

Гигроскопические свойства подстилки хвойных и лиственных насаждений Средней Сибири

С. Р. ЛОСКУТОВ, О. А. ШАПЧЕНКОВА, Э. Ф. ВЕДРОВА, А. А. АНИСКИНА, Л. В. МУХОРТОВА

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 28
E-mail: lsr@ksc.krasn.ru

АННОТАЦИЯ

Исследованы гигроскопические свойства подстилки хвойных (лиственница, сосна) и лиственных (осина, береза) насаждений по изотермам сорбции паров воды и с использованием методов термического анализа (ТГ, ДСК). Установлено, что наибольшую емкость монослоя имеют подгоризонты OL и OF подстилки лиственничника и сосняка. Подстилка лиственничного насаждения характеризуется самой высокой гидрофильностью. Результаты ДСК свидетельствуют о том, что вода наиболее прочно связана с веществом подстилки в подгоризонте OL в хвойных насаждениях и OH – в лиственных. Запас влаги в подстилке хвойных насаждений больше, чем в лиственных.

Ключевые слова: подстилка, сорбция паров воды, запасы гигроскопической влаги.

При оценке направленности процессов почвообразования под пологом леса решающее значение имеет количественная характеристика обменных реакций между элементами системы лес – почва. Важным звеном в этом обмене является лесная подстилка. Особенности ее накопления и разложения свидетельствуют об интенсивности и направленности процессов биологического круговорота [1–4]. Через подстилку осуществляется влагообмен между почвой и атмосферой, от которого зависит интенсивность трансформации органического вещества подстилки, с одной стороны, и проводимость горения (как основного проводника горения в лесу [5]) – с другой. Цель настоящего исследования – характеристика свойств подстилки насаждений сосны, лиственницы, осины и березы по изотермам сорбции паров воды образцами и результатам их термического анализа.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в культурах осины (*Populus tremula* L.), березы (*Betula fruticosa* Pall.), лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.) и сосны (*Pinus sylvestris* L.), которые произрастают на темно-серой лесной слабооподзоленной глееватой почве, развитой на коричнево-бурой глине. Опыт заложен на территории восточной окраины Кемчугской возвышенности (56°13' с. ш., 92°19' в. д.) Чулымско-Енисейской денудационной равнины. Лесные культуры были высажены в 1971–1972 гг. 2–3-летними саженцами.

Образцы подстилки отбирались в каждом насаждении в 10-кратной повторности с помощью шаблона диаметром 20 см. Отобранная растительная масса разделялась на три слоя. Морфологически хорошо сохранившийся, слабо затронутый разложением материал древесного опада предыдущих двух-трех

лет диагностировался как слой OL подстилки. Он включал в себя хвою (листья), ветви, шишки, кору. Оставшаяся масса просеивалась через набор сит с размером ячеек от 7 до 0,5 мм. Хрупкие темноокрашенные, в разной степени затронутые разложением растительные остатки, сохранившие морфологическое строение, представляют собой компоненты слоя ферментации (OF), а остатки $d < 1$ мм – слоя гумификации (OH) подстилки. Измельчение материала лесной подстилки осуществлялось с помощью лабораторной центробежной мельницы ЛМТ-1 (Россия). Запасы подстилки и гигроскопической влаги представлены с учетом статистической обработки в табл. 1 и 4 соответственно.

Изотермы адсорбции воды образцами подстилки были получены путем увлажнения воздушно-сухих образцов до равновесного водосодержания (г H₂O/г СВП – сухого вещества подстилки) в гигростатах при относительной влажности среды (h) 0,10; 0,30; 0,55; 0,65; 0,80; 0,95 и температуре ($22 \pm 0,5$) °С. Навески образцов (100–150 мг) помещали в алюминиевые тарелочки равномерным слоем толщиной 0,5–1,0 мм и устанавливали в гигростатах. Повторность опытов двукратная. Равновесную влажность образцов подстилки определяли по ГОСТ 28268–89. Экспериментальные изотермы сорбции аппроксимировались гладкими функциями в программной среде TableCurve 2D v. 5.01, отвечающими наибольшему значению коэффициента корреляции при наименьшей дисперсии и не противоречащими физическому смыслу процесса сорбции паров воды исследуемыми образцами. Эти функции использовались в дальнейшем для сравнительного анализа сорбционных свойств подстилки (по подгоризонтам OL, OF, OH) хвойных (лиственница, сосна) и лиственных (осина, береза) насаждений в интервале h от 0,040 до 0,960.

