Присутствуют структурные отдельности (20 % от массы горизонта), в составе которых доминируют крупные торфяные агрегаты >10–7 мм плитовидного ти-

па. В меньшей мере представлены ореховатые и зернистые структурные отдельности 7–3 мм, сложенные гумусовой плазмой с включениями сильно измельченных растительных остатков. Встречаются реликтовые спирально-плоскостные мелкие раковины пресноводных моллюсков. Подгоризонт насыщен тонкими живыми корнями. Обильно пронизан ватообразным белесым и ажурным желтоватым грибным мицелием, реже – точечной белесоватой плесенью. Обитают многоножки, брюхоногие моллюски, личинки насекомых, редкие энхитреиды. В подгоризонте  $F_{pc}$  по сравнению с L повышаются до уровня средней степени разложения (24 %), в 1.5–2 раза зольность и объемная масса, а также запасы органической массы. Реакция среды нейтральная (рН 7.1). Переход к следующему подгоризонту ясный по степени преобразования растительных остатков.

**Гумифицированно-ферментативный подгоризонт ( $FH_c$ )** темно-бурого цвета, рыхлого сложения, связность сильная корневая. Растительные компоненты – дериваты мхов и древесных остатков (около 60 % массы) – сильно мацерированы, измельчены, утратили морфологический облик и большей частью клеточную структуру тканей. Растительные фрагменты инкрустированы аморфной гумусовой плазмой. Выражена оструктуренность органического субстрата (около 30 %). Преобладают отдельности кубовидного типа гумусовой природы, среди них – зернистые элементы, сформированные более мелкими, склеенными между собой агрегатами гумусовой плазмы, с вкраплениями неопределяемых растительных остатков. Агрегаты приурочены, как правило, к тонким живым корням, образуя своеобразные гроздья. Имеются включения реликтовых спирально-плоскостных мелких раковин пресноводных моллюсков. Встречается ярко-белая плесень в виде обособленных гнезд. Довольно много почвенных животных, в основном энхитреид, меньше дождевых червей, брюхоногих моллюсков, еще меньше крупных личинок двукрылых насекомых.

Физико-химические показатели подтверждают более глубокую стадию трансформа-

ции растительных остатков подгоризонта  $FH_c$ . Он значительно более уплотнен, количество золы превышает конституционную (15 %), заметно возрастает степень разложения растительных остатков и почти в 2 раза повышаются их запасы.

**Торфянистая редуцированная подстилка** формируется вдоль рукава р. Тунгжуль преимущественно под смешанными сообществами из томентгипнума блестящего и аулакомниума вздутого и занимает около 10 % ПП. Подстилка характеризуется следующим морфолого-генетическим строением:  $L-FH_c$ .

**Листовой подгоризонт (L)** светло-бурого цвета. Сложение губчатое. Связность слабая, ризоидно-мицелярная. Доминируют моховой очес и дериваты, образуя 84 % массы подгоризонта (рис. 4, В). Хорошо сохранившиеся древесные компоненты бурой окраски, размягчены и составляют 9 %. Единичны довольно крупные торфяные агрегаты плитовидной формы и зернистые отдельности. Встречаются реликтовые спирально-плоскостные мелкие раковины пресноводных моллюсков. Редки сосущие корни. Подгоризонт обильно пронизан ватообразным белесоватым, точечным ярко-белым и ажурным желтоватым грибным мицелием. Встречаются многоножки, брюхоногие моллюски и личинки двукрылых насекомых. Переход к нижележащему слою четко прослеживается по степени деструкции растительного материала. Подгоризонт характеризуется нормальной зольностью, слабой степенью разложения и низкой плотностью ( $0.037 \text{ г/см}^3$ ). Запасы органической массы не превышают  $2 \text{ кг/м}^2$  (рис. 4, в).

