

Химический состав атмосферных осадков, подкроновых и поверхностных вод в среднетаёжных лиственных насаждениях послерубочного происхождения

© 2022. Т. А. Пристова, к. б. н., н. с.,

Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
e-mail: pristova@ib.komisc.ru

Проведены исследования природных вод в разновозрастных лиственных насаждениях послерубочного происхождения в Княжпогостском районе Республики Коми. Показана трансформация химического состава в ряду: атмосферные (дождевые) осадки – подкроновые воды – ручей. Показано, что при прохождении через кроны деревьев, содержание большинства ионов в осадках увеличивается. Выявлено влияние возраста и состава древостоя на химический состав подкроновых вод. Установлено, что исследуемые природные воды слабокислые, маломинерализованные, гидрокарбонатные и различаются по гидрохимическому типу: атмосферные осадки – гидрокарбонатно-сульфатно-калиевые, подкроновые воды в берёзово-еловом молодняке – гидрокарбонатно-калиево-сульфатные, в осиново-берёзовом насаждении – гидрокарбонатно-калиево-кальциевые, воды ручья – гидрокарбонатно-кальциево-магниевые. Изменение гидрохимического типа исследуемых вод свидетельствует о существенной трансформации древостоем атмосферных осадков при прохождении их сквозь кроны деревьев. Среднегодовое содержание компонентов химического состава в исследуемых водах практически не превышает ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения. Полученные результаты могут быть использованы в качестве фоновых при мониторинге качества природных вод на территориях, представленных среднетаёжными лиственными лесами послерубочного происхождения.

Ключевые слова: средняя тайга, лиственные леса, химический состав осадков и поверхностных вод.

The chemical composition of atmospheric precipitation, throughfall and surface waters in the middle taiga deciduous stands of post-cutting origin

© 2022. Т. А. Pristova ORCID: 0000-0002-8266-8113

Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
e-mail: pristova@ib.komisc.ru

The chemical composition of atmospheric precipitation (rainfall), undercrown throughfall and surface (stream) waters in the Komi Republic (62°18'N 50°55'E) are studied. The objects of the study were deciduous and deciduous-coniferous forest of post-harvest origin of different ages, which are formed after spruce forests by natural reforestation. Water samples were taken monthly at constant points for 2 years: in a stream, rainfall, throughfall of birch, aspen, spruce and between crowns. The chemical composition of the throughfall is affected by the age and tree composition of the stand. The studied natural waters are slightly acidic, low salinity, hydrocarbonate class and differ in hydrochemical type. A series of decreasing ion concentrations in atmospheric precipitation: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^-$, throughfall of birch-spruce young forest: $\text{HCO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$, throughfall aspen-birch stand: $\text{HCO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{PO}_4^{3-} > \text{Cl}^-$, in the stream waters: $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Cl}^-$. The mineralization increases in a row: atmospheric precipitation < throughfall of birch-spruce young forest < throughfall of aspen-birch stand < stream water. The range of average annual contents of N, S, P, K, Zn, Al, Cu, Cd in brook waters is comparable or lower than in atmospheric precipitation; therefore, their removal beyond the root layer in the studied forest ecosystem can be compensated by atmospheric precipitation. The average annual content of the components of the chemical composition in the studied waters practically does not exceed the maximum permissible concentrations, with the exception of Fe in the waters of the stream, due to the influence of soils and not associated with pollution. The obtained results can be used as background ones when monitoring the quality of natural waters in the terrain represented by middle-taiga zone deciduous forests.

Keywords: middle taiga, deciduous forests, chemical composition of precipitation, stream.

