

Разложение растительного вещества в лесотундре

Е. К. ПАРШИНА

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630090, Новосибирск, Советская, 18

АННОТАЦИЯ

Проведенные экспериментальные исследования по разложению растительного вещества в лесотундре показали, что этот процесс в активном 30-сантиметровом слое торфа протекает замедленно. Сфагновые мхи являются наиболее устойчивыми к разложению: потери сухого вещества составили 6–11 %, тогда как потери массы сосудистых растений колеблются в пределах 15–27 %. В среднем в экосистеме плоскобугристого болота потери углерода составили 14 %. Относительные потери азота в растительных остатках превышают потери углерода в 3–5 раз. При разложении корней вересковых кустарничков и мочажинного мха *Sphagnum balticum* азот теряется медленнее, чем углерод. Относительные потери фосфора для листьев и корней *Chamaedaphne calyculata*, *Ledum decumbens* и *Sph. balticum* в 1,5–2,6 раза больше, чем потери углерода. Наиболее подвижными из зольных элементов оказались натрий и калий.

Развитие инфраструктуры газодобывающей промышленности на севере Западной Сибири вызывает нарушение естественного растительного покрова лесотундровых экосистем. При нарушении лишайникового покрова, который в естественных экосистемах отражает значительную долю солнечного тепла, происходит протаивание вечной мерзлоты и образование термокарстовых понижений и озер. Считается, что в естественных условиях этот процесс имеет циклический характер – образовавшиеся озера могут сбрасывать воду, а на освободившейся поверхности появляются новые бугры пучения, восстанавливается лишайниковый покров. В настоящее время в связи с глобальными изменениями климата природный циклический характер описанных процессов нарушается [1]. Оттаивание мерзлого слоя плоскобугристых болот способствует усилению процессов разложения торфяного слоя и, как следствие, к увеличению выброса в атмосферу углеродсодержащих газов – углекислого газа и метана. Увеличение в атмосфере концент-

раций этих газов, являющихся парниковыми, способствует потеплению климата на нашей планете. Стационарные исследования современных скоростей продукции и деструкции на болотах лесотундры необходимы для индикации процессов изменения климата.

Работы по изучению разложения растительных остатков в европейской части лесотундры проводили Н. И. Андреяшкина [2], Т. Rosswall [3], В. Berg, L. Karenlampi, A. K. Veum [4] и др. Исследователи обращали внимание на различия в скорости разложения между растительными остатками разных видов и между разными частями одного и того же растения. Выявлено, что растительные остатки минерализуются тем быстрее, чем они богаче легкоразлагаемыми веществами, углеводами и белками и меньше содержат устойчивых компонентов – целлюлозы и лигнина [5]. Основным лимитирующим фактором минерализации органического вещества является отношение в нем C : N. В результате минерализации отмерших органов растений в поверхностных горизонтах торфа образу-

ется наибольшее количество доступных для растений форм элементов минерального питания, в первую очередь азота. Влияние содержания азота в растительных остатках на скорость их разложения определяется потребностью микроорганизмов в связанном азоте для клеточного синтеза [6]. Наиболее благоприятное соотношение С : N начинается со значений 30–20, в этом случае микроорганизмы беспрепятственно атакуют растительные остатки. В работе А. А. Короткова и М. В. Новицкого [7] показано, что отношение С : N закономерно понижается в процессе разложения. Лимитировать разложение может недостаток не только азота, но и фосфора. По исследованиям Н. Уолкера [8], для биологической деструкции наиболее благоприятно соотношение С : N : S : P = 100 : 8 : 1 : 1,2.

Цель данной работы – выявление особенностей процесса разложения доминантных видов растений в экосистеме плоскобугристого болота, определение потерь сухого вещества и макроэлементов в лесотундре Западной Сибири.