**Гумифицированно-ферментативный подгоризонт ( $FH_c$ )** темно-бурого цвета. Сложение рыхлое, связность сильная корневая. В составе доминируют измельченные остатки (дериваты) стеблей мхов и древесных компонентов. Они сильно трансформированы: нарушены их морфологический облик и клеточная структура тканей. Видовая принадлежность определяется с трудом, при увеличении в 2 раза. Среди растительных остатков небольшая доля равномерно распределенной аморфной гумусовой плазмы (12 %). Агрегированность субстрата довольно высокая

(28 %) и сосредоточена главным образом в зоне ризосферы. Явно преобладают зернистые элементы, которые состоят из склеенных между собой мелких агрегатов гумусовой природы. Немногочисленные крупные структурные отдельности представлены торфяными агрегатами плитовидного типа. Встречаются реликтовые спирально-плоскостные мелкие раковины пресноводных моллюсков. Подгоризонт насыщен тонкими живыми корнями. Мицелий плесневых грибов (белесоватый ватообразный и белый точечный) единично встречается на поверхности древесных остатков. Много энхитреид, дождевых червей. По сравнению с листовым подгоризонтом отличается высокой зольностью (18.4 %), повышенной в 2 раза и более плотностью сложения, увеличением до среднего уровня степени разложения органического субстрата и повышением его запасов почти в 4 раза.

**Перегноино-торфянистая (оминерализованная) подстилка** формируется в основном под синузиями аулакомниума вздутого в 20–48 м от русла р. Тунгжуль и занимает около 11 % ПП. Характеризуется следующими морфолого-генетическим строением –  $L-FZ_{pc}-FZH_c$ , где  $FZ_{pc}$  и  $FZH_c$  – высокозольно-ферментативный и перегноино-ферментативный подгоризонты.

**Листовой подгоризонт (L)** неоднородной окраски, доминирует желто-светло-бурая. Сложение губчатое. Связность слабая, ризоидно-мицелярная. Основная масса подгоризонта (80 %) слагается моховым очесом и дериватами – измельченными в разной мере, мацерированными растительными остатками (рис. 4, Г). Древесный опад (15 %) бурого цвета, слабо мацерирован. Единичны рыхлые светло-бурые структуры плитовидного типа, сложенные обломками мхов, изредка встречаются прочные сизовато-бурые ореховатые отдельности творожистого сложения гумусовой природы. В нижней части подгоризонта обильна белесоватая ватообразная плесень, меньше ярко-белой в виде гнезд. Единично встречаются многоножки, брюхоногие моллюски. Переход к нижележащему подгоризонту ясный, хорошо определяется по степени деструкции растительного мате-

риала, его цвету и плотности. Подгоризонт характеризуется нормальной зольностью, малой плотностью ( $0.031 \text{ г/см}^3$ ), слабой степенью разложения и чрезвычайно низкими запасами растительного материала (рис. 4, г).

*Высокозольно-ферментативный подгоризонт* ( $FZ_{pc}$ ) неоднородной окраски, преобладают различные оттенки бурого цвета с сизоватым налетом. Сложение рыхлое. Связность корневая. Состоит в основном из остатков мхов бурого цвета, которые сильно измельчены и мацерированы. Анатомическое строение листьев полностью нарушено, стеблей – частично. Древесные остатки (10 %) темно-бурого цвета, сильно размягчены, механически непрочные. Структурных отдельностей 23 %. Среди них доминируют темно-буро-сизоватые преимущественно зернистые структурные элементы из склеенных более мелких глинисто-гумусовых агрегатов и нераспознаваемых растительных остатков. Встречаются бурые с серо-сизовой побелостью крупные агрегаты плитовидного типа из обломков сильно разложившихся растительных остатков, механически непрочные. Темно-сизо-бурая, почти черная распыленная часть представлена гумифицированной органикой. Много реликтовых спирально-плоскостных мелких раковин пресноводных моллюсков. Подгоризонт обильно насыщен тонкими живыми корнями. Присутствует ярко-белая плесень в виде гнезд или небольших включений, а также белесый ватообразный и желтоватый ажурный мицелий. Обитают многоножки, личинки насекомых, единично – брюхоногие моллюски. Высокозольный подгоризонт (20.8 %) относительно плотного сложения ( $0.072 \text{ г/см}^3$ ) характеризуется средней степенью разложения и довольно низкими запасами ( $2.4 \text{ кг/м}^2$ ). Переход к нижележащему подгоризонту ясный по цвету, степени разложения растительных остатков и плотности.

