

ОРИГИНАЛЬНЫЕ  
СТАТЬИ

УДК 630\*182:581.524.32:551.577(1-924.82)

**ВЛИЯНИЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ  
НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ  
В ПРОЦЕССЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ**

© 2011 г. И. Б. Арчегова, Е. Г. Кузнецова

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН  
167982 Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28  
E-mail: kuznecova@ib.comisc.ru  
Поступила в редакцию 9.03.2010 г.*

Рассмотрен химический состав атмосферных осадков, проходящих через кроны деревьев, и лизиметрических вод в процессе самовосстановления среднетаежных экосистем Республики Коми. Установлено, что трансформацию атмосферных осадков, проникающих через растительный покров, определяет растение-эдификатор. Выявлена динамика содержания органического углерода и элементов-биогенов (калия, кальция, магния) в кроновых и лизиметрических водах в соответствии с разными фазами развития растений в течение вегетации. На стадии заселения травянистого сообщества древесными растениями и в спелом лиственном насаждении химический состав исследуемых вод отражает парцеллярную структуру растительного сообщества формирующейся лесной экосистемы.

*Лесные экосистемы, самовосстановительная сукцессия, химический состав кроновых и лизиметрических вод.*

Атмосферные осадки, проходящие через растительный покров, изменяют свой состав, вымывая разнообразные продукты жизнедеятельности растений и техногенного загрязнения, влияя на круговорот веществ в экосистемах. Установлено, что в лесных сообществах таежной зоны трансформация химического состава атмосферных осадков кронами деревьев зависит от условий произрастания, сезонного развития растений, частоты и интенсивности осадков и других факторов [4, 5, 7, 8, 11, 14, 15]. Осадки, проникающие под кроны древесных растений, проходя через напочвенный покров, участвуют в почвообразовательном процессе, формировании почвенного профиля. Состав лизиметрических вод в лесной зоне исследован достаточно хорошо [1, 3, 9, 13, 16, 17, 18]. Известно, что в лесных сообществах формирование химического состава лизиметрических вод определяется количеством и составом осадков, составом нижнего яруса растительности, скоростью разложения растительных остатков. Изучение в комплексе состава мигрирующих водорастворимых веществ позволяет оценить их роль в систе-

ме “осадки–растение–почва”. Надо отметить, что публикации по материалам систематических комплексных исследований химического состава кроновых и лизиметрических вод в таежной зоне на северо-востоке европейской части России немногочисленны [12, 13]. В настоящей статье рассмотрены результаты изучения влияния растительного покрова на трансформацию атмосферных осадков в процессе самовосстановительной сукцессии в подзоне средней тайги Республики Коми.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Наблюдения проведены на стационаре “17-й километр”, расположенном в 17 км к юго-западу от г. Сыктывкар.

Климат района исследований умеренно континентальный. Устойчивая морозная погода продолжается более четырех месяцев. Средняя продолжительность периода биологически активных температур (+10 °С и выше) составляет около 3–4 месяцев. Количество осадков 400–600 мм год<sup>-1</sup>, большая часть приходится на теплый пе-

риод. Доминирующим типом растительности на рассматриваемой территории являются ельники зеленомошные, формирующиеся на подзолистых суглинистых почвах. В связи с усилением хозяйственного использования еловые леса сменяются смешанными с преобладанием в составе древостоя березы и осины.

Исследования химического состава осадков, проникающих под кроны древесных растений (кроновых вод), на стационаре были начаты в 1999 г. [10]. В настоящей статье обсуждаются результаты изучения состава кроновых и лизиметрических вод, полученные в период 2006–2008 гг. Наблюдения проводили на четырех постоянных пробных площадях (пр.пл.) размером 100 м<sup>2</sup> каждая. Пробные площади выделены в лесном массиве, который ранее представлял собой ельник зеленомошный, а в дальнейшем в результате строительства автодороги и выборочных рубок был преобразован. Растительные сообщества на пр.пл. 1 и 2 сформировались на техногенном суглинистом субстрате, оставшемся после реконструкции автодороги. По одну сторону дороги на ровной поверхности примерно за 20–25 лет в процессе самовосстановительной сукцессии развилось многолетнее разнотравно-злаковое сообщество (пр.пл. 1), в пределах которого в последние 10 лет происходит естественное возобновление сосны, березы, ивы, образующих парцеллы – группы деревьев высотой 3–6 м, сомкнутостью крон 0.4. По другую сторону автодороги на насыпном невысоком валу сформировался ольшаник хвощево-разнотравный (пр.пл. 2) возрастом около 25 лет, состав древостоя 10 Ол. Развитие на техногенном наносе ольшаника с обильным травянистым покровом, по-видимому, обусловлено присутствием ольхи серой в примыкающем к пр.пл. 2 лесном массиве. Вблизи пр.пл. 2 в верхней части пологого склона к ручью расположены пр.пл. 3 и 4 в мелколиственном насаждении возрастом более 100 лет, характеризующем стадию самовосстановительной сукцессии после выборочных рубок в ельнике зеленомошном. Пр.пл. 3 заложена в березняке разнотравном, состав древостоя 8Б2Е, пр.пл. 4 – в осиннике разнотравном, состав древостоя 9Ос1Е.

Для сбора атмосферных осадков были установлены пластмассовые сосуды с водосборной площадью 50 см<sup>2</sup> в трехкратной повторности на пр.пл. 1 под травянистым покровом и под кронами сосны, березы, ивы в парцеллах, на пр.пл. 2 под кроной ольхи, на пр.пл. 3 под кронами березы и ели, на пр.пл. 4 – осины и ели, а также в межкрупных пространствах – “окнах” на пр.пл. 3 и 4.