Термогравиметрия (ТГ) и дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) были проведены с помощью приборов TG 209 F1 и DSC 204 F1 (“NETZSCH”, Германия) соответственно. Образцы подстилки были проанализированы в окислительной атмосфере (воздух) при следующих условиях. ТГ: скорость нагрева 5 °С/мин от 25 до 150 °С, изотермический режим при 150 °С в течение 5 мин; скорость потока защитного и продувочного газов 20 мл/мин; масса образца 5,2–7,4 мг. Использовался корундовый тигель, поставляемый производителем “NETZSCH” в комплекте с термогравиметрической системой TG 209 F1. ДСК: скорость нагрева 5 °С/мин от 25 до 150 °С, изотермический режим при 150 °С в течение 5 мин; скорость потока защитного и продувочного газов 20 мл/мин; масса образца 0,60–4,00 мг. Использовался алюминиевый тигель с перфорированной крышкой, поставляемый производителем “NETZSCH” в комплекте с DSC 204 F1. В соответствии с руководством по эксплуатации DSC 204 F1 в качестве термоинертного эталонного образца (образца сравнения) использовался пустой тигель. Взвешивание образцов для анализа проводили на лабораторных весах XFR-125E. Обработка результатов измерений осуществлялась с помощью пакета программ, поставляемого с приборами.

Основываясь на исследованиях гигроскопических свойств почв, подстилки и близких к ним по природе материалов отечественными и зарубежными авторами [6–14], а также исходя из собственного опыта анализа изотерм сорбции различными образцами растительного происхождения [15–18], в данной работе нами использовался ряд уравнений (моделей) сорбции: Брунауэра – Эммета – Теллера (БЭТ) [19], Флори – Хаггинса и Сакурада – Нукушина [20], Цимма – Лундберга [18, 21, 22].

Т а б л и ц а 1
Запасы подстилки в насаждениях, г/м²

Подгоризонт подстилки	Лесообразующая порода			
	осина	береза	лиственница	сосна
OL	573 ± 51	437 ± 35	1161 ± 183	1521 ± 167
OF	439 ± 46	661 ± 71	1319 ± 208	1694 ± 242
OH	112 ± 16	83 ± 10	158 ± 34	242 ± 41
Всего	1124 ± 76	1180 ± 100	2638 ± 295	3457 ± 219

Изменение состава органического вещества и его соотношения с минеральными элементами в подгоризонтах подстилки

Подгоризонт подстилки	Лесообразующая порода							
	осина		береза		лиственница		сосна	
	C : N	C : ЗЭ*	C : N	C : ЗЭ*	C : N	C : ЗЭ*	C : N	C : ЗЭ*
OL	59	17	57	32	78	42	78	52
OF	38	14	39	15	44	19	48	27
OH	29	10	34	18	31	21	38	25

П р и м е ч а н и е. * – зольные элементы.

Лесная подстилка представляет собой гетерогенный материал из растительных остатков, в разной степени измененных процессами биотрансформации. Верхняя ее часть (OL) ежегодно подновляется за счет опадающих фракций древесной фитомассы, нижняя – последовательно трансформируется в подгоризонты ферментации (OF) и гумификации (OH). При переходе от одного подгоризонта (слоя) к другому изменяется структура компонентов (хвои, листьев, веток и т.п.) подстилки и состав органического вещества, о чем свидетельствует изменение соотношения углерод- и азотсодержащих соединений, а также органических и минеральных составляющих (табл. 2). Это приводит к изменению преобладания одного механизма сорбции паров воды над другим – адсорбции или абсорбции, – что и обусловило использование нами для анализа экспериментальных данных соответствующих моделей.