Район исследования располагается в пределах водораздела рек Надым и Ныда (район пос. Пангоды). Среднегодовая температура местности $-6,6^{\circ}\text{C}$, годовая сумма осадков 430 мм (г. Надым) [11, 12]. Пробная площадь включает две экосистемы – плоские мерзлые бугры и талые мочажины. Кустарничково-сфагново-лишайниковые плоские бугры имеют высоту 40 см от поверхности мочажин, достигают от 50 до 100 м в ширину, очертания бугров сильно извилистые. Поверхность плоских бугров неровная, с большим количеством микропонижений различной глубины, часто имеющих форму трещин. В таких трещинах термокарстового происхождения наблюдается близкое залегание минерального грунта к поверхности. Глубина залегания вечной мерзлоты в летнее время колеблется от 30 до 50 см ниже поверхности мхов и лишайников. Торфяной слой, начинающийся от отмирающих частей мхов и лишайников и дальше уходящий в мерзлоту, обладает плотным сложением и высокой степенью разложения.

Кустарничковый ярус на вершинах плоских бугров редко поднимается выше 10 см от лишайникового покрова, как бы прячась в него, лишь в понижениях и на склонах буг-

ров мощные стелющиеся побеги *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud. и *Betula nana* L., являющихся доминантами этого яруса, достигают 30 см в высоту. Общее проективное покрытие кустарничков 20 %. Помимо доминантных видов в ярусе принимают участие *Andromeda polifolia* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Vaccinium uliginosum* L., *V. vitis-idaea* L., *Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr. и *Empetrum nigrum* L. Травяной ярус образован в основном *Rubus chamaemorus* L., которая дает 10 % проективного покрытия, изредка встречаются *Eriophorum vaginatum* L. и *Carex globularis* L. В мохово-лишайниковом покрове лишайники занимают господствующее положение и по величине проективного покрытия (на них приходится 70 %), и по числу видов. Доминантами здесь являются *Cladonia stellaris* (Opiz) Brodo, *Cl. stygia* (Ach.) Ahti и *Cetraria nivalis* Ach. Из мхов наибольшим обилием обладает *Sph. fuscum* (Schimp.) Klinggr., он растет в небольших микропонижениях и занимает 20 % покрытия. В термокарстовых просадках наблюдается совсем другой набор мхов – *Sph. balticum* Russ. ex C. Jens., *S. compactum* DC. in Lam. et DC. и *Warnstorfia fluitans* (Hedw.) Loeske.

Мочажины в плоскобугристом комплексе имеют удлиненную зигзагообразно изогнутую форму, достигая 50 м в длину и 15–20 м в ширину. За вегетационный период мочажины оттаивают на глубину более 1 м. Уровень залегания болотных вод варьирует от 0 до 15 см ниже поверхности мохового покрова как в пределах одной мочажины, так и от мочажин к мочажине в пределах комплекса. В зависимости от уровня обводненности два или три растительных сообщества сменяют друг друга. Пушицево-сфагновое сообщество развивается при наиболее низком уровне болотных вод (около 15 см). Обычно оно окаймляет края больших мочажин или занимает маленькие понижения между буграми. Здесь можно встретить те же кустарнички, что и на буграх, только в угнетенном состоянии и в малом количестве. Травяной ярус представлен в основном *Eriophorum russeolum* Fries с проективным покрытием до 10 %, присутствуют также *Carex rotundata* Wahlenb. и *R. chamaemorus*. В моховом покрове доминирует *Sph. balticum*. При продвижении в сторону центра мочажины наблюдаются приближение

уровня болотной воды к поверхности, исчезновение кустарничков, преобладание *S. rotundata* в травяном ярусе, который становится более редким (5–7 % проективного покрытия). В моховом покрове тоже происходят изменения – преобладают виды *Sph. lindbergii* Schimp. ex Lindb. и *W. fluitans*. Осоково-сфагновые сообщества могут полностью занимать центральные части мочажин или же только окаймлять полосой открытую водную поверхность, находящуюся в самом центре мочажины. Как правило, большое количество свободной воды недолговечно: оно медленно перетекает или в нижележащие мочажины, или в крупные озера. Тогда поверхность торфа, недавно освободившегося от воды, начинает заселяться сначала осокой, а затем и мхами. Торф в таких мочажинах жидкий, с высокой степенью разложения. Поселившиеся сфагновые мхи находятся в крайне угнетенном состоянии.