*Перегнойно-ферментативный подгоризонт* ( $FZH_c$ ) сизовато-темно-бурого, почти черного цвета во влажном состоянии. Сложение рыхлое. Связность корневая. Растительные компоненты темно-бурые, сильно измельченные, большей частью утратившие анатомическое строение тканей, составляют

около 50 % массы. Другая половина представлена в основном темно-бурыми, почти черными с сизоватым налетом гумифицированными продуктами. Большая часть – в виде крупнозернистых и зернистых структурных элементов, состоящих главным образом из мелких механически прочных агрегатов глинисто-гумусовой природы. Пылеватая часть в основном представлена аморфной гумусовой плазмой. Подгоризонт насыщен тонкими живыми корнями – сосредоточением зернистых и мелкозернистых конкреций. Много энхитреид, дождевых червей. От вышележащего подгоризонта отличается повышенной зольностью (35.5 %), объемной массой, сильно разложившимся органическим веществом (53 %) и его относительно высокими запасами ( $5.3 \text{ кг/м}^2$ ).

*Перегнойно-торфянистая (оминерализованная) редуцированная подстилка* формируется в основном под монодоминантными синузиями дрепанокладуса крючковатого (*Drepanocladus uncinatus* (Hedw.) с фрагментарным включением гелодиума Бландова (*Helodium Blandowii* (Web. et Mohr) Warnst.). Она залегает вдоль русла р. Тунгжувль в 30 м от берегового вала и занимает 24 % ПП. Подстилка характеризуется следующим морфолого-генетическим строением: L-FZH<sub>c</sub>.

*Листовой подгоризонт* (L) серовато-светло-бурый, губчатого сложения. Слабо связан ризоидами и грибным мицелием. Основная часть слагается моховым очесом, почти в равной мере дериватами и древесным опадом, которые «припудрены» сероватым тонкодисперсным минеральным наилком (рис. 4, Д). Анатомическое строение растительных остатков нарушено слабо. Единичны непрочные серовато-бурые крупные конкреции плитовидного типа, сложенные остатками стеблей мхов. В небольшом количестве встречаются прочные серовато-бурые зернистые структурные элементы гумусовой природы. Единичны тонкие живые корни. Белесоватый ватообразный, реже белый точечный грибной мицелий отмечен в нижней части подгоризонта. Обитают многоножки, личинки насекомых. Подгоризонт характеризуется нормальной зольностью, низкой плотностью ( $0.034 \text{ г/см}^3$ ), слабой степенью разложения

растительного материала и его невысокими запасами –  $1 \text{ кг/м}^2$  (рис. 4, д). Переход к нижележащему подгоризонту четко выражен по цвету, степени деструкции растительного материала и плотности сложения.

