

УЧАСТИЕ ВОДО-МИГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПОЧВЫ НА ЭТАПЕ САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ

Е.Г. Кузнецова, И.Б. Арчегова, А.Н. Панюков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар
E-mail: kuznecova@ib.komisc.ru

Аннотация: Изучен качественно-количественный состав мигрирующих водорастворимых веществ в процессе формирования почвы на этапе самовосстановления лесной экосистемы в подзоне средней тайги на северо-востоке европейской части России. Химический состав атмосферных осадков, проходящих через кроны деревьев (кроновых вод), и лизиметрических вод отражает парцеллярную структуру растительного сообщества формирующейся лесной экосистемы и соответствующую неоднородность почвенного покрова. В процессе вертикальной миграции продуктов трансформации растительного опада оформляется органо-аккумулятивный слой почвы, обеспечивающий устойчивые условия питания и развития формирующегося лесного сообщества.

Ключевые слова: почва, лесная экосистема, самовосстановительная сукцессия, атмосферные осадки, кроновые и лизиметрические воды

Введение

В комплексе исследований почвообразования изучение процесса вертикальной миграции водорастворимых продуктов биологической трансформации отмирающей фитомассы позволяет выявить сопряженный процесс преобразования органического (растительного) вещества и дифференциации минеральной породы на морфологически выраженные слои (горизонты). Можно полагать, что именно миграция продуктов биологического оборота органического вещества, в том числе гумуса, является необходимой частью в системе формирования специфического природного образования – почвы, имеющего свои особенности в широком разнообразии природно-климатических условий на Земле. Состав вод, мигрирующих из органо-аккумулятивного слоя (лизиметрических вод), определяется в основном процессом биогенной трансформации отмирающей фитомассы.

В лесной зоне, занимающей значительную часть территории нашей страны, атмосферные осадки, проходящие через древесный ярус (кроновые воды), изменяются по составу за счет растворимых продуктов жизнедеятельности растений и других организмов, а также загрязняющих веществ техногенного происхождения. Состав кроновых вод зависит от вида деревьев (лиственные, хвойные), сезона года, частоты и интенсивности осадков и других факторов. Водорастворимые вещества, поступающие с кроновыми водами, включаются в биологический круговорот, участвуя в почвообразовании. Таким образом, изучение водо-миграционных процессов позволяет выявить функциональную связь компонентов в системе «растение – почва».

Состав кроновых и лизиметрических вод в лесных экосистемах активно изучали начиная с 60-х гг. XX в. (Шилова, 1961, 1974; Фролова, 1968; Пономарева, 1971; Снакин, 1997; Воздействие полога..., 1998; Никонов, 2000 и др.). Од-

нако, публикаций по материалам исследований водо-миграционных процессов в почвах таежной зоны европейского северо-востока России немного (Пристова, 2005, 2007, 2014; Экологические принципы..., 2009; Арчегова, 2011).

В настоящей статье обсуждены результаты изучения химического состава кроновых и лизиметрических вод в процессе самовосстановления основных компонентов лесной экосистемы (растительного сообщества и почвы) на посттехногенном участке в подзоне средней тайги на северо-востоке европейской части России (Республика Коми). Анализируется роль водо-миграционных процессов в формировании почвы.

Объекты и методы исследования

Исследование проводили на стационарном участке «17 км» Института биологии Коми НЦ УрО РАН (подзона средней тайги). Участок расположен вдоль автотрассы Сыктывкар-Киров в 17 км к юго-западу от г. Сыктывкара (61°34' с.ш., 50°38' в.д.).

Климат района умеренно-континентальный, характеризуется длительной холодной зимой с устойчивым снежным покровом и коротким прохладным летом. Среднегодовая температура воздуха +0.4 °С. Средняя температура наиболее холодного зимнего месяца (января) составляет –15.1 °С, самого теплого месяца (июля) +16.6 °С. Средняя продолжительность вегетационного периода (температура воздуха превышает +10 °С) составляет от 90 до 105 дней. Среднегодовая сумма осадков – 560 мм. В течение зимы сохраняется устойчивый снежный покров, средняя высота которого к концу марта на открытых местах достигает 55 см, в лесу – 70 см.

В настоящей статье обсуждаются результаты, полученные за период 2011-2013 гг. Годы, в течение которых проводили исследования, различались по основным метеорологическим показателям. Более теплым вегетационным периодом

характеризовался 2013 г. с максимальной температурой в июле +32 °С, в августе +28 °С (данные метеостанции «Сыктывкар»). Наибольшее количество жидких осадков выпало в 2012 г. (143 мм в июне, 118 мм в июле), наименьшее – в 2013 г. (в те же сроки 35 и 32 мм соответственно).

Коренным типом растительности на рассматриваемой территории являются ельники зеленомошные. В связи с усилением хозяйственного использования земель еловые леса сменяются смешанными насаждениями с преобладанием в составе древостоя березы и осины.

Почвообразующими породами служат преимущественно пылеватые покровные суглинки, подстилаемые моренными суглинками, а также песчаные и супесчаные породы, подстилаемые суглинками (двучлены). На территории района распространены почвы подзолистого, болотно-подзолистого и болотного типов.