Лесные экосистемы оказывают существенное влияние на изменение химического состава и количество атмосферных осадков. Дождевые воды, проникая сквозь кроны, трансформируются за счёт растворения веществ, выделяемых и накапливаемых на поверхности листьев, хвои, сучьев, стволов, в процессе жизнедеятельности растений, микроорганизмов и насекомых, населяющих древесный полог [1–4]. Это приводит к увеличению минерализации подкроновых вод, по сравнению с атмосферными осадками [1, 5–7]. В частности, непосредственно из листьев и тканей растений вымываются натрий и калий [6]. В целом же только часть элементов вымывается из крон деревьев, остальные поступают из атмосферы [6, 8]. Дождевые осадки осуществляют перенос элементов из атмосферы в экосистемы и обеспечивают биогенные циклы в системе растение–почва. Рубка лесов оказывает двойное влияние на водную миграцию элементов и химический состав природных вод. С одной стороны, за счёт естественного лесовосстановления и последующего возобновления лиственных насаждений состав и основные характеристики древостоя существенно меняются, что приводит к изменению характера задержания атмосферных осадков кронами деревьев и их химического состава. С другой стороны, рубка леса, воздействуя на почву и нарушая её верхний слой, влияет на состав жидкой фазы почвы, что в конечном итоге приводит к изменению характера почвенных и поверхностных вод [1, 2, 9, 10]. Влияние древостоя лиственных лесов таёжной зоны на химический состав дождевых осадков и поверхностных вод, особенно микроэлементный состав, слабо изучен [1, 3, 8]. В подзоне средней тайги Республики Коми подобные исследования немногочисленны [10, 11].

Цель исследования – дать характеристику химическому составу атмосферных (дождевых) осадков, подкроновых и поверхностных вод в среднетаёжных лиственных биогеоценозах послерубочного происхождения для использования как регионального фона при оценке качества природных вод.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в окрестностях д. Кылтово Княжпогостского района Республики Коми на базе Ляльского лесозоологического стационара ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (62°18' с. ш. 50°55' в. д.). Осадкоприёмники устанавливали на открытом месте (поляне)

(участок № 1), в 12-летнем берёзово-еловом молодняке разнотравного типа (состав древостоя 8Б2Е ед. С) (участок № 2) и 38-летнем осиново-берёзовом насаждении разнотравного типа (5Ос4Б1Е ед. Пх) (участок № 3), сформировавшихся на вырубке ельников черничных. Почва – торфянисто-подзолисто-глееватая. Пробы поверхностных вод отбирали в ручье, впадающем в р. Кылтовка (бассейн р. Вымь) (участок № 4). Осадки в лесу (подкроновые воды) собирали под кронами берёзы, ели, осины, в межкроновых пространствах («окнах»), затем после проведения химического анализа данные усредняли. Отбор проб проводили с периодичностью 1 раз в месяц или по мере поступления осадков в 15–20-кратных повторностях с мая по октябрь [12]. В экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в пробах воды рН и содержание гидрокарбонатов (HCO_3^-) определены потенциометрически, содержание Cl , $\text{P}_{\text{общ.}}$, $\text{S}_{\text{общ.}}$, Ca , Mg , K , Na , Mn , Zn , $\text{Fe}_{\text{общ.}}$, Al , Cd , Ni , Cu , Pb , Co , $\text{Cr}_{\text{общ.}}$ – с помощью атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС ИСП), SO_4^{2-} – турбидиметрическим, PO_4^{3-} , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- – фотометрическим методом. Концентрацию органического углерода ($\text{C}_{\text{орг.}}$) определяли на анализаторе общего органического углерода TOC-V («Shimadzu», Япония).

Результаты и обсуждение

Важным информативным показателем химического состава природных вод является их кислотность (рН). Согласно среднегодовым значениям рН, атмосферные осадки, подкроновые и поверхностные воды слабокислые (табл. 1), что согласуется с исследованиями других авторов [1–3, 10, 11, 13]. За исследуемый период рН вод в отобранных пробах варьировал от 5,1 до 7,2. Значения кислотности вод ручья относительно постоянны, кроме увеличения в июле – августе [14]. Это связано с динамикой растворимого $\text{C}_{\text{орг.}}$ в почвенных растворах и его последующей водной миграцией [2, 13].