Модель БЭТ изначально создавалась применительно к адсорбции молекул газов на поверхности твердого тела. Она позволяет рассчитывать по экспериментальным изотермам емкость монослоя (u_m , г H₂O/г СВП) и удельную поверхность сорбирующего материала (S , м²/г СВП)*. Наиболее удобная форма уравнения БЭТ для применения к экспериментальным данным имеет вид [19]

$$\frac{h}{u_n(1-h)} = \frac{1}{u_m C} + \frac{C-1}{u_m C} h, \quad (1)$$

* Необходимо отметить, что при определении u_m и S исследуемых образцов речь идет об “условных” величинах u_m и S , поскольку объект исследования как сорбент, строго говоря, не отвечает физическим предпосылкам модели БЭТ. Тем не менее рассчитываемые параметры позволяют дифференцировать исследуемые образцы по сорбционным свойствам в отношении паров воды.

где h – относительное давление паров воды; u_h – равновесное водосодержание при данном h ; u_m – емкость монослоя. Если экспериментальная изотерма сорбции имеет вид прямой в координатах $h/[u_h(1-h)] - h$, то емкость монослоя рассчитывается по формуле

$$u_m = \frac{1}{s+i}, \quad (2)$$

где s – наклон прямой; i – величина отрезка, отсекаемого прямой на оси ординат.

Удельная поверхность рассчитывается по формуле [19]:

$$S = \frac{u_m}{M} \alpha_m N_A \cdot 10^{-18}, \quad (3)$$

где M – молекулярная масса сорбата (18 а. е. м.); α_m – “посадочная площадка” молекулы сорбата (для молекулы воды $\alpha_m = 0,108$ нм²); N_A – число Авогадро ($6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹).

Модели Флори – Хаггинса и Сакурада – Нукушина. В соответствии с этими моделями сорбат поглощается (абсорбируется) всей массой образца (сорбента), образуя систему, сходную с раствором. Из классического уравнения Флори – Хаггинса

$$\ln(h) = \ln(1-v) + v + \chi_1 v^2 \quad (4)$$

находим параметр взаимодействия системы сорбент – сорбат χ_1 :

$$\chi_1 = \frac{1}{v^2} \left[\ln \left(\frac{h}{1-v} \right) - v \right], \quad (5)$$

где v – объемная доля вещества подстилки в сорбционной системе. Параметр χ_1 является важным термодинамическим показателем взаимодействия сорбента с “растворенным” в нем низкомолекулярным веществом. Низкие отрицательные значения χ_1 указывают на высокую гидрофильность сорбента, большие отрицательные и положительные вели-

чины параметра Флори – Хаггинса свидетельствуют о низком термодинамическом средстве вещества сорбента к воде.

Модель Цимма – Лундберга (“кластерная теория”). На основе статистической термодинамики получена функция, отражающая тенденцию молекул сорбата к образованию кластеров в сорбционной системе при изобарно-изотермических условиях [23]:

$$C_1 G_{11} + 1 = v \left(\frac{\delta \ln(1-v)}{\delta \ln(h)} \right)_{h,T}, \quad (6)$$

где C_1 – молярная концентрация сорбата; G_{11} – интеграл кластерообразования. При $(C_1 G_{11} + 1) > 1$, в соответствии с выражением (6), в сорбционной системе происходит образование кластеров молекул сорбата вокруг центров сорбции. $(C_1 G_{11} + 1) < 1$ означает, что при данном h не все центры сорбции в полимерной системе “заняты” молекулами (сорбата) абсорбируемого вещества.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Все изотермы сорбции паров воды образцами подстилки относятся ко II типу по классификации С. Брунауэра, Л. Деминга, У. Деминга и Э. Теллера [19]. На рис. 1 в качестве примера представлены изотермы сорбции паров воды некоторыми образцами. Результаты применения сорбционных моделей по уравнениям (1), (5), (6) к экспериментальным изотермам показаны на рис. 2–4. В табл. 3 приведены параметры всех изотерм в коор-

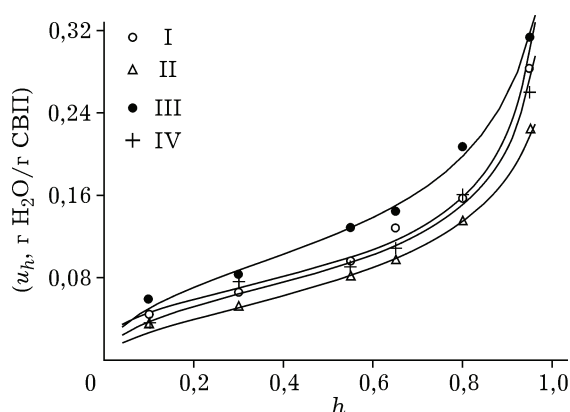


Рис. 1. Изотермы сорбции паров воды образцами подстилки (подгоризонт OF). Маркеры соответствуют экспериментальным точкам; линии – аппроксимирующим функциям.