Наблюдения осуществляли на постоянной пробной площадке (около 150 м²), расположенной на расстоянии 10-15 м от автотрассы Сыктывкар–Киров, реконструированной в 80-х гг. XX в. Субстрат площадки – пылеватый покровный суглинок, оставшийся после реконструкции трассы вдоль нее ровной полосой (около 50 м шириной, протяженностью около 2 км). На этой полосе за период около 20 лет в ходе самовосстановительной сукцессии сформировалось многолетнее разнотравно-злаковое сообщество, которое в последующие 10-15 лет замещается на лесное в результате самовозобновления древесных растений (березы, сосны, ивы и др.), образующих парцеллы. А.П. Шенников (1964), характеризуя самовосстановление разрушенного коренного типа леса в таежной зоне, отмечает сукцессионный характер этого процесса и выделяет четыре этапа последовательно сменяющихся типов растительных сообществ: травяное сообщество; сообщество «временных» древесных пород (береза, сосна, ивы, осина и др.); смешанные сообщества из «временных» пород с елью; еловый лес, сходный с исходным. Наши комплексные исследования проводятся в соответствии со стадийностью, предложенной А.П. Шенниковым, – с этапа замещения травяного сообщества на лесное (Экологические принципы..., 2009; Арчегова, 2011).

Методологический подход в исследованиях основан на принципе системности (Арчегова, 2003). С его позиций любая природная экосистема рассматривается как целостное образование, состоящее из взаимосвязанных и взаимообусловленных структур: биоты (растительного сообщества и зоо-микробного комплекса, трансформирующей отмирающую фитомассу) и продуктивного слоя, т.е. почвы. Компоненты экосистемы связывает механизм биологического оборота органического (растительного) вещества и энергии. Каждый компонент не существует и не эволюционирует вне экосистемы. Системообразующей

структурой, определяющей тип и особенности конкретной экосистемы, является растительное сообщество.

При проведении исследований использовали традиционные в почвоведении и геоботанике методы (Полевая геоботаника..., 1964; Теория и практика..., 2006). Названия сосудистых растений даны в соответствии с системой, предложенной С.К. Черепановым (1995). Изучение биологической продуктивности проводили по Л.Е. Родину и др. (1967). Образцы почвы отбирали в период вегетации по горизонтам. В образцах определяли рН, содержание $C_{орг.}$, $N_{гидр.}$, обменных оснований Ca^{2+} , Mg^{2+} , подвижных форм K_2O и P_2O_5 .

Для сбора кроновых и лизиметрических вод были установлены пластмассовые сосуды с воронками диаметром 12 см (площадь 113 см²). Для сбора кроновых вод сосуды устанавливали под кронами сосны, березы и ивы. Следует отметить, что на сохранившемся узкой полосой травянистом участке высота трав достигла 60-80 см. Это позволило собирать атмосферные осадки, проходящие через травяной ярус. Лизиметры были заложены на сохранившемся травянистом участке и в парцеллах древесных растений. Для сбора лизиметрических вод сосуды устанавливали под биогенно-аккумулятивный горизонт и под следующий ниже минеральный слой. Во всех объектах сосуды устанавливали в трех повторностях. Сбор вод осуществляли в начале (конец мая–начало июня) и конце (конец сентября–начало октября) вегетации. Кроновые воды собирали также летом после сильных дождей (преимущественно в июле).

В водах определяли рН и содержание веществ, которые играют важную роль в питании растений, – NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , $C_{орг.}$, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и возможных загрязнителей – SO_4^{2-} , Cl^- . Величину рН определяли потенциометрически, содержание NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , – фотометрически, Cl^- – меркурометрически, K^+ – на спектрометре SP-90A (Великобритания), Ca^{2+} , Mg^{2+} – на атомно-адсорбционном спектрофотометре фирмы Hitachi (Япония), $C_{орг.}$ – по Тюрину. Химические анализы вод и почв были проведены в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Результаты и их обсуждение

Как отмечено выше, на рассматриваемой пробной площади разнотравно-злаковое сообщество сохранилось узкой полосой вдоль границы участка. В травостое доминируют луговые злаки (*Agrostis gigantea* Roth, *Phleum pratense* L., *Dactylis glomerata* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv., *Festuca pratensis* Huds., *Calamagrostis canescens* (Web.) Roth). Сохраняются пионерные и сорные виды: *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop, *Picris hieracioides* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Taraxacum officinale* Wigg., *Tussilago farfara* L., ука-

зывающие на посттехногенное происхождение растительности. В третьем десятилетии видовое разнообразие травяного сообщества увеличивается за счет внедрения лесных и опушечных видов: *Equisetum sylvaticum* L., *Ajuga reptans* L., *Aegopodium podagraria* L. и др. Всего в травяном ярусе, общее проективное покрытие (ОПП) которого составляет 100%, отмечено 32 вида сосудистых растений. Моховой покров не развит.

В последние 15 лет на площадке происходит замещение разнотравно-злакового сообщества на лесное в результате естественного самовозобновления березы, сосны, ивы. Формирование лесной экосистемы происходит с образованием отдельных парцелл (групп), приуроченных к разным видам древесных растений.