Органический углерод – доминирующий компонент в химическом составе исследуемых вод. Вымывание органического вещества осадками из древесной растительности увеличивает его концентрацию в подкроновых водах в 2–4 раза (табл. 1). Наиболее высоким содержанием $\text{C}_{\text{орг.}}$ отличаются воды ручья. Его основным источником являются почва и подстилка, что связано с содержанием в них водорастворимого органического вещества – компонента, активно вовлекаемого в мигра-

Таблица 1 / Table 1

Кислотность и химический состав атмосферных осадков, подкроновых и поверхностных вод (средние данные за май–октябрь), мг/дм³ / Acidity and chemical composition of precipitation, undercrown and surface waters (average data for May–October), mg/dm³

№ участка Plot number	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	P _{общ.} P _{tot.}	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Fe _{общ.} Fe _{tot.}	C _{орг.} DOC
2006 г. / 2006												
1	5,6	1,33	0,17	0,82	0,04	*	0,29	0,07	0,53	0,18	0,01	3,18
2	6,2	9,43	0,42	0,34	0,61	0,01	0,82	0,36	3,32	0,24	0,01	12,00
3	6,3	22,13	1,66	1,34	2,47	0,01	2,76	0,86	9,84	0,26	0,03	13,60
4	5,6	15,38	1,07	0,97	0,03	*	4,06	1,13	1,83	0,85	0,66	37,60
2007 г. / 2007												
1	6,1	5,48	0,30	1,29	0,09	*	0,33	0,06	0,54	0,22	0,02	2,37
2	6,7	6,71	0,67	1,12	0,70	0,01	0,70	0,24	2,45	0,16	0,01	4,75
3	6,8	11,13	1,49	0,77	1,56	0,01	1,54	0,54	4,91	0,32	0,02	6,19
4	6,1	10,24	0,79	0,10	0,02	*	4,75	1,35	0,10	0,80	0,54	24,98
Средняя концентрация за 2006–2007 гг. / Average concentration for 2006–2007												
1	5,9	3,41	0,24	1,06	0,07	*	0,31	0,07	0,54	0,20	0,02	2,78
2	6,4	8,07	0,55	0,73	0,67	0,01	0,76	0,30	2,89	0,20	0,01	8,38
3	6,6	16,63	1,58	1,06	2,02	0,01	2,46	0,70	7,38	0,29	0,03	9,90
4	5,9	12,81	0,93	0,54	0,03	*	4,41	1,24	0,97	0,83	0,60	31,29
ПДК _{р.х.} MPC _г	6,5–8,5	–	300	100	–	0,5	180	40	50	120	–	–

Примечание: * – ниже пределов обнаружения; прочерк означает, что норматив не установлен; ПДК_{р.х.} – предельно допустимые концентрации для водных объектов рыбохозяйственного значения [16].

Note: * – below the detection limit of the method; a dash indicates that the standard is not set; MPC_г – maximum permissible concentration for water bodies of fishery [16].

ционные потоки и являющегося результатом биологического круговорота [15].

Древесная растительность существенно влияет на концентрацию гидрокарбонат-ионов в осадках. Например, в 2006 г. концентрация HCO₃⁻ в подкроновых водах осиново-берёзового насаждения была почти в 17 раз выше, чем в атмосферных осадках (табл. 1). Уровень содержания HCO₃⁻ в подкроновых и поверхностных водах связан с интенсивным разложением органического вещества подстилки и растительного опада, так как CO₂ является конечным продуктом распада любого органического материала [17]. Максимальное содержание HCO₃⁻ наблюдается в водах ручья, достигая 15,4 мг/дм³. Высокое содержание HCO₃⁻ в поверхностных водах отмечается и другими исследователями [18, 19].

Содержание хлорид-ионов в подкроновых и поверхностных водах в 2–10 раз выше, чем в атмосферных осадках (табл. 1). Увеличение концентрации Cl⁻ в осадках, прошедших через полог древостоя, для таёжных лесов отмечается и другими исследователями [3, 10]. Вынос Cl⁻ за пределы исследуемых биогеоценозов в поверхностные воды частично компенсируется поступлением с атмосферными осадками.

Концентрация сульфат-ионов в атмосферных осадках выше, чем в подкроновых и поверхностных водах (табл. 1). Сера практически не выщелачивается из крон деревьев и почвы, что связано с поглощением растительностью соединений серы из осадков [2].