*Перегноино-ферментативный подгоризонт* (FZH<sub>c</sub>) неоднородной окраски, доминирует серовато-темно-бурая. Сизовато-серый цвет имеют включения минерального наилка. Дериваты (остатки мхов) и древесные компоненты сильно диспергированы, размягчены, почти полностью утратили анатомическое строение и распознаются только при увеличении. Гумифицированные органические компоненты, большая часть которых агрегирована, составляют приблизительно половину массы подгоризонта. Это прочные сизовато-бурые ореховатые и зернистые элементы творожистой структуры из склеенных между собой мелких глинисто-гумусовых отдельностей. Единичны непрочные плитовидные агрегаты из растительных остатков, цементированных органо-минеральными коллоидами. Пылеватая часть представлена главным образом гумусовой плазмой. Весь подгоризонт пронизан тонкими живыми корнями, в зоне которых сосредоточены зернистые агрегаты в виде гроздьев. На древесных остатках в небольшом количестве мицелий плесневых грибов (белый ватообразный, белый точечный, желтоватый ажурный). Много энхитрид, встречаются дождевые черви. Подгоризонт характеризуется самыми высокими зольностью (37.3 %), плотностью ( $0.122 \text{ г/см}^3$ ) и наибольшими запасами сильно разложившегося органического вещества ( $7 \text{ кг/м}^2$ ).

Таким образом, представленные материалы показывают, что во всех типах подстилок по мере дифференциации подгоризонтов с глубиной возрастают степень разложения, зольность, плотность сложения органического субстрата, степень и качество его агрегирования. Чтобы выявить физико-химические показатели, которые наилучшим образом идентифицируют подгоризонты, выполнили дискриминантный анализ.

Так как все показатели, кроме мощности, значимо (на уровне 0.05) коррелируют между собой, воспользовались пошаговым методом,

в котором предикторы вводятся в модель последовательно в зависимости от их способности значимо различать группы. На каждом шаге просматривают все переменные и находят ту из них, которая вносит наибольший вклад в различие между совокупностями.

Согласно табл. 3, итоговое предсказание классификации подгоризонтов составляет 92–100 %.

О хорошей дискриминации свидетельствуют значения лямбды Уилкса, приближающиеся к нулю, и очень высокий уровень значимости  $F$ -критерия ( $p < 0.001$ ). Наибольший вклад в дискриминацию подгоризонтов подстилок вносят зольность и, как правило, степень разложения. Величина рН и в большинстве случаев мощность исключаются из модели или являются незначимыми признаками в разделении подгоризонтов.

Меру близости морфолого-генетических типов подстилок ельника зеленомошно-гипнового оценили методом многомерного шкалирования, используя физико-химические показатели. Многомерное шкалирование, размещая объекты в исходном пространстве признаков заданной размерности, адекватно воспроизводит наблюдаемые расстояния между ними и позволяет упорядочить по степени внутреннего сходства.

Ясность полученной конфигурации точек в многомерном пространстве демонстрирует рис. 5, с одной стороны характеризующий четкое различие между выделенными типами подстилок, а с другой – подчеркивающий определенную близость торфянистой и торфянистой редуцированной, а также перегноино-торфянистой и перегноино-торфянистой редуцированной подстилок.

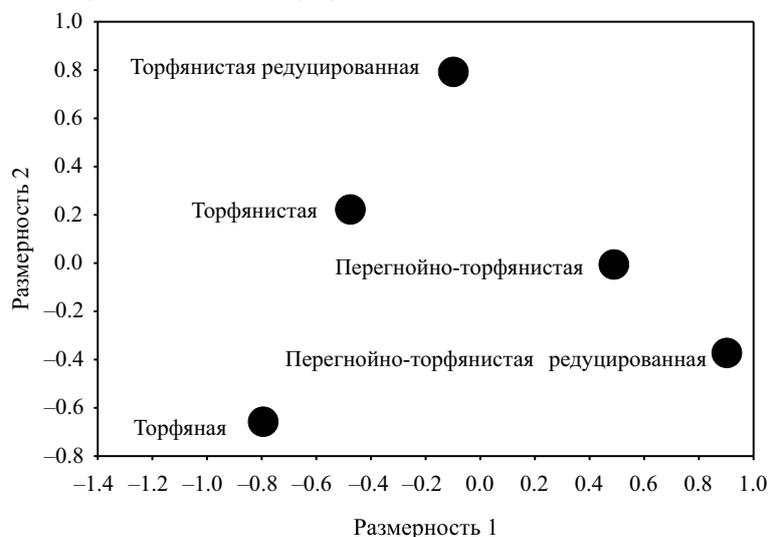
О высоком качестве подгонки модели (отображения) свидетельствует величина критерия согласия – стресса, равная  $< 0.0001$ . Как известно, чем меньше значение стресса, тем лучше матрица исходных расстояний согласуется с матрицей результирующих расстояний.