Эксперименты по определению скорости разложения растительных остатков доминантных видов на плоскобугристом болоте проводились с 2004 по 2006 г. Для определения характера и скорости разложения отдельных торфообразователей применялся метод закладки проб растительности в торф [5]. Для этого на болоте собирали опад доминантных видов и свежие растения, растительный материал высушивали при температуре 60 °С, пробы взвешивали, помещали в нейлоновые мешочки с ячейками размером 0,2 мм и за-

кладывали в торф на глубину 5, 15 и 25 см. Кроме того, опавшие листья болотных кустарничков и трав закладывали на поверхности мохового покрова, так как разложение их вначале происходит на поверхности. Закладку проб проводили в конце вегетационного периода, извлекали их через год.

Деструкция изучалась у двух видов кустарничков, трех видов трав, трех видов сфагновых и двух видов гипновых мхов, трех видов лишайников (всего 13 видов).

Болотные растения, использовавшиеся в нашем эксперименте, по химическому составу можно разделить на 3 группы. К первой группе относятся сфагновые мхи и лишайники. Они имеют низкую зольность (0,9–1,7 %) и весьма бедны азотом и фосфором (табл. 1). Соотношения С : N и С : P велики (см. табл. 4) и неблагоприятны для атаки микроорганизмами и беспозвоночными. Ко второй группе принадлежат кустарнички и травы. Содержание зольных элементов в их листьях 3,3–3,5 %, в корнях кустарничков немного меньше – 2,6 %. Эта группа также отличается повышенным содержанием N, P и Ca по сравнению со сфагновыми мхами. Соотношения С : N и С : P листьев кустарничка *Ch. calyculata* равны 65 и 457 соответственно, что существенно меньше, чем у сфагновых мхов.

Третью, резко контрастирующую группу составляют гипновые мхи, содержание золы в них 18,5 %. В них больше, чем в растениях других групп, содержится фосфора, каль-

Т а б л и ц а 1

Химический состав исходных образцов растительного вещества

Растения и их фракции	Содержание элементов, % на абсолютно сухое вещество							
	зольных	С	N	P	K	Na	Ca	Mg
<i>Ch. calyculata</i> :								
листья	3,34	48,33	0,74	0,11	0,10	0,01	0,60	0,05
корни	2,56	49,72	0,45	0,06	0,14	0,02	0,16	0,04
<i>S. limosa</i> :								
ветошь	3,52	48,24	Не опр.	Не опр.	0,56	0,01	0,25	0,09
<i>Sph. fuscum</i> :								
очес	1,68	49,16	0,31	0,04	0,14	0,06	0,29	0,06
<i>Sph. balticum</i> :								
очес	1,15	49,42	0,28	0,04	0,13	0,02	0,17	0,04
Гипновые мхи:								
очес	18,52	40,74	0,76	0,80	0,30	0,08	2,62	0,33

Т а б л и ц а 2

Потери массы растительных остатков при разложении в течение года на плоскобугристом болоте