I – осина; II – береза; III – лиственница; IV – сосна

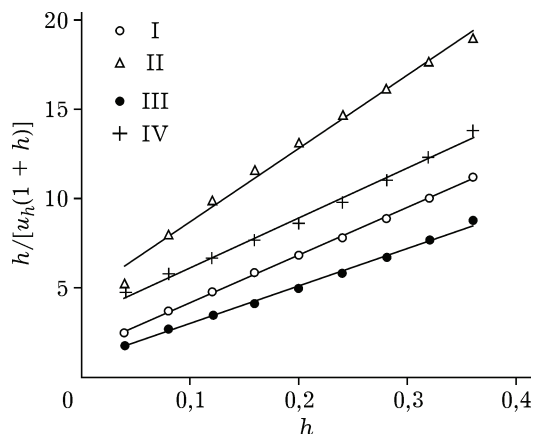


Рис. 2. Линейные анаморфозы изотерм сорбции паров воды образцами подстилки (подгоризонт ОН) в координатах уравнения БЭТ (1).

$Y = 26,336X + 1,575$, $r^2 = 0,999$ (I); $Y = 40,527X + 4,671$, $r^2 = 0,988$ (II); $Y = 21,016X + 0,924$, $r^2 = 0,995$ (III); $Y = 27,622X + 3,395$, $r^2 = 0,993$ (IV)

динатах этих уравнений, а также результаты ТГ и ДСК, характеризующие энергию связи влаги с веществом подстилки.

Из приведенного на рис. 2 примера видно, что фрагмент изотерм сорбции в интервале относительного давления пара 0,04–0,40 хорошо описывается уравнением БЭТ. Такая картина наблюдается для всех исследованных образцов, что позволяет сравнить их по показателям емкости монослоя и удельной поверхности (см. табл. 3). Бóльшими величинами u_m характеризуются подгоризонты ОЛ и ОФ, наименьшими – ОН. Так, емкость монослоя образцов подгоризонта ОЛ в насаждениях березы и сосны в 2 раза выше, чем ОН. В насаждениях лиственницы и осины величина u_m подгоризонта ОФ в 1,5–1,7 раза больше, чем подгоризонта ОН. Более высокая емкость монослоя в подгоризонтах ОЛ и ОФ обусловлена как содержанием, так и химическим составом органического вещества, от которого зависит концентрация активных центров сорбции паров воды. В целом, подгоризонты ОЛ и ОФ подстилки под хвойными насаждениями характеризуются более высокой емкостью монослоя, чем те же подгоризонты подстилки под лиственными насаждениями.

Широко используемым способом оценки гидрофильности материалов является использование термодинамического параметра Флори – Хаггинса $\chi_1 = f(h)$ (уравнение (5)). Если при любом значении h для образцов (А) и (В)

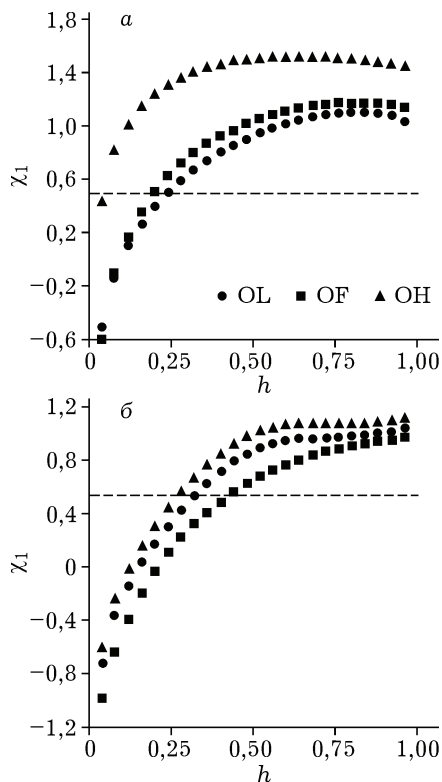


Рис. 3. Изменение параметра Флори – Хаггинса для образцов подстилки (подгоризонты OL, OF и OH) насаждений березы (а) и лиственницы (б).