Парцеллы сосны образованы одним-тремя деревьями, их высота достигает 12-16 м, диаметр стволов 13-20 см. Присутствуют подрост березы высотой 1-4 м и кусты ивы. Высокая сомкнутость крон (до 0.8-0.9), низкая освещенность обуславливают угнетение травяного яруса, ОПП которого 20-30%. Число видов – 20, что заметно меньше, чем в травяном сообществе. Наиболее обильны *Fragaria vesca* L. и *Prunella vulgaris* L. – опушечные виды, способные переносить затенение. Из типичных лесных видов можно отметить *Equisetum sylvaticum*, *Rubus saxatilis* L., *Vicia sylvatica* L. Сохраняются и луговые элементы – вегетативные побеги злаков *Agrostis gigantea*, *Dactylis glomerata*, *Deschampsia cespitosa*, а также разнотравья, однако встречаются они редко или единично.

Березовая парцелла также характеризуется довольно высокой сомкнутостью крон (0.8), однако это достигается не столько развитием двух-трех крупных экземпляров деревьев, как в сосновой парцелле, сколько большим числом особей подроста. Здесь эдификаторную роль играют деревья березы повислой высотой около 8 м и многочисленный подрост и тонкомер высотой до 4 м, которые расположены довольно плотно. Общее число видов сосудистых растений в березовой парцелле – 29, ОПП травяного яруса – 30-40%. Наиболее обильны *Equisetum sylvaticum* и *Picris hieracioides*; присутствуют также лесные виды, такие как *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, характерный для лиственных лесов, *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Vicia sylvatica* и некоторые другие. Однако благодаря лучшей освещенности, в отличие от сосновой парцеллы здесь сохраняется больше элементов лугового сообщества (*Agrostis gigantea*, *Deschampsia cespitosa*, *Trifolium pratense* L., *Achillea millefolium* L., *Ranunculus acris* L. и некоторые другие).

Итак, особенности преобразования травянистого сообщества при замещении его на лесное определяются видом древесных растений (хвойный, лиственный), их индивидуально групповым (парцеллярным) размещением, что обуславли-

ет первичную пространственную пестроту, характеризующую лесные экосистемы.

Следует обратить внимание на количественные показатели фитомассы в парцеллах. В отличие от травяного сообщества на участке с древесными растениями основное количество поступающей на поверхность почвы растительной мортмассы в парцеллах приходится на опад древесно-кустарникового яруса. При этом состав опада, формирующего лесную подстилку, значительно варьирует в соответствии с парцеллярным строением растительного сообщества. Так, в сосновой парцелле масса листового опада древесно-кустарникового яруса, поступающего на поверхность почвы, составляет 347 г/м² за год. Доля хвой составляет 33% общего опада, доля опада листьев березы и ивы – 19.7 и 18.6% соответственно. В парцелле березы масса листового опада – 205 г/м² за год, при этом листья березы, ивы составляют 41.6 и 28.4% соответственно. В обеих парцеллах при близкой по величине наземной фитомассы за год (364 г/м² в сосновой и 329 г/м² – в березовой) меняется видовой состав травянистых растений.

При оценке скорости разложения растительного опада установлено, что в травяном сообществе смешанный образец остатков растений за год разложился на 50%, в березовой парцелле листья березы – на 22%, в сосновой парцелле хвоя сосны – на 15%. Изменение качественно-количественного состава растительной массы обуславливает накопление на поверхности почвы слабо разложившихся растительных остатков. Меньшая скорость разложения листового опада в парцеллах древесных растений по сравнению с разнотравно-злаковым фитоценозом свидетельствует о начале формирования лесной подстилки, т.е. о преобразовании биогенно-аккумулятивного слоя.

Почва в ходе самовосстановительной сукцессии преобразуется в соответствии с изменением растительного сообщества, качества и количества поступающей в субстрат фитомассы.

На участке с разнотравно-злаковым сообществом формирование почвы происходит по типу луговой. В почве небольшой по мощности биогенно-аккумулятивный слой морфологически разделен на дернину (гор. Адер) и гумусовый горизонт (А1). Под этим слоем мощностью около 10 см залегает слабо измененный техногенный субстрат.

Почва на остающейся части замещаемого травяного сообщества еще сохраняет общие морфологические черты, сформированные ранее. Однако изменение видового состава сообщества (снижение доли растений-задернителей) проявляется в заметном ослаблении слоя дернины, уменьшении общей мощности биогенно-аккумулятивного слоя. На поверхности почвы выражен слой мощностью до 2 см из отмерших слаборазложив-

шихся растительных остатков. Профиль почвы имеет следующее строение:

Адер 0-2 см Остаточный дерновый горизонт, слабо уплотнен корнями, темно-серый суглинистый, легко крошится.

А1 2-3 см Суглинок средний, темно-серый, гумусированный, рыхлый, еще довольно много корней. Переход ясный по цвету.

С 3-12 см Суглинок средний, светло-коричневый, уплотнен, бесструктурный, корней очень мало, слабо преобразованная порода.

Почва слабодернованная, суглинистая.

В парцелле сосны соответственно изменению состава и обилия видов напочвенного покрова проявляются изменения в строении почвы, в ней дернина уже замещена лесной подстилкой, не выражен морфологически гумусовый горизонт.

А0 0-1(2) см Лиственнично-хвойная подстилка, темно-бурая, слабо разложившаяся, рыхлая.

В 1(2)-5(6) см Суглинок легкий, серо-коричневый, слабо уплотнен.

1С 5(6)-10 см Суглинок средний, светло-коричневый, плотный, слабо преобразованная порода.

2С 10-20 см Суглинок средний, коричневый, плотный, слабо преобразованная порода.

Почва переходная к лесной, слабо дифференцированная.