На всех пробных площадях для сбора лизиметрических вод под горизонтами А0, А0А1, А<sub>дер</sub>А1 были заложены в трех повторностях лизиметры – сосуды с воронками, водосборная площадь которых составляла 50 см<sup>2</sup>.

Сбор и анализ кроновых и лизиметрических вод осуществляли в начале (конец мая – начало июня) и конце (сентябрь) вегетации. Кроме того, кроновые воды собирали в течение лета после сильных дождей (преимущественно в июле). В водах определяли рН и содержание веществ, которые играют важную роль в питании растений – NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, С<sub>орг</sub>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, и возможных загрязнителей – SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>. В почвах определяли рН<sub>вод</sub>, содержание С<sub>орг</sub>, обменных Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, N<sub>гидр</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O. Величину рН определяли потенциометрически, содержание NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – фотометрически, Cl<sup>-</sup> – меркурометрически, K<sup>+</sup> – спектрометром SP-90А (Великобритания), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> – на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы “Hitachi” 180-60 (Япония), С<sub>орг</sub> – по методу Тюрина.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем рассматривать результаты изучения состава кроновых и лизиметрических вод, следует охарактеризовать почвы пробных площадей стационара. На пр.пл. 1 под травянистым покровом в связи со снижением в нем доли злаков дернина деградирует, преобразуясь в слабо уплотненный горизонт (около 2 см) и под ним в остаточный одернованный гумусовый горизонт А<sub>дер</sub>А1 (2–3 см). Под органо-аккумулятивным горизонтом (5 см) отмечен слой техногенного субстрата коричневатой однородной окраски, среднесуглинистый, без корней, в котором содержание органического углерода и элементов-биогенов резко убывает (табл. 1). Следует отметить, что ранее по результатам химического анализа содержание гумуса в почве травянистой экосистемы характеризовалось достаточно равномерным распределением: в дернине количество С<sub>орг</sub> составляло 1.6%, в гумусовом горизонте А<sub>дер</sub>А1 – 1.5, под ним с глубины 10 см – 1% [10].

На пр.пл. 1, как уже отмечено выше, травянистое сообщество замещается на лесное. Почва в парцеллах древесных растений, представленных березой, сосной, ивой, характеризуется наличием бурой слабо-среднеразложившейся подстилки (горизонт А0) мощностью 1.5–2.0 см, под которой следует уплотненный остаточный горизонт А<sub>дер</sub>А1 (2–3 см), затем суглинистый коричневатобурый слой техногенного слабо измененного субстрата. По физико-химическим показателям почва

Таблица 1. Физико-химические свойства почв на пробных площадях

Пробная площадь	Горизонт, глубина, см	рН <sub>вод</sub>	С <sub>орг</sub> , %	N <sub>гидр</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
							мг 100 г <sup>-1</sup>	ммоль 100 г <sup>-1</sup>
Пр.пл. 1, разнотравно-злаковое сообщество	A <sub>дер</sub> 0-2	6.5	7.2	30.8	7.7	160.2	20.5	5.8
	A <sub>дер</sub> A1 2-4(5)	5.8	1.3	5.9	16.0	92.0	8.5	3.6
	III 4(5)-10(12)	5.5	0.4	2.5	14.9	25.2	6.4	3.1
Пр.пл. 1, сосновая парцелла	A0 0-1.5	6.5	8.9	22.4	6.4	37.7	31.3	9.6
	A <sub>дер</sub> A1 1.5-5	5.6	0.8	3.1	15.0	33.5	7.1	3.6
	III* 5-10	5.4	0.2	1.4	19.3	11.7	6.0	3.3
Пр.пл. 1, ивовая парцелла	A0 0-1.5(2)	6.7	6.8	15.7	18.2	28.5	21.6	4.9
	A <sub>дер</sub> A1 1.5(2)-5	6.0	1.2	4.5	14.3	30.0	5.9	2.4
	III* 5-10	5.4	0.8	3.6	11.1	15.2	2.7	1.1
Пр.пл. 2, ольшаник хвощево-разнотравный	A0A1 0-3	5.9	7.1	5.3	17.4	73.5	20.8	6.5
	A1B 3-14	5.2	0.6	2.2	14.3	15.4	6.5	3.3
	III* 14-33	5.3	0.3	2.1	11.3	1.6	3.8	1.8
	IV* 33-43	5.3	0.1	1.9	12.4	1.2	3.3	1.3
Пр.пл. 3, березняк разнотравный	A0A1 0-5(7)	5.4	8.1	7.8	4.3	22.4	16.9	2.5
	A1 7-10	5.4	3.1	3.5	6.6	11.3	6.2	1.1
	A2B 10-20	5.3	0.3	2.2	1.7	1.6	0.7	-
	B1 20-30(33)	5.3	0.3	1.8	4.6	7.14	1.6	0.2
	B2 33-50	5.3	0.1	1.5	15.0	1.6	2.3	0.3
Пр.пл. 4, осинник разнотравный	A0A1 0-6	5.6	8.0	9.5	5.8	18.2	16.0	1.6
	A1 6-8	4.8	2.3	4.6	4.4	1.6	1.7	-
	A2B 8-19	5.2	0.4	1.8	9.2	0.5	1.0	-
	B1 19-30	5.3	0.3	1.5	11.0	1.1	3.0	0.8
B2 30-52	5.4	0.3	1.3	9.6	1.3	2.7	0.6	

Примечание. \* – техногенный слабо преобразованный слой. В табл. 1-4: прочерк – не обнаружено, не опр. – не определялось.