Содержание общего фосфора в атмосферных осадках не превышает 0,09 мг/дм³, в подкроновых водах его концентрация увеличивается до 2,47 мг/дм³ (табл. 1). За пределы корнеобитаемого слоя в поверхностные воды P_{общ.} выносятся немного меньше, чем поступает с атмосферными осадками. Эта особенность водной миграции фосфора в лесных экосистемах, связанная с его биогенностью и активным поглощением растительностью, отмечается и другими исследователями [5, 18].

В водах под кронами деревьев кальция в 2–7 раз больше, чем в осадках, а в ручье в 2–6 раз выше, чем в подкроновых водах (табл. 1). Это связано с вымыванием кальция из крон деревьев и почвы, которая отличается высоким природным содержанием в материнской породе. Катионы кальция относятся к типоморфным (основным) соединениям поверхностных вод [17].

Таблица 2 / Table 2

Химический состав атмосферных осадков, подкроновых и поверхностных вод (средние данные за май – октябрь), мкг/дм³ / The chemical composition of precipitation, undercrown water and surface water (average data for May – October), μg/dm³

№ участка Number of plot	Mn	Zn	Al	Cu	Cd	Cr	Co	Pb	Ni	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
2006 г. / 2006											
1	1,61	23,33	7,05	0,65	0,10	0,01	0,01	0,01	0,70	10,00	20,24
2	6,00	34,51	9,06	1,47	0,01	0,01	*	0,07	1,13	98,01	96,02
3	9,50	27,09	10,50	2,13	0,16	0,01	*	0,10	1,63	96,12	137,1
4	10,07	14,43	13,43	1,20	0,13	*	*	4,40	2,57	9,70	9,89
2007 г. / 2007											
1	3,70	20,71	7,90	2,27	0,26	*	*	*	0,01	9,23	57,34
2	10,80	30,43	5,90	1,87	0,01	*	0,01	0,01	0,10	117,01	98,74
3	9,80	24,76	6,80	2,95	0,10	*	*	0,01	0,93	157,10	118,1
4	22,48	17,19	21,69	0,98	0,10	*	*	0,10	3,65	7,05	8,17
Средняя концентрация за 2006–2007 гг. / Average concentration for 2006–2007											
1	2,66	22,02	7,48	1,46	0,18	0,01	0,01	п/о	0,36	9,62	38,79
2	8,40	32,47	7,48	1,67	0,01	0,01	0,01	0,04	0,62	107,51	97,38
3	9,65	25,93	8,65	2,54	0,13	*	*	0,05	1,28	126,61	127,6
4	13,17	15,81	17,56	1,09	0,12	*	*	2,25	3,11	8,38	9,03
ПДК _{в.к.} , мкг/дм ³ MPC _v , μg/dm ³	10	10	40	1	5	70	10	6	10	80	400

Примечание: см. обозначения к таблице 1.
Note: see designations in Table 1.

Содержание магния в подкроновых водах, прошедших через полог древостоя, в 4–10 раз выше, чем в атмосферных осадках в связи с высоким уровнем выщелачивания из древесной растительности (табл. 1). Высокое содержание Mg в ручье обусловлено его типоморфностью в отношении поверхностных вод [17].

Калий довольно активно выщелачивается из крон деревьев и при этом практически не выносится в поверхностные воды (табл. 1). Невысокая концентрация калия в поверхностных водах отмечается и другими исследователями [18, 19]. Это связано с его активным поглощением растениями напочвенного покрова, корнями деревьев в почвенном профиле и включением в биогеохимический круговорот [6–8].

Среднегодовая концентрация натрия в атмосферных осадках и подкроновых водах приблизительно одинакова, что свидетельствует о низкой степени выщелачивания натрия из крон деревьев (табл. 1). В ручье концентрация натрия в 3–4 раза выше, чем в осадках, что указывает на его активный вынос за пределы корнеобитаемого слоя. Похожая тенденция отмечается и другими исследователями [2, 18]. Миграция натрия из почвы компенсируется привносом из атмосферы с осадками [8].