В парцелле березы, несмотря на довольно богатый видовой состав травяного яруса, большинство видов встречается редко или единично. Соответственно подстилка сформирована преимущественно лиственным опадом с небольшой долей остатков травянистых растений. Формирующаяся почва характеризуется следующим строением:

А0 0-3 см Лиственнично-травяная подстилка, черная, слабо разложившаяся, рыхлая.

А1 3-7 см Суглинок средний, темно-серый, гумусированный, рыхлый.

С 7-30 см Суглинок средний, светло-коричневый, уплотнен, слабо преобразованная порода.

Почва переходная к лесной, слабо дифференцированная.

Физико-химические показатели почвы (табл. 1) в целом отражают происходящее ее преобразование. В группах древесных растений выражена аккумуляция грубого гумуса в формирующейся под-

стилке и элементов-биогенов, что характерно для почв лесной экосистемы.

Таким образом, парцеллярная структура растительного сообщества формирующейся лесной экосистемы обуславливает пространственную неоднородность почвенного покрова. Образование лесной подстилки в каждой парцелле происходит в зависимости от вида-эдификатора (лиственнично-хвойной подстилки в сосновой парцелле, лиственнично-травяной – в березовой).

Преобразование биогенно-аккумулятивного слоя при смене растительного сообщества в ходе самовосстановительной сукцессии отмечают исследователи и в других регионах (Андроханов, 2000; Махонина, 2003; Абакумов, 2006).

В соответствии с изменением качественно-количественного состава растительности выявлены особенности химического состава вод, проходящих через нее.

На участке с разнотравно-злаковым сообществом были проанализированы атмосферные осадки, проникающие через травяной ярус. По результатам химического анализа воды характеризуются слабощелочной или близкой к нейтральной реакцией, повышенным содержанием органического углерода ($C_{орг.}$) и минеральных элементов – калия, кальция, магния (табл. 2), вымывающихся из растений. Результаты анализа показывают четкое сезонное изменение состава атмосферных осадков в соответствии с вегетацией растений. Содержание водорастворимого органического углерода, азота, калия, кальция возрастает в осенних водах. Колебания по годам наблюдений связаны с погодными условиями.

В целом, атмосферные осадки, проникающие под кроны деревьев сосны и березы, отличались по химическому составу от вод, собранных в разнотравно-злаковом сообществе, более высоким содержанием прежде всего $C_{орг.}$, а также элементов-биогенов – калия, кальция, магния. Это связано с вымыванием этих веществ из листьев и хвои (табл. 2).

Состав атмосферных осадков в парцеллах заметно преобразуется в зависимости от вида древесного растения. В кроновых водах сосны отмечена большая концентрация органического угле-

Таблица 1

Физико-химические свойства почв

Местоположение разреза	Горизонт, глубина, см	pH _{вод.}	C _{орг.} , %	N _{гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺
				мг/100 г			ммоль/кг	
Разнотравно-злаковое сообщество	Адер 0-2	6.7	2.61	4.7	20.48	29.4	11.06	5.8
	А1 2-3	7.1	1.68	13.7	18.5	13.12	9.37	3.6
	С 3-12	6.7	0.36	4.42	20.52	12.73	10.05	3.1
Сосновая парцелла	А0 0-1(2)	5.9	5.5	15.46	24.3	42.54	19.1	9.6
	В 1(2)-5(6)	5.3	0.41	8.68	21.12	12.55	6.5	3.6
	С 10-20	5.1	0.27	5.94	23.67	10.9	7.75	3.3
Березовая парцелла	А0 0-3	6.7	6.8	15.7	18.2	28.5	21.6	4.9
	А1 3-7	6.0	1.2	4.5	14.3	30.0	5.9	2.4
	С 7-20	5.4	0.8	3.6	11.1	15.2	2.7	1.1