в парцеллах древесных растений мало отличается от деградирующей луговой почвы. Вместе с тем можно отметить, что как по морфологическим признакам, так и по химическим показателям почва на пр.пл. 1 под древесными растениями характеризуется более ясным оформлением биогенно-аккумулятивного горизонта (табл. 1). Под ольшаником на техногенном наносе (пр.пл. 2) сформировалась новообразованная слабогумусная неоподзоленная суглинистая почва. Под слоем слабо-среднеразложившихся травянистых остатков темно-серый гумусированный суглинок, обильно пронизанный корнями растений. Глубже до 10 см – светло-коричневый суглинок, без корней, далее, как и на пр.пл. 1, залегает исходный техногенный субстрат. Результаты химического анализа отражают морфологическое строение новообразованной почвы самовосстановленного лесного сообщества – под органо-аккумулятивным горизонтом (до 3 см) содержание органического углерода и элементов-биогенов резко уменьшается.

Лесные сообщества на пр.пл. 3 и 4 представляют собой стадию восстановления хвойного насаждения после выборочной рубки, не сопровождавшейся существенным нарушением почвенного покрова. Почва на обеих пробных площадях – слабодерновая слабоподзолистая суглинистая, имеет практически одинаковое строение, главной особенностью которого является четко выраженный гумусовый горизонт A1 (2–3 см) под средне-разложившейся травянисто-лиственной подстилкой малой мощности (5–7 см). Оподзоленный горизонт (A2B) выделяется слабо. Результаты химического анализа (табл. 1) согласуются с морфологическим строением. Отмечено самое высокое содержание органического углерода, азота, кальция, фосфора, калия в горизонтах A0A1 и A1, которое довольно резко убывает в минеральной части (горизонт A2B).

Таким образом, различия в состоянии почвенного покрова на пробных площадях связаны с составом растительного покрова, особенно

нижнего яруса, и обусловлены интенсивностью протекания биологических процессов трансформации растительных остатков. В почвах под спелым осинником и березняком в связи со сменой состава растительного сообщества отмечается ослабление процесса подзолообразования [10].

Атмосферные осадки на пр.пл. 1, собранные под травянистым покровом, характеризовались довольно ясным сезонным колебанием содержания элементов биогенного происхождения (табл. 2). Так, от весеннего к осенним срокам в основном возрастала концентрация органического углерода, кальция, магния, калия, азота (аммиачная и нитратная формы), фосфат-иона, что связано с фазой развития растений в течение вегетационного периода. Следует отметить также ясное сезонное изменение концентрации сульфат-иона, как и элементов-биогенов. Вместе с тем обращает на себя внимание резкое снижение количества этого иона в водах в 2007 и 2008 гг. при весьма высоком его содержании во все сезоны в 2006 г., что, по-видимому, связано не только с вегетацией растений, но и в значительной мере с загрязняющим влиянием крупного лесоперерабатывающего предприятия ОАО “Монди Сыктывкарский ЛПК”. Проведенные в 2007 г. на этом предприятии природоохранные мероприятия [2] снизили его негативное воздействие на атмосферный воздух (табл. 2).

Атмосферные осадки, проникающие под кроны сосны, березы и ивы на пр.пл. 1, отличаются по химическому составу от вод, собранных под травянистым покровом, повышенным содержанием прежде всего  $C_{орг}$ , а также элементов-биогенов  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , что связано с формой кроны деревьев и вымыванием этих веществ из листьев и хвои. В распределении веществ в кроновых водах так же, как и под травянистой растительностью, ясно выражена связь с развитием растений в течение вегетации – увеличение концентрации органического углерода, кальция, магния, азота происходит с середины лета, т.е. при полном развитии ассимиляционного аппарата кроны, и уменьшается осенью. При этом кроновые воды сосны выделялись более четким сезонным изменением концентрации  $C_{орг}$ . Отметим также понижение величины рН, связанное с увеличением содержания  $C_{орг}$ , чего не наблюдалось в кроновых водах березы.

На пр.пл. 2 воды, прошедшие через кроны ольхи, обнаруживают сходство с кроновыми водами, собранными на пр.пл. 1 под листовыми древесными растениями, по содержанию веществ не только биогенного происхождения, но и загрязнителей – сульфатов и хлоридов (табл. 2). Здесь

также хорошо прослеживаются сезонные изменения содержания элементов биогенного происхождения – увеличение их концентрации, особенно  $C_{орг}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , в соответствии с периодом вегетации. Кроме того, следует отметить повышенное содержание азота в кроновых водах ольшаника летом 2006 г. в нитратной форме и весной 2007 г. в аммиачной форме.

В табл. 3 приведены результаты химического анализа состава кроновых вод в березняке (пр. пл. 3) и осиннике (пр.пл. 4), характеризующих этап самовосстановительной сукцессии после выборочных рубок.

Кроновые воды под березой и осиной существенно не различались по концентрации органических и минеральных веществ, имели, в основном, нейтральную или близкую к нейтральной реакцию. Атмосферные осадки, прошедшие через кроны елей, характеризовались более высокой концентрацией органического углерода, калия и кальция по сравнению с водами, собранными под кронами осины и березы. Так же как и на пр.пл. 1 и 2, в березняке и осиннике хорошо выражена динамика этих элементов в соответствии с периодами вегетации, развитием листьев древесных пород. В осадках, собранных в межкروновых пространствах – “окнах”, закономерно ниже содержание органического углерода и элементов-биогенов, чем в водах под кронами деревьев. Однако концентрация химических элементов в водах, собранных в “окнах” в березняке и осиннике, выше, чем под травянистым покровом на пр.пл. 1, что обусловлено прежде всего влиянием древесных растений на состав атмосферных осадков.