Таким образом, строение подстилок, физико-химические свойства и фракционный состав подстилок болотных ельников, объективно характеризуя глубину преобразования органического субстрата в связи с факторами

**Таблица 3.** Итоги классификации подгоризонтов в пределах типа подстилки по физико-химическим показателям методом пошагового дискриминантного анализа

Переменные модели и их значимость		Оценка модели в целом	Степень различия подгоризонтов подстилок		
Показатель	<i>p</i> -уровень		Индексы	<i>p</i> -уровень	Попадание, %
<i>Торфяная подстилка</i>					
Степень разложения	0.001	Лямбда Уилкса ( $\lambda$ ) 0.187, <i>F</i> -критерий 49.8, <i>p</i> -уровень < 0.001	L	<0.001	100
Зольность	0.001		F <sub>р</sub>	<0.001	92
Мощность	Исключен		Итоговое	предсказание	классификации
Плотность	>>		96 %		
pH	>>				
<i>Торфянистая подстилка</i>					
Степень разложения	0.011	Лямбда Уилкса ( $\lambda$ ) 0.121, <i>F</i> -критерий 12.6, <i>p</i> -уровень < 0.001	L	<0.001	100
Зольность	0.066		F <sub>рс</sub>	<0.001	100
Плотность	0.038		FH <sub>с</sub>	<0.001	91
pH	0,112		Итоговое	предсказание	классификации
Мощность	Исключен		97 %		
<i>Торфянистая редуцированная подстилки</i>					
Зольность	0.001	Лямбда Уилкса ( $\lambda$ ) 0.140, <i>F</i> -критерий 36.9, <i>p</i> -уровень < 0.001	L	<0.001	100
Степень разложения	0.001		FH <sub>с</sub>	<0.001	100
Мощность	0.017		Итоговое	предсказание	классификации
Плотность	Исключен		100 %		
pH	>>				
<i>Перегнойно-торфянистая подстилка</i>					
Степень разложения	<0.001	Лямбда Уилкса ( $\lambda$ ) 0.060, <i>F</i> -критерий 18.4, <i>p</i> -уровень < 0.001	L	<0.001	100
Зольность	0.001		FZ <sub>рс</sub>	<0.001	100
Плотность	0.006		FZH <sub>с</sub>	<0.001	100
pH	0.311		Итоговое	предсказание	классификации
Мощность	Исключен		100 %		
<i>Перегнойно-торфянистая редуцированная подстилка</i>					
Степень разложения	0.175	Лямбда Уилкса ( $\lambda$ ) 0.284, <i>F</i> -критерий 20.8, <i>p</i> -уровень < 0.001	L	<0.001	100
Зольность	0.014		FZH <sub>с</sub>	<0.001	84
Плотность	0.067		Итоговое	предсказание	классификации
Мощность	0.096		92 %		
pH	Исключен				

Примечание. L – листовый подгоризонт, F – ферментативный подгоризонт, FH – гумифицированно-ферментативный, FZ – высокозольно-ферментативный, FZH – перегнойно-ферментативный, р – агрегаты плитовидного типа торфяные, с – агрегаты кубовидного типа гумусовые.