Химический состав атмосферных осадков и кроновых вод (средние значения), мг/дм³

Дата отбора проб воды	Показатель									
	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Разнотравно-злаковое сообщество										
23.05.2011 г.	7.2	1.83	0.28	н/о	2.55	0.01	7.92	2.02	5.26	1.91
29.07.2011 г.	7.2	1.61	0.21	4.42	2.63	0.31	12.0	5.20	4.27	1.99
07.10.2011 г.	6.5	0.40	1.86	1.2	1.32	н/о	16.9	4.84	5.50	1.80
04.06.2012 г.	6.6	н/о	2.26	н/о	1.72	0.05	6.50	1.43	2.80	1.19
26.07.2012 г.	7.1	0.23	0.22	н/о	1.15	0.07	9.72	3.49	3.99	1.03
02.10.2012 г.	6.5	0.39	0.55	н/о	2.16	0.46	15.2	4.58	6.97	1.61
29.05.2013 г.	5.6	0.21	0.24	н/о	2.99	0.07	16.0	0.65	2.16	0.42
30.07.2013 г.	7.9	17,6	1.19	40.83	10.44	13.44	38.22	19.6	5.32	1.92
10.10.2013 г.	6.7	0.52	0.68	3.84	2.33	0.65	24.0	3.68	1.89	0.81
Под кроной сосны (сосновая парцелла)										
23.05.2011 г.	7.6	0.92	0.37	2.5	20.8	н/о	30.7	1.91	9.24	4.44
29.07.2011 г.	8.0	2.82	1.92	н/о	2.47	0.06	43.20	5.95	11.1	5.25
07.10.2011 г.	7.4	13.3	0.13	0.72	6.60	3.96	39.52	12.6	12.0	4.65
04.06.2012 г.	6.9	0.35	0.29	н/о	12.4	0.03	20.3	1.64	9.53	3.90
26.07.2012 г.	8.2	0.59	1.15	н/о	1.44	0.08	31.60	5.40	11.7	3.12
02.10.2012 г.	7.1	0.35	1.27	н/о	2.30	0.15	30.10	7.25	11.9	3.92
29.05.2013 г.	7.1	1.62	9.1	1.62	9.1	1.62	19.1	1.62	9.1	1.62
30.07.2013 г.	7.1	0.96	2.16	16.81	7.75	0.24	38.22	5.20	8.42	1.83
10.10.2013 г.	7.3	2.2	2.53	н/о	11.3	0.62	48.0	13.6	10.8	3.90
Под кроной березы (березовая парцелла)										
23.05.2011 г.	8.3	0.44	0.13	н/о	11.4	0.04	11.50	1.30	5.46	1.96
29.07.2011 г.	7.0	0.15	0.75	н/о	2.01	0.77	24.00	12.50	6.65	2.68
07.10.2011 г.	6.9	1.03	0.29	0.24	2.31	3.28	33.90	13.24	11.45	4.00
04.06.2012 г.	6.8	0.39	0.26	4.56	7.76	0.02	18.5	1.78	4.96	2.37
26.07.2012 г.	8.1	0.2	0.53	н/о	1.44	0.05	19.9	2.57	4.04	1.13
02.10.2012 г.	6.8	0.78	0.96	н/о	0.86	2.96	23.3	16.1	11.1	3.79
29.05.2013 г.	5.7	0.38	0.71	н/о	1.61	0.02	18.2	1.66	1.58	0.88
30.07.2013 г.	7.1	н/о	1.16	28.82	2.98	0.15	58.8	4.86	4.08	1.16
10.10.2013 г.	7.2	1.31	2.97	0.38	4.21	5.66	45.60	18.7	5.5	2.78

Примечание: здесь и в табл. 3: н/о – не обнаружено.

рода и некоторых минеральных компонентов (кальция, магния) по сравнению с водами под кронами березы.

Осадки, собранные под кронами деревьев, характеризует довольно ясное сезонное колебание содержания элементов биогенного происхождения. Так, от весеннего к осенним срокам возрастала в основном концентрация органического углерода, калия, азота, фосфат-иона, что связано с фазой развития растений в течение вегетационного периода. При этом кроновые воды сосны отличает более выраженное сезонное изменение концентрации C_{орг.} по сравнению с водами под листовыми породами.

Содержание хлора и серы (сульфат-иона) обусловлено главным образом загрязняющим влия-

нием промышленных объектов, прежде всего АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» (Экологические принципы..., 2009). В связи с тем, что площадка расположена в 15 м от автодороги, источниками загрязнения атмосферного воздуха являются также выбросы автомобильного транспорта, содержащие диоксид серы, сероводород, хлор. Зафиксированы высокие концентрации серы и хлора в осадках, собранных 30 июля 2013 г. Июль этого года характеризовали высокие температуры атмосферного воздуха, низкое количество выпавших осадков, что и привело к росту концентраций загрязняющих веществ в воздушной среде и, соответственно, в атмосферных осадках. В водах, собранных летом 2013 г., отмечены высокие концентрации не только поллютантов, но и прак-

тически всех определяемых элементов, что также можно объяснить погодными условиями. Так, содержание $C_{орг.}$ в июле (период активной вегетации) 2013 г. существенно возросло по сравнению с 2011 г. Аналогичное увеличение наблюдали и в кроновых водах березы, а также и сосны, хотя и менее выраженное, что связано с разными типами их кроны.

Поступающие с кроновыми водами вещества, мигрируя через напочвенный покров, включаются в биологический оборот, участвуя в почвообразовательном процессе.

По результатам химического анализа лизиметрических вод установлено, что в весенний период из органогенного слоя почвы на участке под травами и в парцеллах в минеральную толщу

поступают воды, имеющие слабоокислую или близкую к нейтральной реакцию (табл. 3). Значения рН изменяются в пределах 5.9-6.9. Профильная дифференциация кислотных свойств лизиметрических вод выражена слабо, но можно в целом отметить уменьшение величины рН, т.е. подкисление в воде, собранной под верхним минеральным слоем, по сравнению с органогенным горизонтом.

В лизиметрических водах, собранных в парцеллах древесных растений под минеральным горизонтом, отмечено снижение концентрации водорастворимого органического вещества по сравнению с органогенным горизонтом. Подкисление вод, особенно в осенний срок, свидетель-