Обращает на себя внимание изменение концентрации сульфат-иона в кроновых водах в листовых насаждениях пр.пл. 3 и 4. В 2006 г. в них выявлено весьма высокое содержание данного иона, которое заметно снизилось в 2007 г. Это, как уже было отмечено выше, очевидно, связано с уменьшением выбросов загрязняющих веществ в атмосферу ОАО “Монди Сыктывкарский ЛПК” [2].

Таким образом, на всех рассматриваемых пробных площадях были зафиксированы сходные тенденции по влиянию древесных растений на состав атмосферных осадков. Вместе с тем установлено, что кроновые воды, собранные под древесными растениями на участке с травянистой растительностью (пр.пл. 1), характеризуются меньшей концентрацией большинства определяемых ионов по сравнению с кроновыми водами березняка и осинника (пр.пл. 3 и 4). Это связано, по-видимому, со слабым еще развитием крон древесных растений на пр.пл. 1. Изменение содержания элементов-

**Таблица 2.** Химический состав атмосферных осадков в экосистемах, сформированных на техногенном наносе (средние значения), мг л<sup>-1</sup>

Дата отбора пробы воды	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	C <sub>орг</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Пр.пл. 1, разнотравно-злаковое сообщество										
25.05.2006 г.	6.2	0.40	0.15	7.30	1.00	0.06	7.30	2.73	1.87	0.49
19.07.2006 г.	7.1	0.64	0.53	20.77	1.24	0.01	12.00	He опр.	2.62	0.95
27.09.2006 г.	6.8	1.46	1.14	24.04	0.63	–	14.93	7.70	4.80	2.00
15.05.2007 г.	6.5	0.11	0.04	0.76	0.75	0.01	14.72	2.00	2.00	0.57
13.07.2007 г.	7.0	–	0.01	0.11	0.43	0.09	19.12	0.89	3.07	0.93
2.10.2007 г.	6.8	3.60	0.96	0.19	10.8	0.20	25.30	8.58	5.38	2.54
30.05.2008 г.	6.8	–	He опр.	1.30	9.30	0.48	11.20	2.43	5.91	1.43
29.07.2008 г.	7.4	0.16	0.68	5.77	1.21	0.47	10.86	3.22	5.78	2.10
19.09.2008 г.	7.1	–	0.06	2.88	1.93	1.30	11.84	2.97	3.19	1.15
Пр.пл. 1, под кронами сосны										
25.05.2006 г.	6.2	0.109	0.62	9.50	2.10	0.87	15.90	5.50	1.27	0.50
19.07.2006 г.	7.3	0.82	0.68	6.92	3.73	3.09	27.00	3.35	6.45	1.60
27.09.2006 г.	5.8	2.69	2.15	16.83	0.79	–	33.62	6.00	5.40	2.60
15.05.2007 г.	6.9	0.04	–	0.15	4.60	0.01	13.27	6.02	6.00	1.79
13.07.2007 г.	6.8	–	–	0.11	1.20	0.71	29.41	3.35	6.45	1.60
2.10.2007 г.	5.3	–	–	5.17	3.80	0.44	36.41	7.48	8.35	3.50
30.05.2008 г.	7.0	0.013	0.02	2.10	16.2	0.08	16.32	2.52	8.88	2.66
29.07.2008 г.	8.2	–	0.85	10.58	2.02	0.04	23.08	2.54	8.03	2.53
19.09.2008 г.	7.3	–	0.89	3.37	3.45	1.08	29.96	11.0	8.90	3.70
Пр.пл. 1, под кронами березы										
25.05.2006 г.	6.1	–	0.03	5.46	1.24	0.24	13.40	3.90	1.28	0.81
19.07.2006 г.	7.2	0.86	0.81	10.39	1.24	0.18	12.75	1.06	3.25	1.04
27.09.2006 г.	7.4	0.86	1.35	9.62	0.95	1.19	14.93	8.80	3.80	2.50
15.05.2007 г.	7.0	0.95	0.02	0.15	1.22	2.85	9.75	2.46	2.46	1.22
13.07.2007 г.	6.6	–	–	0.10	0.57	0.07	33.04	1.06	3.25	1.04
2.10.2007 г.	6.2	0.30	–	0.17	1.70	0.40	21.02	2.78	5.85	2.78
30.05.2008 г.	7.5	–	0.11	–	2.43	0.12	14.30	1.91	4.88	1.14
29.07.2008 г.	8.3	2.22	1.17	6.73	2.83	2.05	19.0	4.00	6.23	2.10
19.09.2008 г.	7.1	0.04	0.75	2.16	2.30	1.85	15.62	6.36	5.15	2.20
Пр.пл. 1, под кронами ивы										
25.05.2006 г.	6.0	–	0.12	8.00	2.10	0.24	14.7	6.10	1.45	0.56
27.09.2006 г.	7.3	1.05	1.73	21.64	0.47	6.25	18.47	18.9	7.18	4.00
15.05.2007 г.	6.7	0.118	–	0.38	1.39	0.72	9.00	1.16	5.13	1.48
13.07.2007 г.	6.9	0.31	–	–	0.99	1.37	29.28	10.0	4.82	1.69
2.10.2007 г.	5.8	–	–	0.34	1.56	3.73	33.21	22.7	11.0	4.23
30.05.2008 г.	6.4	0.37	0.35	6.01	13.3	0.1	22.3	3.13	5.07	1.64
29.07.2008 г.	9.3	–	0.95	2.88	3.24	0.61	29.87	11.9	5.63	1.65
19.09.2008 г.	8.1	–	–	0.48	1.34	1.76	18.65	11.3	5.44	2.02
Пр.пл. 2, под кронами ольхи										
25.05.2006 г.	6.0	–	0.10	8.6	1.9	0.23	12.8	4.40	1.17	0.62
19.07.2006 г.	7.4	1.20	5.62	4.62	4.97	0.10	20.62	6.27	2.97	1.31
27.09.2006 г.	6.9	10.64	He опр.	0.76	14.3	0.18	12.00	He опр.	3.91	1.40
15.05.2007 г.	7.3	1.05	1.34	14.42	0.79	0.29	10.61	17.0	5.97	2.50
13.07.2007 г.	6.6	0.96	–	0.11	1.38	0.95	18.45	6.27	2.97	1.31
2.10.2007 г.	6.5	0.03	–	0.17	2.6	0.03	30.39	17.3	5.92	2.61
30.05.2008 г.	7.1	0.04	0.33	0.96	4.45	0.13	17.10	5.19	4.21	1.38
29.07.2008 г.	7.3	–	1.15	16.83	1.82	0.41	14.93	12.4	5.87	2.67
19.09.2008 г.	7.0	0.04	0.47	8.65	1.73	0.21	13.10	15.2	5.10	1.86