В атмосферных осадках и подкроновых водах содержание железа на порядок ниже, чем в ручье (табл. 1). Ионы железа практически не выщелачиваются из крон деревьев, поступая в поверхностные воды из почвы. Для среднетаёжных березняков Карелии, наоборот, наблюдается увеличение железа в подкроновых водах, которое исследователи объясняют поступлением из пыли атмосферы и её смывом с осадками с поверхности листьев [3].

Содержание общего азота (N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺) в атмосферных осадках за исследуемый период варьирует от 0,001 до 4,9 мг/дм³. Для NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ характерно увеличение концентрации при прохождении осадков сквозь полог древостоя и снижение в водах ручья (табл. 2). С подкроновыми водами на поверхность почвы поступает больше азота, чем выносится за её пределы в поверхностные воды. Низкое содержание ионов аммония и нитратов в поверхностных водах отмечается и другими исследователями [18, 19]. Это связано с тем, что азот является основным лимитирующим питательным элементом в процессах продукции и деструкции растительности бореальных лесов, поэтому в лесных экосистемах существуют механизмы его удержания [17].

Концентрация марганца в подкроновых водах выше, чем в атмосферных осадках (табл. 2). Это результат выщелачивания из кроны, особенно из листьев деревьев [5]. Обогащение вод ручья Mn происходит за счёт его выноса из органогенных и минеральных горизонтов почвы [19, 20].

Концентрация Zn, Al, Cu, Cd, Ni, Pb, Cr, Co довольно низкая – менее 0,001 мг/дм³ или ниже пределов обнаружения (табл. 2). Как правило, в подкроновых и поверхностных водах этих элементов, за исключением Cd и Pb, содержится больше, чем в атмосферных осадках. В условиях Карелии для Cd и Pb наблюдается похожая картина, а для Zn, Al, Cu, наоборот – вынос в поверхностные воды ограничен удерживающей способностью почвы [3, 18]. Такие элементы, как Co, Pb, Cd, Cr, Ni в некоторых пробах имеют концентрации ниже пределов обнаружения, что связано с отсутствием атмосферного загрязнения на исследуемой территории.

В исследуемых водах наблюдается различие в концентрации ионов в зависимости от года проведения исследований (табл. 1, 2). Например, содержание HCO₃⁻ в атмосферных осадках в 2007 г. в 4 раза выше, чем в 2006 г., а в поверхностных и подкроновых водах, наоборот, в 2006 г. в 1,5–2 раза выше, чем в 2007 г. (табл. 1). Эти различия обусловлены погодными условиями: июль 2006 г. был прохладным и дождливым, а в августе количество осадков было ниже нормы.

Для большинства определяемых ионов их среднегодовая концентрация в осиново-берёзовом насаждении выше, чем в берёзово-еловом молодняке (табл. 1, 2). Возможно, это различие связано с тем, что в более молодых фитоценозах, которые расходуют существенную часть элементов на формирование органической массы древостоя, из ассимилирующих органов их выщелачивается меньше, чем в средневозрастных и приспевающих насаждениях [20]. Разница в содержании компонентов также может быть обусловлена составом древостоя исследуемых насаждений. В осиново-берёзовом насаждении, в отличие от молодняка, осина является доминирующей древесной породой. Согласно проведённым исследованиям, в осадках, прошедших сквозь кроны осины, концентрация большинства определяемых ионов, как правило, выше, чем под кронами берёзы. Например, в осадках, собранных в июне 2006 г. в осиново-берёзовом насаждении под кронами берёзы содержание кальция состав-

ляло 0,9, под кронами осины – 1,2 мг/дм³, в июне 2007 г. содержание калия составило 4,1 и 7,8 мг/дм³ соответственно.