**Рис. 5.** Размещение на плоскости морфолого-генетических типов подстилок в многомерном пространстве признаков.

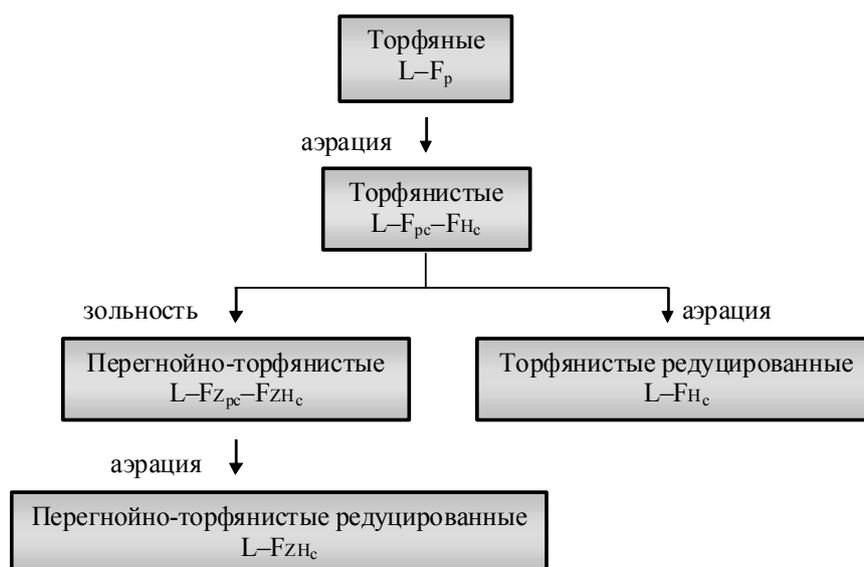


Рис. 6. Схема и факторы формирования различных типов подстилок в ельнике зеленомошно-гипновом.

среды (режимом увлажнения, аэрации, зольностью), позволяет расположить выделенные морфолого-генетические типы подстилок в следующий сукцессионный ряд (рис. 6).

## ВЫВОДЫ

1. Впервые в долинно-приречных и приречных ельниках заболоченных котловин низкогорий Кузнецкого Алатау выявлены факторы различных типов подстилкообразования – режим аэрации местообитаний и степень обогащенности растительного опада минеральными компонентами (зольность органического субстрата).

2. Разработана номенклатура и выполнена морфолого-генетическая классификация подстилок болотных ельников – торфяные, торфянистые, торфянистые редуцированные, перегноино-торфянистые, перегноино-торфянистые редуцированные на базе предложенной диагностической дифференциации подгоризонта ферментации подстилок: торфяно- и торфянисто-ферментативный, гумифицированно-ферментативный и перегноино-ферментативный.

Торфяно- и торфянисто-ферментативные слои характеризуются содержанием плитовидных торфяных макроагрегатов грубого растительного состава, наличием обильного грибного мицелия и почвенных животных, первичных деструкторов – многоножек, брюхоногих моллюсков. Гумифицированно-

ферментативные слои определяются по включению новообразованных аморфных гумусоподобных веществ, ореховато-зернистых структурных отдельностей гумусовой природы и почвенных животных-гумификаторов – энхитреид и дождевых червей. Перегноино-ферментативные слои отличаются от гумифицированно-ферментативных глинисто-гумусовым составом ореховато-зернистых отдельностей сизовой побежалости и более высокой зольностью.

3. В моховых подстилках болотных ельников методом дискриминантного анализа выявлены достоверные физико-химические критерии (степень разложения и зольность) подгоризонтов, объективно характеризующие морфологическое строение подстилок. Доказана обособленность выделенных морфолого-генетических типов моховых подстилок методом многомерного шкалирования.

4. Полученные результаты создают научную базу для прогноза глубины трансформации лесных торфяных экосистем в межгорных заболоченных котловинах Кузнецкого Алатау в связи с глобальными и локальными флуктуациями климата.