**Таблица 3.** Химический состав кроновых вод в березняке и осиннике (средние значения), мг л<sup>-1</sup>

Дата отбора пробы воды	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	C <sub>орг</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Пр.пл. 3, под кронами березы										
25.05.2006 г.	6.5	0.39	0.21	10.8	6.65	1.07	11.30	2.60	5.51	1.52
19.07.2006 г.	6.8	1.31	1.53	2.31	11.18	1.17	26.62	3.40	1.29	0.61
27.09.2006 г.	6.9	1.01	1.97	12.02	0.63	0.20	33.80	7.60	2.08	1.20
15.05.2007 г.	6.6	1.24	0.01	0.29	1.50	1.82	15.00	1.32	1.16	1.02
13.07.2007 г.	6.0	0.06	–	0.90	0.78	0.71	25.28	3.40	1.29	0.61
2.10.2007 г.	5.5	–	–	0.17	1.70	0.43	23.86	7.53	1.72	1.15
30.05.2008 г.	6.9	–	0.06	1.20	0.61	0.46	9.98	0.97	1.38	0.46
29.07.2008 г.	7.3	0.04	0.73	0.96	1.82	0.20	20.36	5.78	1.69	0.60
19.09.2008 г.	6.1	–	1.09	1.68	1.15	0.42	16.88	7.11	1.48	0.56
Пр.пл. 3, под кронами ели возрастом более 120 лет										
25.05.2006 г.	6.3	0.018	0.13	18.0	2.10	0.03	17.9	2.69	7.30	3.14
19.07.2006 г.	6.3	3.93	4.33	1.15	4.97	1.51	34.50	12.45	2.92	1.47
27.09.2006 г.	6.5	4.34	5.70	14.42	0.63	–	38.12	12.6	1.99	0.97
15.05.2007 г.	5.9	0.03	–	0.26	0.99	0.77	21.38	1.70	1.51	0.96
13.07.2007 г.	6.3	10.2	0.14	0.27	3.10	3.39	56.75	12.45	2.92	1.47
2.10.2007 г.	5.7	16.98	10.0	0.46	3.30	1.46	76.04	17.47	2.28	1.36
30.05.2008 г.	6.7	0.58	0.53	2.40	3.04	0.18	22.80	4.81	2.92	1.31
29.07.2008 г.	7.3	1.68	1.93	He опр.	1.21	1.01	48.87	1.95	3.95	1.70
19.09.2008 г.	6.5	0.94	3.49	8.40	1.34	1.23	3.83	1.20	2.10	0.79
Пр.пл. 3, под кронами 80-летней ели										
25.05.2006 г.	6.9	0.27	0.86	13.7	5.90	0.67	9.34	5.50	9.70	2.99
19.07.2006 г.	6.3	3.22	3.33	3.46	6.21	0.35	31.11	8.53	2.07	1.11
27.09.2006 г.	6.4	3.18	3.32	14.31	0.79	1.16	35.37	12.3	3.33	1.29
15.05.2007 г.	5.8	0.01	–	0.12	1.04	1.35	9.00	1.51	1.32	0.61
13.07.2007 г.	6.0	0.78	–	0.10	2.19	2.50	50.00	8.53	2.07	1.11
2.10.2007 г.	6.8	11.24	–	0.10	6.0	0.45	51.83	9.91	2.41	2.45
30.05.2008 г.	6.8	0.27	0.31	0.72	2.63	0.23	21.4	5.19	2.68	1.29
29.07.2008 г.	7.2	2.54	1.54	–	2.43	0.94	42.08	1.33	3.68	1.30
19.09.2008 г.	6.3	0.25	2.57	0.48	1.92	0.49	30.70	6.39	1.90	0.57
Пр.пл. 3, “окно”										
13.07.2007 г.	6.0	–	–	0.44	0.21	0.79	18.25	1.25	0.93	0.35
2.10.2007 г.	6.6	2.75	0.15	0.19	0.99	0.50	25.31	10.24	1.77	1.02
30.05.2008 г.	7.0	0.39	0.19	6.73	0.61	0.56	14.3	2.5	1.93	0.94
29.07.2008 г.	6.7	0.23	0.28	2.40	0.61	0.17	10.86	1.7	1.07	0.35
19.09.2008 г.	6.3	–	0.2	33.7	0.38	0.3	8.10	3.57	1.17	0.4
Пр.пл. 4, под кронами осины										
25.05.2006 г.	6.3	0.87	0.09	10.7	1.24	0.12	6.81	1.85	0.97	0.46
19.07.2006 г.	7.2	1.68	0.92	6.92	2.48	0.09	14.76	5.74	4.11	1.05
27.09.2006 г.	6.7	0.49	1.11	12.0	0.47	0.05	12.58	6.9	3.50	1.01
15.05.2007 г.	6.1	0.04	–	2.20	0.76	0.60	4.87	3.91	2.03	0.67
13.07.2007 г.	6.8	0.03	0.05	0.19	0.92	0.87	38.29	5.74	4.11	1.05
2.10.2007 г.	6.2	0.73	–	0.27	2.34	0.02	24.12	8.25	6.92	1.61
30.05.2008 г.	7.0	–	0.06	2.40	1.01	0.26	1.85	3.19	2.12	0.64
29.07.2008 г.	7.4	–	0.53	10.1	1.42	0.32	13.57	6.54	7.40	1.63
19.09.2008 г.	6.8	–	0.70	3.61	1.53	0.13	13.10	5.96	8.10	1.53