Таблица 3

Химический состав лизиметрических вод (средние значения), мг/дм³

Дата, горизонт, глубина отбора проб воды	Показатель									
	рН	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	C _{орг.}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Разнотравно-злаковое сообщество										
23.05.2011 г. под АдА1	6.9	1.21	0.32	н/о	10.0	0.35	15.8	3.40	2.09	2.12
23.05.2011 г. на глубине 8-10 см	6.0	0.99	0.48	н/о	2.35	0.30	20.6	3.05	1.52	1.10
07.10.2011 г. под АдА1	6.3	0.07	2.05	1.68	5.94	1.78	16.22	8.52	4.90	3.05
07.10.2011 г. на глубине 8-10 см	6.1	н/о	н/о	2.40	4.46	0.58	21.34	3.52	4.25	2.40
04.06.2012 г. под АдА1	5.9	н/о	1.23	н/о	2.87	0.48	14.31	1.91	2.46	1.52
04.06.2012 г. на глубине 8-10 см	5.7	4.9	1.01	н/о	4.31	0.47	24.6	1.65	2.04	1.75
02.10.2012 г. под АдА1	5.9	1.33	0.79	1.44	2.16	0.43	19.1	2.08	5.48	1.44
02.10.2012 г. на глубине 8-10 см	5.4	1.17	1.1	2.40	2.16	0.03	15.9	0.96	5.08	1.80
29.05.2013 г. под АдА1	6.5	3.78	0.88	н/о	6.21	0.61	8.67	2.90	5.12	1.72
29.05.2013 г. на глубине 8-10 см	6.4	3.89	0.56	н/о	3.33	0.15	18.7	2.61	6.53	2.62
10.10.2013 г. под АдА1	5.6	0.52	4.83	н/о	4.21	3.52	28.8	6.49	5.14	2.20
10.10.2013 г. на глубине 8-10 см	5.7	1.38	7.02	1.15	3.77	1.84	28.0	7.06	6.41	2.39
Сосновая парцелла										
23.05.2011 г. под А0	6.5	1.65	0.77	н/о	58.80	0.64	11.90	7.49	14.4	6.02
23.05.2011 г. на глубине 8-10 см	6.3	0.7	0.27	н/о	41.20	0.05	8.12	1.74	7.2	3.92
07.10.2011 г. под А0	6.9	н/о	н/о	0.96	4.95	0.34	53.64	6.64	6.85	3.65
07.10.2011 г. на глубине 8-10 см	6.1	н/о	н/о	1.92	4.79	0.25	50.58	3.96	5.30	2.40
04.06.2012 г. А0	6.5	0.47	0.60	2.40	4.30	1.10	25.50	10.1	13.8	8.64
04.06.2012 г. на глубине 8-10 см	6.1	н/о	0.41	2.64	8.62	0.09	20.10	3.04	7.19	3.38
02.10.2012 г. под А0	6.6	0.82	1.20	н/о	2.16	0.81	32.82	4.84	24.3	7.36
02.10.2012 г. на глубине 8-10 см	6.3	1.57	1.51	н/о	2.88	0.20	27.44	5.25	19.9	5.52
29.05.2013 г. под А0	6.8	н/о	2.22	н/о	27.9	0.74	18.20	5.90	18.7	6.40
29.05.2013 г. на глубине 8-10 см	6.6	0.27	1.36	н/о	2.40	0.33	11.41	2.55	5.87	1.97
10.10.2013 г. под А0	7.2	2.2	4.75	н/о	11.50	0.81	45.63	8.70	19.0	5.97
10.10.2013 г. на глубине 8-10 см	7.1	1.75	3.73	0.77	9.54	0.83	38.40	5.96	9.79	3.24
Березовая парцелла										
23.05.2011 г. под А0А1	6.7	0.95	1.47	н/о	5.22	0.18	19.82	4.33	1.82	1.29
23.05.2011 г. на глубине 8-10 см	5.3	1.1	1.44	н/о	12.9	0.15	15.80	2.23	1.63	1.46
07.10.2011 г. под А0А1	6.5	н/о	0.08	1.44	6.27	0.76	36.46	9.08	6.80	3.05
07.10.2011 г. на глубине 8-10 см	5.9	0.33	4.07	0.24	6.93	0.36	32.11	5.12	3.45	2.30
04.06.2012 г. под А0А1	6.4	0.74	1.95	1.20	6.32	0.23	26.30	3.77	3.27	1.74
04.06.2012 г. на глубине 8-10 см	5.5	н/о	0.82	5.76	9.49	0.1	22.81	2.78	2.65	1.96
02.10.2012 г. под А0А1	6.5	9.32	2.86	3.12	4.03	0.70	30.02	5.64	5.28	1.82
02.10.2012 г. на глубине 8-10 см	5.8	4.11	2.55	2.16	3.45	0.16	24.63	2.26	4.58	1.28
29.05.2013 г. под А0А1	6.8	0.48	2.05	н/о	9.08	0.68	30.81	10.5	5.68	2.16
29.05.2013 г. на глубине 8-10 см	6.1	1.13	2.68	н/о	7.47	0.54	20.05	4.51	5.49	1.95
10.10.2013 г. под А0А1	6.7	3.58	3.40	н/о	28.8	7.61	33.62	8.25	6.85	4.90
10.10.2013 г. на глубине 8-10 см	6.2	0.83	1.75	н/о	10.6	0.55	24.01	4.54	4.71	1.72

ствуется о миграции вглубь под биогенно-аккумулятивным слоем более кислых фракций $C_{орг.}$. На травяном участке, напротив, его содержание в лизиметрических водах на глубине 8-10 см практически не изменяется или даже выше. По-видимому, на участке под травами постепенное разрушение дернины, связанное с внедрением древесных растений, способствует большему вымыванию органического вещества из верхних слоев.

В лизиметрических водах парцелл отмечено в целом более высокое содержание практически всех элементов по сравнению с травяным сообществом. Лизиметрические воды, собранные в парцелле сосны, характеризует большее содержание кальция и магния по сравнению с березовой парцеллой.