Исследуемые природные воды мало-минерализованы (≤ 45 мг/дм³). Согласно среднегодовым показателям концентрации в атмосферных осадках, доминирующие ионы в порядке убывания можно расположить в ряд: HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > K⁺ > Ca²⁺ > Cl⁻, в подкроновых водах берёзово-елового молодняка: HCO₃⁻ > K⁺ > Ca²⁺ > SO₄²⁻ > Cl⁻, осиново-берёзового насаждения: HCO₃⁻ > K⁺ > Ca²⁺ > PO₄³⁻ > Cl⁻, ручья: HCO₃⁻ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺ > Cl⁻ (табл. 1). По гидрохимическому типу атмосферные осадки – гидрокарбонатно-сульфатно-калиевые, подкроновые воды – гидрокарбонатно-калиево-кальциевые, поверхностные воды – гидрокарбонатно-кальциево-магниевые. Исследуемые листовые древостои значительно трансформируют химический состав атмосферных осадков, увеличивая их минерализацию и изменяя гидрохимический тип. В ельниках черничных, расположенных в 12 км от исследуемых объектов, воды также мало-минерализованы, подкроновые – гидрокарбонатно-калиево-кальциевые, поверхностные воды – гидрокарбонатно-кальциево-магниевые по гидрохимическому типу [11]. По сравнению с ельниками черничными [11], уровень концентрации C_{орг.}, Ca, Na, Mg, Fe, HCO₃⁻, NO₃⁻, P, Mn, Zn, Al в подкроновых водах исследуемых насаждений ниже (табл. 1, 2). Исследуемые подкроновые и поверхностные воды схожи с ельниками – они также мало-минерализованы и относятся к гидрокарбонатному классу, но отличаются более низким уровнем минерализации и концентрации элементов. По-видимому, ельник черничный воздействует на химический состав подкроновых вод значительно существеннее, чем исследуемые листовые насаждения. Следует выделить особенность подкроновых вод в берёзово-еловом молодняке в исследуемые годы, которые по гидрохимическому типу и степени минерализации отличаются от вод осиново-берёзового насаждения. Это позволяет судить о меньшем влиянии молодняка на трансформацию химического состава дождевых осадков по сравнению с осиново-берёзовым насаждением и ельником черничным [11]. Среднее содержание элементов в исследуемых водах практически не превышает ПДК_{р.х.}, поэтому полученные результаты могут использоваться в качестве регионального фона при оценке атмосферных загрязнений.

Заключение

Проведены исследования химического состава атмосферных осадков, подкроновых и поверхностных вод на территории Княжпогостского района Республики Коми, где с конца 70-х по 90-е гг. XX века проводили рубки, а в настоящее время произрастают разновозрастные лиственные и лиственно-хвойные насаждения, формирующиеся в процессе естественного лесовосстановления. Установлено, что трансформация природных вод в ряду атмосферные осадки – подкроновые воды – ручей для большинства определяемых компонентов химического состава проявляется в увеличении концентрации. Диапазон среднегодового содержания N, S, P, K, Zn, Al, Cu, Cd в водах ручья сопоставим или ниже, чем в атмосферных осадках, поэтому их вынос за пределы корнеобитаемого слоя в исследуемых лесных биогеоценозах может компенсироваться атмосферными осадками. Установлено, что изучаемые природные воды маломинерализованы, по гидрохимическому типу атмосферные осадки – гидрокарбонатно-сульфатно-калиевые, подкроновые воды в берёзово-еловом молодняке – гидрокарбонатно-калиево-сульфатные, в осиново-берёзовом насаждении – гидрокарбонатно-калиево-кальциевые, воды ручья – гидрокарбонатно-кальциево-магниевые. Данные, полученные по химическому составу природных вод, практически не превышают значений ПДК, поэтому их можно применять в качестве фоновых для подзоны средней тайги, при мониторинге атмосферных загрязнений на территориях, представленных производными насаждениями послерубочного происхождения.

Работа выполнена в рамках темы госзадания Института биологии Коми научного центра УрО РАН № 122040100031-8 «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России».

Выражаю благодарность сотрудникам отдела лесобиологических проблем Севера и лично профессору, д. б. н. К. С. Бобковой, а также сотрудникам экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

References

1. Kulikova V.K. Leaching of nutrients from tree crowns in spruce and birch-spruce stand of Karelia // Les i pochva. Krasnoyarsk: Krasnyarskoye knizhn. izd-vo, 1968. P. 288–295 (in Russian).

2. Snakin V.V., Prisyazhnaya A.A., Rukhovich O.V. Composition of the liquid phase of soils. Moskva: Izd-vo REFIA, 1997. 325 p. (in Russian).