*Авторы выражают искреннюю признательность сотруднику лаборатории лесной фитоценологии Н. В. Мелентьевой за участие в сборе полевого материала и выполнение химического анализа подстилок.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
- Богатырев Л. Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990. № 3. С. 118–127.
- Богатырев Л. Г., Щенина Т. Г., Дуженко В. С. Формализованные критерии для классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1993. № 12. С. 57–64.
- Богатырев Л. Г., Демин В. В., Матышак Г. В., Сапожникова В. А. О некоторых теоретических аспектах исследования лесных подстилок // Лесоведение. 2004. № 4. С. 17–29.
- Богатырев Л. Г., Малинина М. С., Телесникова В. М., Погожева Е. А., Самсонова В. П., Акишина М. М. О генетических и классификационных вопросах в области лесных подстилок / Разнообразие лесных почв и биоразнообразие лесов: мат-лы V Всерос. с междунар. участ. науч. конф. по лесн. почвоведению. Пущино: ИФХиБПП РАН, 2013. С. 29–31.
- Вишнякова Е. К., Миронычева-Токарева Н. П., Косых Н. П. Динамика разложения растений на болотах Васюганья // Вестн. ТГПУ. 2012. № 7(122). С. 87–93.
- Ефремова Т. Т. Структурообразование в торфяных почвах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. 191 с.
- Ефремова Т. Т., Аврова А. Ф., Ефремов С. П., Мелентьева Н. В. Стадийность трансформации органического вещества подстилок болотных березняков // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1203–1212.
- Ефремова Т. Т., Ефремов С. П., Аврова А. Ф. О сопряженности морфогенетических типов подстилок с их свойствами в болотных березняках // Почвоведение. 2010. № 8. С. 920–928.
- Ефремова Т. Т., Секретенко О. П., Аврова А. Ф., Ефремов С. П. Геостатистический анализ пространственной изменчивости запасов зольных веществ в подстилке болотных березняков Западной Сибири // Почвоведение. 2013а. № 1. С. 56–66.
- Ефремова Т. Т., Аврова А. Ф., Ефремов С. П. Формализованный анализ сопряженности морфогенетических типов и гумусного состояния подстилок болотных березняков // Сиб. экол. журн. 2013б. № 5. С. 751–760.
- Ефремова Т. Т., Секретенко О. П., Аврова А. Ф., Ефремов С. П. Пространственная структура кислотных свойств подстилки в сукцессионном ряду болотных березняков // Изв. РАН. Сер. биол. 2013в. № 5. С. 1–13.
- Инишева Л. И., Дементьева Т. В. Скорость минерализации органического вещества торфов // Почвоведение. 2000. № 2. С. 196–203.
- Инишева Л. И., Головацкая Е. А. Элементы углеродного баланса олиготрофных болот // Экология. 2002. № 4. С. 261–266.
- Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 264 с.
- Классификация почв России. М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева РАСХН, 2000. 235 с.
- Косых Н. П., Миронычева-Токарева Н. П., Паршина Е. К. Фитомасса, продукция и разложение растительных остатков в олиготрофных болотах средней тайги Западной Сибири // Вестн. ТГПУ. 2009. № 3. С. 63–69.
- Кошельков С. П. О формировании и подразделении подстилок в хвойных южно-таежных лесах // Почвоведение. 1961. № 10. С. 19–29.
- Миронычева-Токарева Н. П., Косых Н. П., Паршина Е. К. Компоненты углеродного баланса на болотах средней тайги и лесотундры Западной Сибири // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. С. 117–119.
- Пьявченко Н. И. Лесное болотоведение. М.: Изд-во АН СССР, 1963а. 192 с.
- Пьявченко Н. И. Степень разложения торфа и методы ее определения. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1963б. 56 с.
- Розанов Б. Г. Морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1983. 319 с.
- Сапожников А. П. Лесная подстилка – номенклатура, классификация и индексация // Почвоведение. 1984. № 5. С. 96–105.
- Титлянова А. А., Косых Н. П., Миронычева-Токарева Н. П. Биологическая продуктив-

ность болот Южного Васюганья // Чтения памяти Ю. А. Львова. Томск, 1995. С. 59–63.