Пунктирная линия пересекает ось ординат в точке $\chi_1 = 0,5$. В теории растворов полимеров Флори – Хаггинса $\chi_1 < 0,5$ соответствует хорошему растворителю, а $\chi_1 > 0,5$ – плохому

$\chi_1^{(A)} > \chi_1^{(B)}$, то это означает, что сорбент (В) более гидрофильный, чем (А).

Соотношение между величинами χ_1 во всем интервале относительного давления паров воды для исследованных образцов иллюстрирует рис. 3. Вариант (а) характерен для подстилки насаждений березы, осины и сосны; вариант (б) – для насаждения лиственницы. Сравнение одних и тех же подгоризонтов подстилки разных насаждений показывает, что соотношение их гидрофильности характеризуется следующими рядами. OL: (III) \approx (I) \approx (IV) $>$ (II); OF: (III) $>$ (I) \approx (IV) $>$ (II); OH: (III) $>$ (I) $>$ (IV) $>$ (II). Как видно, все они сводятся к виду (III) $>$ (I, IV) $>$ (II), означающему уменьшение гидрофильности в рядах. Другими словами, гидрофильность подгоризонтов подстилки лиственничника самая высокая, березняка – самая низкая.

Величины u_m и u_h при $C_1G_{11} = 0$, как следует из их определения, пропорциональны

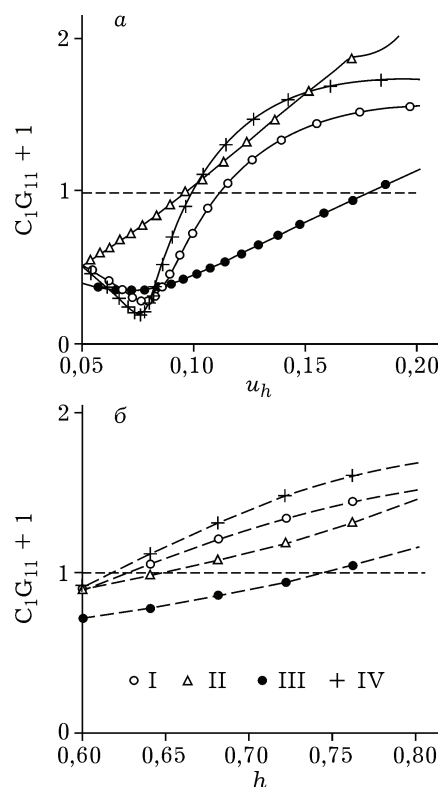


Рис. 4. Изотермы сорбции паров воды образцами подстилки (подгоризонт (OF) в координатах уравнения Цимма – Лундберга.

а – отражает величину равновесного (с паром) влагосодержания образцов подстилки из различных насаждений, при котором начинается кластерообразование (см. выше); б – указывает на величину относительного давления водяного пара, выше которого происходит образование кластеров сорбата

концентрации активных центров сорбции [19, 23]. Это дает возможность судить о качественном изменении гигроскопических свойств подстилки в процессе ее биологического разложения (см. рис. 4, табл. 3). Равновесная влажность (соответствующая началу кластерообразования) образцов из подгоризонтов подстилки березового, осинового и соснового насаждений изменяется сходным образом: максимальна для подгоризонта OL и минимальна – для OH. В лиственничнике наибольшую влажность, отвечающую началу кластерообразования, имеет подгоризонт OF.

На рис. 5 в качестве примера представлены данные термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии образцов подстилки с целью определения теплоты испарения гигроскопической влаги, характеризующей энергию связи воды с твердым веществ-

Значения параметров, рассчитанных по изотермам сорбции паров воды подстилкой с использованием уравнений БЭТ, Флори – Хаггинса, Сакурада – Нукушина, Цимма – Лундберга и по результатам неизотермической сушки – ТГ и ДСК