Растения	Фракции	Потери массы, % от исходного количества	
		Бугор	Мочажина
Кустарнички:			
<i>Ch. calyculata</i>	Листья	17,3 ± 0,6	
	Корни	17,7 ± 4,4	
<i>L. decumbens</i>	Листья	14,5 ± 1,3	
Травы:			
<i>R. chamaemorus</i>	»	24,0 ± 4,6	
	Корни	26,8 ± 3,8	
<i>C. globularis</i>	Листья	15,0 ± 3,6	
<i>C. limosa</i>	»		19,4 ± 1,2
	Корни		10,1 ± 2,7
Мхи:			
<i>Sph. fuscum</i>	Очес	8,1 ± 2,8	
<i>Sph. balticum</i>	»		11,2 ± 5,1
<i>Sph. papillosum</i>	»		6,3 ± 4,3
<i>Plagiomnium ellipticum</i>	»		34,9 ± 2,5
<i>Drepanocladus aduncus</i>	»		30,4 ± 3,6
Лишайники:			
<i>Cladonia amaurocrea</i>	Все растение	10,6 ± 3,1	
<i>Cl. stellaris</i>	То же	16,5 ± 7,1	15,1 ± 4,2
<i>Cl. stygia</i>	»	15,2 ± 4,4	14,3 ± 6,3

ция, магния и натрия. Соотношения С : N и С : Р у гипновых мхов наименьшие, что свидетельствует о большей доступности растительной биомассы для разложения.

Потеря сухой массы листьев кустарничков *Ch. calyculata* и *L. decumbens* за год на поверхности мохово-лишайникового покрова бугров составила 17 и 14 % от начальной соответственно (табл. 2, рис. 1, а). Ветошь осоки *C. globularis* разложилась за год на 15 %. Сходные потери за год (18 %) имели и корни кустарничков при разложении в активном (0–30 см) торфяном слое бугра. Быстрее других растений на буграх разлагались листья и корневища морошки *R. chamaemorus* – за год они потеряли четвертую часть от исходной массы. Ветошь осоки *C. limosa* закладывали в мочажине, снижение массы при ее разложении на поверхности мохового покрова в течение года составило 20 % (рис. 1, б).

Сфагновые мхи разлагаются медленнее, чем другие исследованные растения. *Sph. fuscum* разложился в торфяном слое бугра за

год на 8 %, потери *Sph. balticum* и *Sph. papillosum* в торфяном слое мочажин составили 6–11 %. С одинаковой скоростью в торфе бугров и мочажин разлагались лишайники – в среднем 14 % потерь от исходной массы за год.

Для сравнения был привезен очес двух видов гипновых мхов из евтрофного болота в южной тайге и заложен в олиготрофные условия мочажины плоскобугристого болота. За год гипновые мхи потеряли 30–35 % от исходной массы.

Сравнение величин потерь при разложении на плоскобугристом болоте в зоне лесотундры и верховом болоте в подзоне средней тайги показало, что в средней тайге разложение растительных остатков происходило быстрее, чем в лесотундре. Наблюдалась существенная разница в величине потерь у различных фракций растительного вещества. Листья кустарничков и ветошь трав в лесотундре разлагались медленнее на 3–5 %, корни кустарничков – на 7, корни осок – на 20 %, чем в средней тайге. В 3 раза медленнее разлагался в лесотундре на повышенных