*Bragazza L., Siffi C., Iacumin P., Gerdol R.* Mass loss and nutrient release during litter decay in peatland: The role of microbial adaptability to litter chemistry // *Soil Biol. Biochem.* 2007. V. 39. P. 257–267.

*Domisch T., Finer L., Laiho R., Karsisto M., Laine J.* Decomposition of Scots pine litter and the rate of released carbon in pristine and drained pine mires // *Soil Biol. Biochem.* 2000. V. 32. P. 1571–1580.

*Laiho R., Laine J., Trettin C. C., Finér L.* Scots pine litter decomposition along drainage suc-

cession and soil nutrient gradients in peatland forests, and the effects of inter-annual weather variation // *Soil Biol. Biochem.* 2004. V. 36. P. 1095–1109.

*Limpens Ju., Berendse F.* How litter quality affects mass loss and N loss from decomposing *Sphagnum* // *Oikos*. 2003. V. 103. N. 3. P. 537–547.

*Strakova P., Laiho R., Peltoniemi K., Fritze H., Niemi R. M., Heiskanen I., Freeman C., Toberman H.* Litter type affects the activity of aerobic decomposers in a boreal peatland more than site nutrient and water level regimes // *Biogeosciences Discussions*. 2011. V. 8. N. 1. P. 1879–1916.

## Morphogenetic Litter Types of Bog Spruce Forests

T. T. Efremova, A. F. Avrova, S. P. Efremov

*V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

E-mail: efr2@ksc.krasn.ru, avrova@ksc.krasn.ru, efr2@ksc.krasn.ru

For the first time the representation of moss litter morphogenetic structure of valley-riverside and streamside spruce forests was determined for the wetland intermountain area of Kuznetsk Alatau. In general, the litter of (green moss)-hypnum spruce forest can be characterized as medium thickness (9–17 cm) with high storage of organic matter (77–99 t/ha), which differs in neutral environmental conditions pH 6.8–7.0 and high percentage of ash 11–28 %. Formation litter types were identified, which depend on the content of mineral inclusions in organogenic substrate and the degree of its drainage. The differentiation of litter subhorizons was performed, visual diagnostic indicators of fermentative layers were characterized, and additional (indexes) to indicate their specificity were developed. Peat- and peaty-fermentative, humified-fermentative and (black mold humus)-fermentative layers were selected. Peat- and peaty-fermentative layers are characterized by content of platy peat macroaggregates of coarse vegetable composition, the presence of abundant fungal mycelium and soil animals are the primary decomposers – myriopoda, gastropoda mollusks. Humified-fermentative layers are identified by including the newly formed amorphous humus-like substances, nutty-granular structural parts of humus nature and soil animals' humificators – enchytraeids and earthworms. (Black mold humus)-fermentative layers are diagnosed by indicators with similar humified-fermentative, but differ from them in clay-humus composition of nutty-granular blue-grey parts. The nomenclature and classification of moss litter were developed on the basis of their diagnostic characteristics of fermentative layers – peat, peaty, reduced peaty, (black mold humus)-peaty, reduced (black mold humus)-peaty. Using the method of discriminant analysis, we revealed that the physical-chemical properties, mainly percentage of ash and decomposition degree of plant substrate, objectively characterizes the uniqueness of moss litter types, their horizons and fermentation layers. These results confirm the feasibility of using morphogenetic structure of litter for the purposes of classification, reflecting the rate of substances turnover, parcel structure and production potential of forest peat soils. The obtained materials are important for the prediction of the transformation of Kuznetsk Alatau forest wetland depressions in connection with global and local climate fluctuations.

**Keywords:** *bog spruce forests, morphoecological types of moss litter, typodiagnostic subhorizons, Kuznetsk Alatau.*

**How to cite:** *Efremova T. T., Avrova A. F., Efremov S. P. Morphogenetic Litter Types of Bog Spruce Forests // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Siberian Journal of Forest Science). 2015. N. 1: 58–73 (in Russian with English abstract).*