В почвах, формирующихся под древесными растениями, происходит частичное осаждение органического вещества (гуминовых кислот) в минеральном слое, расположенном под подстилкой, по-видимому, за счет образования органо-минеральных соединений, что типично для почв лесных экосистем.

Концентрация органического вещества в лизиметрических водах осеннего срока по сравнению с весенним возрастает, т.е. после летнего разложения опада усиливается вынос подвижных органических соединений, их воздействие на минеральный слой, расположенный непосредственно под органогенным горизонтом. Мигрируют в основном фульвокислоты.

Те же особенности выявлены и при рассмотрении миграции основных элементов-биогенов, которая характеризуется сезонной динамикой. Их содержание, несмотря на колебания в отдельные годы, в целом увеличивается в лизиметрических водах, собранных осенью, по сравнению с весной. Это связано с интенсификацией биологических процессов разложения растительных остатков в вегетационный период.

Таким образом, в процессе миграции влаги вглубь происходит аккумуляция органо-минеральных соединений при разложении растительной массы в слое ее накопления, т.е. в органогенном слое. Наряду с этим из органогенного слоя выносятся водорастворимые органические вещества (фульвокислоты), не осаждаемые минеральными элементами, с более выраженными кислотными свойствами, что обуславливает их воздействие на расположенный под биогенно-аккумулятивным горизонтом минеральный слой.

Изучение состава лизиметрических вод позволило выявить разный генезис биогенно-аккумулятивного слоя и минеральной породы под ним, дифференциация которой определяется соединениями, выносимыми из биогенно-аккумулятивного слоя.

Изменение состава исследуемых вод отражает парцеллярную структуру растительного сообщества формирующейся лесной экосистемы и соответствующую неоднородность почвенного покрова.

Заключение

Рассмотрен состав кроновых и лизиметрических вод на этапе самовосстановления лесной экосистемы на посттехногенном участке в подзоне средней тайги. Исследования проведены на стадии замещения многолетнего злаково-разнотравного сообщества на лесное в процессе самовосстановления древесных растений (березы, сосны, ивы и др.). Лесная экосистема формируется древесными растениями путем дифференциации отдельных парцелл.

Важная роль в изучении связи «растение-почва» на этапе замещения травяного сообщества древесными растениями принадлежит исследованию процессов вертикальной миграции водорастворимых продуктов биотрансформации, т.е. лизиметрических вод. Атмосферные осадки, проходя через кроны древесных растений, обогащают свой состав продуктами их жизнедеятельности, а также возможными загрязняющими веществами. Поступающие на поверхность почвы с кроновыми водами вещества включаются в почвообразовательный процесс.

На сохранившемся участке с травяным сообществом почва еще сохраняет прежнее строение, однако изменение видового состава фитоценоза (снижение доли растений-задернителей) проявляется в ослаблении слоя дернины. Это находит отражение в дифференциации состава лизиметрических вод. В парцеллах древесных растений, где основная доля поступающего на поверхность почвы растительного материала приходится на хвойно-лиственный опад, особенности дифференциации по профилю состава лизиметрических вод характерны для почв лесных экосистем. В формирующемся новом органогенном слое – лесной подстилке – происходит осаждение органо-минеральных соединений за счет закрепления обменными кальцием и магнием образующихся грубых гумусовых веществ. Выносятся из этого горизонта гидрофильные, более подвижные вещества, прежде всего фульвокислоты. Это обуславливает повышенное содержание кислотных продуктов, взаимодействующих с минеральной породой под биогенно-аккумулятивным слоем.

Вертикальная дифференциация состава мигрирующих вод способствует изменению свойств субстрата, формированию органо-аккумулятивного слоя в соответствии с видом древесного растения. Природная экосистема, являясь открытой системой, теряет с мигрирующими водами из биогенно-аккумулятивного слоя часть органических и минеральных элементов, которые, взаимодействуя с расположенной ниже минеральной толщей, преобразуют ее на глубину промачивания субстрата.

Полученные результаты позволяют утверждать, что под влиянием растительности верхний слой рыхлой породы (техногенный субстрат) преобразуется в биогенно-аккумулятивное образование, которое становится важнейшим компонен-

том биологического круговорота органического вещества, обеспечивая стабильное развитие формирующейся лесной экосистемы. Расположенная под органоминеральным слоем минеральная порода дифференцируется определенным образом при воздействии абиотических процессов растворения-осаждения.

ЛИТЕРАТУРА

Абакумов, Е. В. Почвообразование в посттехногенных экосистемах карьеров на северо-западе Русской равнины / Е. В. Абакумов, Э. И. Гагарина. – Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2006. – 208 с.

Андроханов, В. А. Техноземы: свойства, режимы, функционирование / В. А. Андроханов, С. В. Овсянникова, В. М. Курачев. – Новосибирск, 2000. – 200 с.

Арчегова, И. Б. Влияние древесных растений на химический состав атмосферных осадков в процессе восстановления среднетаежных лесов / И. Б. Арчегова, Е. Г. Кузнецова // Лесоведение. – 2011. – № 3. – С. 34–43.

Арчегова, И. Б. Методологические аспекты изучения почв на современном этапе / И. Б. Арчегова, В. А. Федорович ; отв. ред. В. А. Федорович. – Екатеринбург : УрО РАН, 2003. – 92 с.