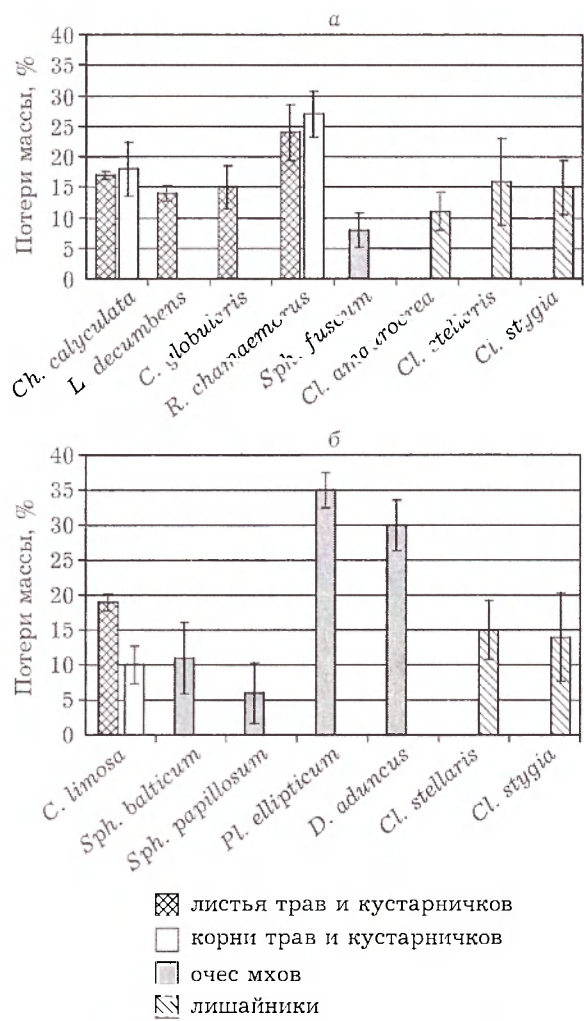


Рис. 1. Потери массы растительного вещества при разложении в течение года: а – на бугре, б – в мочажине

элементах рельефа болотных систем очес мхов и в 2 раза – остатки лишайников. Потери очеса мочажинных мхов в лесотундре меньше на 3–4 %.

Полученные нами данные по разложению листьев багульника согласуются с данными Н. И. Андреяшкиной [2], проводившей исследования в лесотундре Зауралья. На плоскобугристом болоте (наши данные) листья багульника за год потеряли 14 % от исходного количества, в пятнистой тундре – 16 и в мелкопочварной тундре – 24 % [2].

Подвижность макроэлементов при разложении растительных остатков в лесотундре уменьшается в ряду $Na > K > Ca > Mg > N > P > C$. Потери в экосистеме плоскобугристого болота в среднем за год разложения составили, % $Na - 78, K - 67, Ca - 54, Mg - 36, N - 26, P - 25$ и $C - 14$. Потери массы органической и минеральной частей у разных фракций растительного вещества неодинаковы. У корней кустарничков, ветоши осоки и очеса мхов потери зольных элементов в 1,5–2 раза больше, чем потери органического вещества, у листьев кустарничков органическая и минеральная части разлагались почти равномерно (табл. 3, рис. 2).

Изменения соотношений $C : N$ и $C : P$ в растительных остатках после разложения свидетельствуют о неравнозначных потерях углерода, азота и фосфора. Соотношение $C : N$ увеличилось в остатках листьев куст-

Т а б л и ц а 3

Потери элементов при разложении в лесотундре на плоскобугристом болоте за год

Растения и их фракции	Экосистема	Потери элементов, % от исходного количества							
		зольных	C	N	P	K	Na	Ca	Mg
<i>Ch. calyculata</i> :									
листья	Бугор	13,8	17,4	52,7	45,1	71,9	68,7	23,0	13,5
корни	»	46,8	19,0	8,0	29,8	65,9	84,5	58,4	18,1
<i>C. limosa</i> :									
ветошь	Мочажина	25,0	17,0	Не опр.	Не опр.	76,0	59,0	70,0	90,0
<i>Sph. fuscum</i> :									
очес	Бугор	13,7	7,1	33,8	4,4	55,0	92,6	46,6	20,5
<i>Sph. balticum</i> :									
очес	Мочажина	28,5	15,6	9,2	24,5	65,0	85,8	72,4	35,5
Гипновые мхи:									
очес	»	55,2	30,4	43,1	24,0	93,5	95,4	88,9	91,6