Подгоризонт подстилки	u_h при $h = 0,962$	u_m	$S, \text{ м}^2/\text{г СВП}$	h при $C_1G_{11} = 0$	u_h при $C_1G_{11} = 0$	$-Q_d, \text{ кДж/г H}_2\text{O}$ (при $u_h \approx u_m$)
Осина (I)						
OL	0,288	0,052	187,3	0,71	0,130	2,54 (0,049*)
OF	0,287	0,061	219,1	0,60	0,112	1,88 (0,052*)
OH	0,192	0,036	129,4	0,66	0,085	3,88 (0,037*)
Береза (II)						
OL	0,284	0,047	170,7	0,69	0,117	2,05 (0,044*)
OF	0,229	0,039	142,1	0,65	0,097	1,73 (0,035*)
OH	0,129	0,022	79,9	0,48	0,040	3,83 (0,024*)
Лиственница (III)						
OL	0,274	0,055	198,3	0,59	0,105	3,45 (0,051*)
OF	0,326	0,067	240,9	0,74	0,178	2,61 (0,063*)
OH	0,238	0,046	164,6	0,57	0,087	2,54 (0,039*)
Сосна (IV)						
OL	0,287	0,063	226,5	0,63	0,113	4,32 (0,051*)
OF	0,277	0,058	210,6	0,62	0,099	2,46 (0,047*)
OH	0,133	0,032	116,5	0,63	0,061	1,36 (0,027*)

* Влажность анализируемого образца в опыте по ТГ и ДСК.

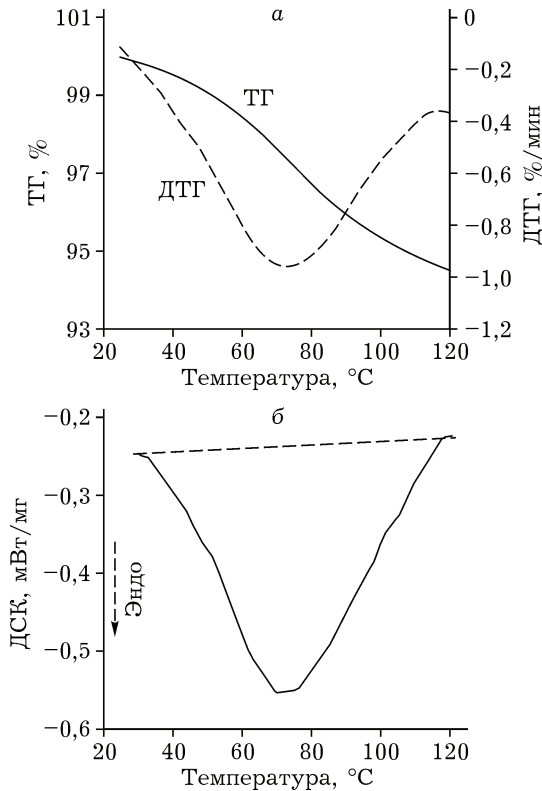


Рис. 5. ТГ-ДТГ (а) и ДСК (б) образца подстилки (подгоризонт OF) осинового насаждения

вом подстилки. Образцы подобраны таким образом, чтобы их влагосодержание было близко к характеристической величине, отвечающей наиболее прочно связанной в подстилке

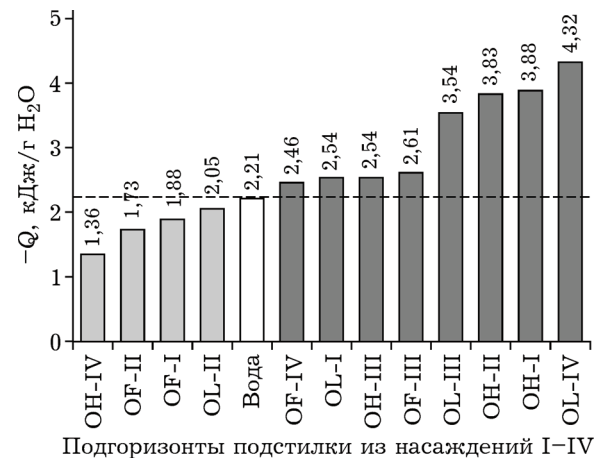


Рис. 6. Тепловой эффект, рассчитанный по результатам ТГ и ДСК образцов подстилки (см. рис. 5). Q_d – теплота испарения влаги из образца, Q_w – теплота испарения воды.