Воздействие полога ельника сложного на химический состав осадков / Л. О. Карпачевский, Т. А. Зубкова, Т. Пройслер, М. Кеннел, Г. Гитл, Н. Ю. Гончарук, Т. Ю. Минаева // Лесоведение. – 1998. – № 1. – С. 50–59.

Караванова, Е. И. Состав почвенных растворов основных типов почв Центрального лесного государственного природного биосферного заповедника / Е. И. Караванова, Л. А. Белянина // Вестник Московского ун-та. Серия 17, Почвоведение. – 2007. – № 2.

Махонина, Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала / Г. И. Махонина. – Екатеринбург : Изд-во УрГУ, 2003. – 351 с.

Никонов, В. В. Влияние ели и сосны на кислотность и состав атмосферных выпадений в северо-таежных лесах индустриально-развитого региона / В. В. Никонов, Н. В. Лукина // Экология. – 2000. – № 2. – С. 97–105.

Полевая геоботаника / под ред. Е. М. Лавренко, А. А. Корчагина. – Москва ; Ленинград : Наука, 1964. – 532 с.

Пономарева, В. В. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения) / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова ; отв. ред. Д. С. Орлов. – Ленинград : Наука, 1980. – 222 с.

Пономарева, В. В. Современные процессы миграции-аккумуляции химических элементов в профилях

подзолистых почв (лизиметрические наблюдения) / В. В. Пономарева, Т. А. Рожнова, Н. С. Сотникова // Почвы Карелии и пути повышения их плодородия. – Петрозаводск, 1971. – С. 17–32.

Пристова, Т. А. Влияние древесного полога лиственнично-хвойного насаждения на химический состав осадков / Т. А. Пристова // Лесоведение. – 2005. – № 5. – С. 49–55.

Пристова Т. А. Водная миграция углерода в березово-еловом молодняке средней тайги Республики Коми / Т. А. Пристова // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием : в 2 кн., 2–3 декабря 2014 г., Киров. – Киров : Веси, 2014. – Кн. 2. – 345 с.

Пристова, Т. А. Химический состав атмосферных осадков и лизиметрических вод подзола иллювиально-железистого под хвойно-лиственными насаждениями (Республика Коми) / Т. А. Пристова, И. В. Забова // Почвоведение. – 2007. – № 12. – С. 1472–1481.

Родин, Л. Е. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах / Л. Е. Родин, Н. П. Ремезов, Н. И. Базилович. – Ленинград : Наука, 1967. – 145 с.

Снакин, В. В. Состав жидкой фазы почв / В. В. Снакин, А. А. Пристяжная, О. В. Рухович. – Москва : РЭФИА, 1997. – 325 с.

Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л. А. Воробьевой. – Москва : ГЕОС, 2006. – 400 с.

Фролова, Л. Н. Особенности почвообразования на вырубках еловых лесов Коми АССР / Л. Н. Фролова // Лес и почва : труды Всесоюзной научной конференции по лесному почвоведению, 15–19 июля 1965 г. / отв. ред. Н. В. Орловский. – Красноярск, 1968. – С. 253–258.

Черепанов, С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / С. К. Черепанов. – Санкт-Петербург : Мир и семья-95, 1995. – 992 с.

Шенников, А. П. Введение в геоботанику / А. П. Шенников ; отв. ред. И. Х. Блюменталь. – Ленинград : Изд-во Ленинградского ун-та, 1964. – 447 с.

Шилова, Е. И. Сезонная динамика химического состава лизиметрических вод подзолистых тяжелосуглинистых почв / Е. И. Шилова, Л. В. Коровкина // Почвоведение. – 1961. – № 3. – С. 36–47.

Шилова, Е. И. Состав и свойства лизиметрических вод лесных подзолистых почв южной Карелии / Е. И. Шилова, А. А. Стрелкова // Почвоведение. – 1974. – № 8. – С. 18–27.

Экологические принципы природопользования и природовосстановления на Севере / И. Б. Арчегова, Е. Г. Кузнецова, И. А. Лиханова, А. Н. Панюков, Ф. М. Хабибуллина, Г. Г. Осадачная ; отв. ред. И. Б. Арчегова. – Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 2009. – 176 с.

WATER-MIGRATION PROCESSES IN THE SOIL FORMATION AT STAGE OF SELF-RESTORATION OF FOREST ECOSYSTEM IN THE TAIGA ZONE

E.G. Kuznetsova, I.B. Archegova, A.N. Panjukov

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar

Summary. Composition of precipitation passing through the tree canopy (crown water) and lysimetric waters were studied at stage of self-restoration of forest ecosystems in the middle taiga subzone in the north-east of European part of Russia. Studies of self-restoration succession were carried out at the stage of substitution of trees by perennial herbs on technogenic grounds. Features of conversion of meadow community when replacing it by the forest are determined by the species of tree (coniferous, deciduous) and their spacial (parcel) distribution, which determines the initial variety of forest ecosystems. The chemical composition of studied waters reflects parcel structure of plant community of forming forest ecosystem and corresponding heterogeneity of soil cover. Formation and changes in soils at the succession stages were directly related to change in the type of plant community. Organic-accumulative soil layer was formed during the process of litter transformation products vertical migration. This layer provides stable nutrition conditions and development of the forest community.

Key words: soil, forest ecosystem, demutation succession, precipitation, crown and lysimetric waters