Таблица 3 (окончание)

Дата отбора пробы воды	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	C <sub>орг</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Пр.пл. 4, под кронами 80-летней ели										
25.05.2006 г.	6.4	2.70	0.12	9.40	2.40	1.00	19.7	7.50	1.65	1.00
19.07.2006 г.	6.9	2.81	3.69	5.77	3.73	1.23	34.75	11.86	3.82	1.49
27.09.2006 г.	6.6	2.88	10.1	11.92	1.11	1.79	36.16	16.6	5.03	1.52
15.05.2007 г.	6.5	10.32	0.02	1.80	1.94	2.01	18.00	1.95	1.70	0.70
13.07.2007 г.	5.6	–	1.00	0.06	4.0	1.65	34.61	11.57	3.43	1.15
2.10.2007 г.	6.3	0.79	0.01	0.42	0.84	2.57	56.74	11.86	3.82	1.49
30.05.2008 г.	6.1	0.21	0.45	1.68	2.23	0.16	18.5	4.54	1.95	0.66
29.07.2008 г.	7.2	–	0.85	4.81	1.42	0.98	39.37	6.39	3.89	1.20
19.09.2008 г.	6.7	2.34	2.46	1.20	2.88	1.21	28.2	8.6	2.11	0.57
Пр.пл. 4, “окно”										
13.07.2007 г.	6.5	0.76	–	0.04	1.56	0.02	23.00	2.84	2.33	0.49
2.10.2007 г.	6.2	0.08	–	0.86	2.20	2.15	21.97	11.55	5.68	1.58
30.05.2008 г.	6.4	–	0.03	0.48	0.61	0.10	8.55	0.71	1.33	0.30
29.07.2008 г.	7.3	0.94	0.6	10.58	0.81	0.14	12.76	1.75	2.21	0.51
19.09.2008 г.	6.7	–	0.64	3.37	0.77	0.47	8.10	3.0	1.93	0.50

биогеоценоз связано с развитием растений в течение вегетации. Ясно проявляется динамика некоторых элементов-загрязнителей. Состав атмосферных осадков преобразуется древесными растениями в зависимости от их породы (хвойные, лиственные). Кроновые воды ели и сосны на всех пробных площадях характеризуются большей концентрацией органических и некоторых минеральных компонентов, чем воды под кронами лиственных пород. Поступающие с кроновыми водами вещества мигрируют в лесную подстилку, просачиваются в лежащие ниже почвенные горизонты, участвуя в почвообразовательном процессе.

Ниже приведен химический состав лизиметрических вод, мигрирующих в минеральную толщу из биогеоценозно-аккумулятивного горизонта (табл. 4). Ранее в подзоне средней тайги на территории Республики Коми состав лизиметрических вод исследовался нами в типичной подзолистой почве под ельником зеленомошным [1], а в последние годы Т.А. Пристовой [12, 13] – в иллювиально-железистом подзоле под хвойно-лиственными насаждениями. Было установлено, что состав атмосферных вод преобразуется, главным образом, в верхнем слое почвы (до глубины примерно 20–30 см), где проявляется наибольшая биологическая активность. Поэтому лизиметры на всех пробных площадях были установлены под органогенный горизонт.

Выявлено, что из органогенного горизонта почв в минеральные горизонты поступают воды, имеющие

слабокислую реакцию (табл. 4). Величина pH лизиметрических вод, собранных в березняке и осиннике, несколько ниже по сравнению с ольшаником и разнотравно-злаковым сообществом.

Состав лизиметрических вод характеризуется в целом годовой и сезонной динамикой, обусловленной развитием биотической компоненты. В водах осеннего срока возрастает, часто существенно, концентрация органического вещества и минеральных элементов (кальция, калия). Изменения заметнее выражены в ольшанике, спелом березняке и осиннике по сравнению с разнотравно-злаковым сообществом (пр.пл. 1).

Лизиметрические воды характеризуются низкой концентрацией ионов аммония, в большем количестве присутствуют нитрат-ионы, особенно в ольшанике, поскольку ольха серая обладает способностью обогащать почву азотом. Количество сульфат-иона повышено в лизиметрических водах, собранных осенью 2006 г., что хорошо согласуется с его содержанием в кроновых водах, обусловленным загрязнением атмосферных осадков, и свидетельствует о загрязнении органогенного горизонта почв.