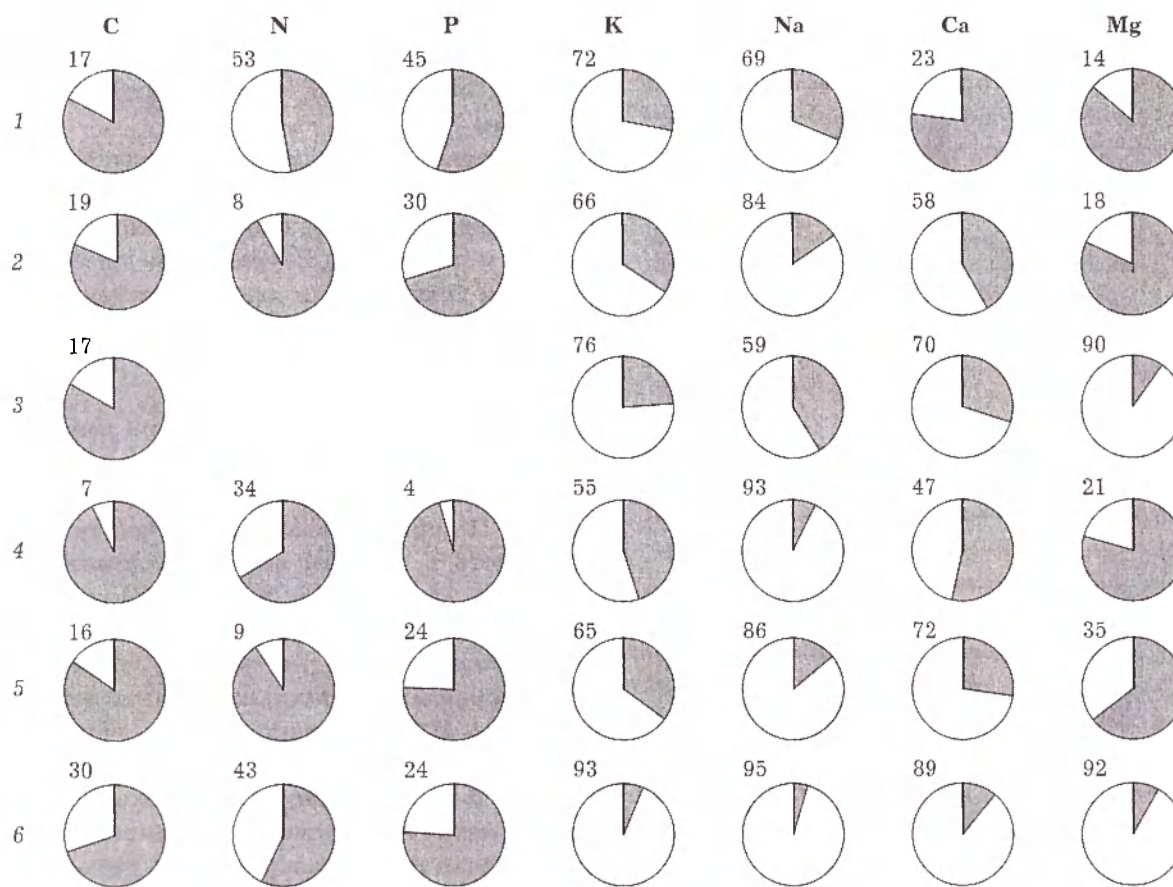


Рис. 2. Относительные потери элементов при разложении в течение года на плоскобугристом болоте, % от исходного количества.

1 - листья *Ch. calyculata*; 2 - корни *Ch. calyculata*; 3 - ветوشь *C. limosa*; очес: 4 - *Sph. fuscum*, 5 - *Sph. balticum*, 6 - гипновых мхов

тарничков и *Sph. fuscum*, относительные потери азота здесь превысили потери углерода в 3-5 раз. В разлагающихся корнях ку-

старничков и мочажинного мха *Sph. balticum* наблюдалось уменьшение соотношения C : N, означающее, что азот терялся медленнее,

Т а б л и ц а 4

Изменение соотношений C:N и C:P в растительных остатках при их разложении в течение года

Растения и их фракции	C : N		C : P	
	в исходных образцах	после разложения	в исходных образцах	после разложения
<i>Ch. calyculata</i> :				
листья	65	105	457	684
корни	108	95	848	886
<i>Sph. fuscum</i> :				
очес	157	219	1268	1220
<i>Sph. balticum</i> :				
очес	174	162	1104	1234
Гипновые мхи:				
очес	54	65	51	47

чем углерод. При разложении гипновых мхов наблюдалось небольшое увеличение соотношения С : N (табл. 4).