Пунктирная линия пересекает ось ординат в точке $-Q = 2,214 \text{ кДж/г}$ – средней теплотой испарения воды в температурном интервале от 100 до 130 °С

Запасы влаги в подстилке насаждений, кг/га (при температуре около 20 °С)

Подгоризонт подстилки	Осина	Береза	Лиственница	Сосна
100 h = 30 %				
OL	377 ± 34	257 ± 21	798 ± 124	1107 ± 122
OF	324 ± 34	342 ± 37	1138 ± 180	1213 ± 173
OH	51 ± 7	21 ± 3	93 ± 20	89 ± 15
Σ	752 ± 75	620 ± 60	2029 ± 324	2409 ± 310
100 h = 50 %				
OL	517 ± 46	365 ± 29	1041 ± 165	1392 ± 153
OF	400 ± 42	486 ± 52	1543 ± 243	1415 ± 202
OH	70 ± 10	35 ± 4	121 ± 26	121 ± 20
Σ	988 ± 98	886 ± 86	2705 ± 434	2928 ± 375
100 h = 70 %				
OL	720 ± 64	522 ± 42	1609 ± 254	2024 ± 222
OF	578 ± 61	711 ± 76	2160 ± 341	2021 ± 289
OH	98 ± 14	55 ± 7	188 ± 41	171 ± 29
Σ	1396 ± 139	1288 ± 125 %	3957 ± 635	4216 ± 540
100 h = 90 %				
OL	1188 ± 106	888 ± 70	2734 ± 429	3590 ± 394
OF	1034 ± 108	1198 ± 129	3481 ± 549	3788 ± 541
OH	159 ± 23	90 ± 11	320 ± 69	273 ± 46
Σ	2381 ± 237	2176 ± 210	6535 ± 1047	7651 ± 982

воде – u_m . Из рис. 6 видно, что исследованные образцы образуют две группы: для одной группы $|Q_d| < |Q_w|$, для другой – $|Q_d| > |Q_w|$. Это означает, что потеря массы и тепловой эффект при нагреве образцов до температуры 120–130 °С (первая группа) связаны не только с испарением (десорбцией) воды, но также органических летучих соединений с низкой теплотой испарения.

Увеличение различия между Q_d и Q_w , когда $|Q_d| < |Q_w|$, означает уменьшение доли водного компонента в потере массы при нагреве до 130 °С, а при $|Q_d| > |Q_w|$ свидетельствует о довольно широком диапазоне энергии связи молекул воды с веществом различных подгоризонтов подстилки.

Распределение запаса гигроскопической влаги по подгоризонтам подстилки в насаждении, а также общий запас гигроскопической влаги зависит от запасов отдельного подгоризонта и подстилки в целом соответственно. Запас гигроскопической влаги в подстилке насаждений характеризуется следующим рядом: сосна > лиственница > осина > береза. С возрастанием относительной влажности воздуха от 30 до 90 % запасы гигроскопической влаги увеличиваются (табл. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ изотерм сорбции паров воды показал, что наибольшую емкость монослоя имеют подгоризонты OL и OF подстилки хвойных насаждений. Емкость монослоя определяется концентрацией активных центров сорбции, наличие которых зависит не только от содержания, но и от качества органического вещества.

Подгоризонты подстилки лиственничника характеризуются самой высокой гидрофильностью, березняка – самой низкой.

Диапазон значений теплового эффекта испарения от –2,214 до –4,32 кДж/г H₂O указывает на наличие прочно связанной влаги в образцах, а от –1,36 до –2,214 кДж/г H₂O свидетельствует о существенном вкладе в потерю массы летучих органических соединений. Подгоризонт OL подстилки хвойных насаждений и OH – лиственных характеризуется более высокой энергией связи воды с веществом подстилки.