Следует обратить внимание на интенсивность разложения отмершей растительной массы. Было установлено [19], что в 2007 г. остатки травянистых растений на пр.пл. 1 за один сезон разложились на 67%, масса напочвенного покрова в березняке и осиннике (пр.пл. 3 и 4), состоящая из опада листьев и травянистых остатков, –

**Таблица 4.** Химический состав лизиметрических вод (средние значения), мг л<sup>-1</sup>

Дата отбора проб воды	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	C <sub>орг</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Пр.пл. 1, разнотравно-злаковое сообщество										
25.05.2006 г.	6.5	–	0.04	–	2.40	0.10	18.50	2.92	3.77	1.19
27.09.2006 г.	6.3	3.37	1.63	9.62	0.32	0.24	18.86	1.33	5.51	1.33
15.05.2007 г.	5.0	0.11	2.70	0.35	3.30	0.66	9.75	3.22	4.22	1.41
18.10.2007 г.	5.6	–	1.37	0.29	0.57	0.10	21.69	0.17	3.47	1.40
30.05.2008 г.	5.4	0.68	0.47	4.81	6.73	0.23	13.40	3.37	6.67	4.02
19.09.2008 г.	6.2	0.04	1.12	2.88	1.15	1.27	18.10	7.14	7.81	4.18
Пр.пл. 2, ольшаник хвощево-разнотравный										
25.05.2006 г.	6.6	0.24	0.03	2.40	2.60	0.37	25.7	4.20	3.04	1.15
27.09.2006 г.	6.0	2.02	24.06	12.00	0.63	0.93	23.19	11.42	7.75	3.12
15.05.2007 г.	5.9	0.02	5.32	5.00	2.60	0.10	21.69	4.17	3.47	1.40
18.10.2007 г.	6.2	–	18.64	1.24	7.00	2.70	41.41	24.38	11.0	4.26
30.05.2008 г.	5.9	0.70	11.72	2.40	6.33	1.30	23.80	17.45	8.87	3.28
19.09.2008 г.	6.1	0.12	31.47	2.40	5.75	3.65	40.80	35.00	11.9	4.17
Пр.пл. 3, березняк разнотравный										
25.05.2006 г.	6.5	–	0.02	0.40	2.70	0.02	26.10	3.40	2.62	0.95
27.09.2006 г.	5.2	2.66	14.06	12.02	0.79	1.61	36.16	13.00	4.88	1.56
15.05.2007 г.	4.7	0.05	–	0.20	3.80	0.96	10.05	4.50	5.84	4.30
18.10.2007 г.	5.0	–	6.65	0.36	1.20	0.10	48.97	4.80	5.06	1.28
30.05.2008 г.	5.2	0.62	1.17	4.81	2.04	0.33	28.20	3.62	3.00	0.90
19.09.2008 г.	4.9	2.69	10.87	0.72	0.96	0.47	33.30	5.60	5.44	1.36
Пр.пл. 4, осинник разнотравный										
25.05.2006 г.	6.6	–	0.03	1.40	1.00	0.40	15.80	2.42	2.34	0.79
27.09.2006 г.	5.3	1.61	7.99	11.92	0.32	0.33	15.72	2.56	3.63	1.03
15.05.2007 г.	4.7	0.08	–	0.18	1.55	0.62	8.62	4.22	3.03	0.64
18.10.2007 г.	4.7	0.01	0.04	0.27	2.03	0.02	31.17	2.57	3.05	0.74
30.05.2008 г.	5.1	0.76	0.84	6.01	2.45	0.26	20.80	3.62	2.85	0.83
19.09.2008 г.	5.0	0.04	4.08	2.40	1.73	0.55	25.20	5.92	2.87	0.65

на 30–50%. Это связано с более благоприятными условиями вегетационного периода (в июле 2007 г. температура воздуха достигала 30 °С) [2]. Заметим, что в лизиметрических водах, собранных осенью, наблюдалось увеличение концентрации C<sub>орг</sub> в 4–5 раз в березняке и осиннике и в 2 раза – под травянистой растительностью и в ольшанике по сравнению с весенним сезоном. При этом соотношение органического углерода и кальция в березняке и осиннике осенью расширяется, тогда как в разнотравно-злаковом сообществе и ольшанике оно остается в основном узким и сохраняется в одних и тех же пределах весной и осенью. Эти данные позволяют заключить, что состав водорастворимых органических веществ, мигрирующих в течение вегетационного периода в минеральную толщу, различается в зависимости от типа растительного сообщества и интенсивно-

сти разложения растительных остатков. Можно полагать, что в березняке и осиннике из подстилки, которая разлагается медленнее, чем травянистые остатки на пр.пл. 1, интенсивнее выносятся гидрофильные, более подвижные вещества [6], чем в травянистом сообществе.

**Выводы.** 1. Трансформацию атмосферных осадков, проникающих через растительный покров, определяет растение-эдикатор. Выявлена общая закономерность – увеличение в основном концентрации элементов-биогенов в соответствии с фазами развития растений в течение вегетации (от весны к лету и осени).

2. В березняке и осиннике состав кроновых вод различается под листовыми и хвойными древесными растениями, особенно по содержанию органического углерода, калия, кальция. В водах, собранных в межкрупных пространствах (“ок-

нах”), зафиксированы меньшая концентрация основных элементов биогенного происхождения и более резкие колебания их содержания в течение вегетационного периода. Отмеченное отражает парцеллярный характер сложения растительного сообщества лесной экосистемы, что проявляется уже на стадии возобновления древесных растений в травянистом сообществе.