3. Shiltsova G.V., Lastochkina V.G. Influence of the canopy of pine and birch forests on the chemical composition of precipitation in the Kivach reserve // Proceeding of Karelian Research Centre of RAS. 2006. V. 10. P. 180–184 (in Russian).

4. Päivänen J. Distribution of precipitation in different stands // Silva Fennica. 1966. V. 119. Article No. 4732 (in Finnish). doi: 10.14214/sf.a14290

5. Gubareva V.A. The role of atmospheric precipitation in the cycle of mineral elements in oak forests of forest-steppe // Cycle of chemicals in the forest. Moskva: Nauka, 1982. 112 p. (in Russian).

6. Arianoutsou M. Atmospheric deposition of nutrients in a coastal magus ecosystem of northeastern Greece // International Journal of Biometeorology. 1989. No. 33. P. 124–130. doi: 10.1007/BF01686289

7. Derom J. Atmospheric deposition and the mobility of cations in forest soil // Geological Survey of Finland. 1991. No. 9. P. 29–39.

8. Ponomareva V.V., Rozhnova T.A., Sotnikova N.S. Features of the biological cycle in coniferous forests of the humid climate based on the results of lysimetric studies // Biological productivity and circulation of chemical elements in plant communities. Leningrad: Nauka, 1971. P. 220–226 (in Russian).

9. Kralovec V., Kliment Z., Vlcek L. Evaluation of soil water retention in forest and non-forest environment // Zpravy Lesnickeho Vyzkumu. 2016. V. 61. No. 3. P. 181–189 (in Czech).

10. Arhegova I.B., Kuznetsova E.G. Influence of woody plants on the chemical composition of atmospheric precipitation in the process of restoring middle taiga forests // Lesovedeniye. 2011. No. 3. P. 34–43 (in Russian).

11. Robakidze E.A., Torlopova N.V., Bobkova K.S. Chemical composition of wet precipitation in old-growth middle-taiga spruce stands // Geochemistry International. 2013. V. 51. No. 1. P. 65–75. doi: 10.1134/S0016702912110092

12. Manual control of atmospheric pollution / Ed. A.D. Semenov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. 540 p. (in Russian).

13. Rasilo T., Ojala A., Huotari J., Starr M., Pumpanen J. Concentrations and quality of DOC along the terrestrial-aquatic continuum in a boreal forested catchment // Freshwater Science. 2015. V. 34. No. 2. P. 440–455.

14. Pristova T.A. Chemical composition of surface waters in the derivative deciduous forests (basin of the river Vym') // Voda: Khimiya i Ekologiya. 2019. No. 10–12. P. 74–79 (in Russian). doi: 10.18334/watchemec.12.121.74-79

15. Kaurichev I.S., Yashin I.M. Formation of water-soluble organic substances as a stage of transformation of plant residues // Izvestiya TSKhA. 1989. V. 1. P. 47–57 (in Russian).

16. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 552 dated December 13, 2016 “On approval of water quality standards for water bodies of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery significance” (Reg. in the Ministry of Justice of Russia on 13.01.2017 No. 45203) [Internet resource] http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_211155 (Accessed: 05.03.2022) (in Russian).

17. Bashkin V.N. Biogeochemistry. Moskva: Novyy mir, 2004. 584 p. (in Russian).

18. Potapova I.Yu. The role of atmospheric precipitation in the formation of chemical composition of surface

waters // Proceeding of Karelian Research Centre of RAS. 2011. No. 4. P. 134–137 (in Russian).

19. Adamovich T.A., Skugoreva S.G., Tovstik E.V., Ashikhmina T.Ya. Study of the chemical composition of water bodies protected area for use as a regional background // Theoretical and Applied Ecology. 2020. No. 1. P. 89–96 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-089-096

20. Kozhevnikova N.K., Lutsenko T.N., Boldeskul A.G., Lupakov S.Yu., Shamov V.V. Water migration of macroelements in coniferous broad-leaved forests of Sikhotealin // Sibirskiy Lesnoy Zhurnal. 2017. No. 3. P. 60–73 (in Russian). doi: 10.15372/SJFS20170306