Содержание влаги определяется гигроскопическими свойствами подстилки и ее запасом: в хвойных насаждениях влаги в подстилке больше, чем в лиственных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зонн С. В. Почва как компонент лесного биогеоценоза // Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. С. 372–457.
2. Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы. М.: Лесн. пром-сть, 1981. С. 76–199.
3. Богатырев Л. Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1997. № 4. С. 501–512.
4. Аткина Л. И., Аткин А. С. Особенности накопления подстилок в лесных сообществах // Там же. 2000. № 8. С. 1004–1008.
5. Волокитина А. В., Софронов М. А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 314 с.
6. Капинос В. А., Тонких А. П. Определение полной изотермы сорбции паров воды почвами // Почвоведение. 1986. № 10. С. 107–113.
7. Харитонов Г. В., Витязев В. Г. Изотермы сорбции водяного пара почвами // Там же. 2000. № 4. С. 446–453.
8. Ермаков Е. И., Зуев В. С., Аникина Л. М. Состояние влаги на границе раздела фаз как показатель интенсивности процесса первичного почвообразования // Там же. 2005. № 2. С. 195–202.
9. Kharitonova G. V., Shein E. V., Vityazev V. G., Lapkina C. I. Water vapour adsorption by soil aggregate fractions // International Agrophysics. 2005. Vol. 19, N 1. P. 47–52.
10. Goates J. R., Hatch C. Standard adsorption potentials of water vapor on soil colloids // Soil Sci. 1953. Vol. 75, N 4. P. 275–278.
11. Kosmas C., Marathianou M., Gerontidis St., Detsis V., Tsara M., Poesen J. Parameters affecting water vapor adsorption by the soil under semi-arid climatic conditions // Agricultural Water Management. 2001. Vol. 8, N 1. P. 61–78.
12. Möhlmann D. Adsorption water in mid- and low latitude Martian soil // Proceedings of the First European Workshop on Exo-Astrobiology. Noordwijk: ESA Publications Division, 2002. P. 169–172.
13. Sasaki O., Kanai I., Yazawa Y., Yamaguchi T. Humic group hygroscopic properties and their chemical structure // Ann. of Environmental Sci. 2007. Vol. 2. P. 17–22.
14. Frydman S., Baker R. Theoretical soil-water characteristic curves based on adsorption, cavitation, and a double porosity model // Intern. Journ. of Geomechanics. 2009. Vol. 9, N 6. P. 250–257.
15. Лоскутов С. Р., Миронов П. В., Левин Э. Д. Вододерживающие свойства вегетативных органов и тканей лиственницы сибирской // Лесной журн. 1984. № 1. С. 98–102.
16. Колосовская Е. А., Лоскутов С. Р., Чудинов Б. С. Физические основы взаимодействия древесины с водой. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 216 с.
17. Loskutov S. R. Analysis of the wood sorption isotherm using the theory of micropore volume filling // Holzforschung. 2000. Vol. 54, N 3. P. 301–304.
18. Лоскутов С. Р. Взаимодействие древесины с физически активными низкомолекулярными веществами. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 172 с.
19. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1984. 310 с.
20. Kawai T. Sorption of water vapour by cellulose and polymers at high humidities // J. Polym. Sci. 1959. Vol. 37, N 131. P. 181–198.
21. Браун Г. Кластерообразование воды в полимерах // Вода в полимерах. М.: Мир, 1984. С. 419–428.
22. Hartley I. D., Kamke F. A., Peemoeller H. Cluster theory for water sorption in wood // Wood Sci. Technol. 1992. Vol. 26, N 2. P. 83–99.
23. Starkweather H. W. Some aspects of water clusters in polymers // Macromolecules. 1975. Vol. 8, N 4. P. 476–479.

Hygroscopic Properties of Forest Floor in Coniferous and Deciduous Plantations in Middle Siberia

S. R. LOSKUTOV, O. A. SHAPCHENKOVA, E. F. VEDROVA,
A. A. ANISKINA, L. V. MUKHORTOVA

V. N. Sukachev Institute of forest, SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28
E-mail: lsr@ksc.krasn.ru

The hygroscopic properties of forest floor in coniferous (*Larix sibirica* Ledeb., *Pinus sylvestris* L.) and deciduous (*Populus tremula* L., *Betula fruticosa* Pall.) plantations were studied using the isotherms of water vapor sorption and methods of thermal analysis (TG, DSC). Sub-horizons OL and OF in larch and pine plantations had the larger monolayer adsorption capacity. The forest floor in larch plantation was characterized by the highest hydrophilicity. Results of DSC indicated that hygroscopic water had higher binding with the substance of sub-horizon OL in coniferous and sub-horizon OH in deciduous plantations. The forest floor in coniferous plantations was characterized by higher store of hygroscopic water than in deciduous ones.

Key words: forest floor, water vapor sorption, store of hygroscopic water.