Соотношение С : Р у большинства проанализированных остатков растений увеличивалось, исключение составил охес *Sph. fuscum* и гипновых мхов. Относительные потери фосфора для листьев и корней кустарничков и *Sph. balticum* в 1,5–2,6 раза больше, чем потери углерода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В активном, 30-сантиметровом, слое торфа в болотных экосистемах лесотундры растительные остатки разлагаются медленнее, чем на сухих участках. Благодаря своему химическому составу сфагновые мхи являются более устойчивыми к разложению (потери сухого вещества 6–11 %), чем сосудистые растения (потери от 15 до 27 %). В среднем в экосистеме плоскобугристого болота потери углерода составили 14 %. Наиболее подвижными из зольных элементов оказались натрий и калий.

Подвижность макроэлементов при разложении растительных остатков уменьшается в ряду Na > K > Ca > Mg > N > P > C. Это нашло отражение в экосистеме плоскобугристого болота: в среднем за год разложения

потери макроэлементов соответственно составили, % Na – 78, К – 67, Са – 54, Mg – 36, N – 26, Р – 25 и С – 14.

У корней кустарничков, ветоши осоки и охеса мхов потери зольных элементов в 1,5–2 раза выше потерь органического вещества, у листьев кустарничков потери органической и минеральной частей были одинаковыми.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Н. Кирпотин, Морфолого-геометрический подход к изучению пространственной структуры природных тел: от организма до ландшафта, Томск, 2005.
2. Н. И. Андреяшкина, Труды Ин-та экологии растений и животных, Свердловск, 1974, 88, 129–134.
3. T. Rosswall, Soil Organisms and Decomposition in Tundra, Stockholm, 1974, 325–340.
4. B. Berg, L. Karenlampi, A. K. Veum, Fennoscandian Tundra Ecosystems, Berlin – Heidelberg – New York, 1975, 1, 261–267.
5. Л. С. Козловская, В. М. Медведева, Н. И. Пьявченко, Динамика органического вещества в процессе торфообразования, Л., 1978.
6. Р. Тейт, Органическое вещество почвы, М., 1991.
7. А. А. Коротков, М. В. Новицкий, Почвоведение, 1969, 6, 72–80.
8. N. Walker, Soil biology, London – New York, 1967, 493–524.
9. Западная Сибирь. М., 1963.
10. В. В. Орлова, Климат СССР, Л., 1962, т. 4.
11. Справочник по климату СССР, Омск, 1972, 17: 1.
12. Там же, 17: 2.

Decomposition of Plant Biomass in Forest-Tundra Subzone

E. K. PARSHINA

Global warming leads to permafrost degradation, an increase in peat degradation and changes in the parameters of macroelement balance. The experimental investigation of the decomposition of plant matter in the forest-tundra zone showed that this process in the active 30-cm top layer is slower than in middle and southern taiga subzones. Due to their chemical composition *Sphagnum* mosses are the most stable to decomposition – dry matter losses were 6–11 %. Mass losses of vascular plants ranged from 15 to 27 %. Average loss of carbon in tundra ecosystem was 14 %.

Relative nitrogen loss in plant residues exceeds carbon loss by a factor of 3–5. During the decomposition of dwarf shrubs and *Sphagnum balticum*, nitrogen loss is slower than carbon loss. Relative loss of phosphorus during the decomposition of foliage, dwarf shrub roots and *Sphagnum balticum* is 1.5–2.6 times higher than carbon loss. Sodium and potassium turned out to be the most mobile elements among ash elements.