3. По сравнению с осадками, собранными под травянистой растительностью, воды под кронами древесных растений отличаются большей концентрацией органического вещества и элементов-биогенов – калия, кальция, магния.

4. Воды, собранные под кронами древесных растений на участке со злаково-разнотравным сообществом, а также в ольшанике, характеризуются сходством химического состава с кроновыми водами в березняке и осиннике, но меньшей концентрацией большинства компонентов в связи со слабо развитой кроной древесных растений на начальной стадии их развития.

5. Вымываемые из кроны древесных растений органическое вещество и минеральные элементы-биогены попадают в органогенный горизонт и используются растениями, микробиотой как “дополнительный” источник питательных веществ, что особенно важно в весенний период до формирования ассимиляционного аппарата растений. Однако соотношение между органическим углеродом и кальцием в водах из органо-аккумулятивного горизонта в березняке и осиннике осенью расширяется, что позволяет сделать заключение о миграции в минеральную массу более реакционно-способного органического вещества.

6. В лизиметрических водах под биогенно-аккумулятивным горизонтом содержание всех рассматриваемых элементов снижается, что обусловлено их закреплением в органогенном горизонте. Можно полагать, что оседают из мигрирующих вод прежде всего органо-минеральные соединения с выраженными коллоидными свойствами. В лизиметрических водах также выражена сезонная динамика – увеличение осенью концентрации органического вещества, калия, кальция. Содержание органического вещества зависит от интенсивности разложения растительных остатков и соотношения с кальцием и магнием.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арчегова И.Б. Химический состав лизиметрических вод // Продуктивность и круговорот элементов в фитоценозах Севера. Л.: Наука, 1975. С. 68–83.

2. Государственный доклад “О состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2007 году”. Сыктывкар: Изд-во Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГУ “ТФИ РК”, 2008. 152 с.
3. Гришина Л.А., Владыченский А.С., Окунева Р.М. Динамика химического состава почвенных растворов и лизиметрических вод в ельниках // Организация экосистем ельников южной тайги. М.: Наука, 1975. С. 134–148.
4. Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А., Проислер Т., Кеннел М., Гитл Г., Горчарук Н.Ю., Минаева Т.Ю. Воздействие полога ельника сложного на химический состав осадков // Лесоведение. 1998. № 1. С. 50–59.
5. Куликова В.К. Выщелачивание элементов питания из кроны деревьев в еловых и березово-еловых насаждениях Карелии // Лес и почва. Красноярск: Красноярское книжное издательство, 1968. С. 288–295.
6. Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М.: ГЕОС, 2009. 185 с.
7. Морозова Р.М., Куликова В.К. Роль атмосферных осадков в круговороте азота и зольных элементов в еловых лесах Карелии // Почвенные исследования в Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1974. С. 143–149.
8. Никонов В.В., Лукина Н.В. Влияние ели и сосны на кислотность и состав атмосферных выпадений в северотаежных лесах индустриально-развитого региона // Экология. 2000. № 2. С. 97–105.
9. Пономарева В.В., Рожнова Т.А., Сотникова Н.С. Особенности биологического круговорота в хвойных лесах гумидного климата по результатам лизиметрических исследований // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971. С. 220–226.
10. Посттехногенные экосистемы Севера. СПб.: Наука, 2002. 159 с.
11. Пристова Т.А. Влияние древесного полога листовенно-хвойного насаждения на химический состав осадков // Лесоведение. 2005. № 5. С. 49–55.
12. Пристова Т.А. Кислотность и химический состав почвенных вод иллювиально-железистого подзола листовенно-хвойного насаждения средней тайги. Сыктывкар, 2005. 26 с. (Науч. докл. Коми НЦ УрО РАН. Вып. 468).
13. Пристова Т.А., Забоева И.В. Химический состав атмосферных осадков и лизиметрических вод подзола иллювиально-железистого под хвойно-лиственными насаждениями (Республика Коми) // Почвоведение. 2007. № 12. С. 1472–1481.

14. *Родин Л.Е., Базилевич Н.И.* Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности земного шара. М.; Л.: Наука, 1965. 252 с.
15. *Снакин В.В., Пристяжная А.А., Рухович О.В.* Состав жидкой фазы почв. М.: Изд-во РЭФИА, 1997. 325 с.
16. *Ушакова Г.И.* Биогеохимическая миграция элементов и почвообразование в лесах Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1997. 150 с.
17. *Фролова Л.Н.* Особенности почвообразования в еловых лесах в связи со сменой пород в условиях Коми АССР: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 1965. 18 с.
18. *Шилова Е.И., Коровкина Л.В.* Сезонная динамика химического состава лизиметрических вод подзолистых тяжелосуглинистых почв // Почвоведение. 1961. № 3. С. 36–47.
19. Экологические принципы природопользования и природовосстановления на Севере. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2009. 176 с.

## **The Influence of Woody Plants on the Chemical Composition of Atmospheric Precipitation in the Course of Restoration of Middle Taiga Forests**

**I. B. Archegova, E. G. Kuznetsova**

The chemical composition of precipitation penetrating through tree crowns and of lysimetric waters was analyzed in the course of self-restoration of middle taiga ecosystems in the Republic of Komi (Russia). The transformation of precipitation penetrating through the vegetation cover is determined by the plant-edifier. The dynamics of the organic carbon and biogenic element (potassium, calcium, and magnesium) contents in the crown and lysimetric waters at different developmental phases of plants have been estimated. At the stage when trees are incorporated into the grass community and in the mature deciduous forest, the chemical composition of the waters investigated reflects the parcel structure of the forming forest ecosystems.