

## **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ПОЛОГОМ КОРЕННЫХ И ПРОИЗВОДНЫХ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ**

**Н.К. Кожевникова**

ФГБУН Биолого–почвенный институт ДВО РАН, nkozhevnikova@ibss.dvo.ru

**А.Г. Болдескул**

ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, boldeskul@tig.dvo.ru

Приводятся результаты изучения трансформации атмосферных осадков пологом коренных и вторичных лесов южного Сихотэ-Алиня.

Установлено, что кроновые воды под молодыми лиственными древостоями характеризуются меньшей концентрацией основных ионов и повышенной кислотностью по сравнению со сквозными водами коренных сообществ.

Наиболее развитые и плотные кроны старовозрастных лесов создают условия для выщелачивания катионов, нейтрализующих кислые осадки, что приводит к росту концентрации гидрокарбонат-ионов в подкроновых водах. Предполагается, что защитные свойства лесного полога будут сохраняться до тех пор, пока концентрация нейтрализующих компонентов будет больше концентрации анионов сильных кислот, поступающих с атмосферными выпадениями.

The results of studying the precipitation transformation within canopy in native and secondary forests in the southern Sikhote-Alin are discussed. Throughfall water sampled in young deciduous forests is found to be characterized by lower concentrations of main ions and higher acidity compared with throughfall waters from old-growth forest communities. The most developed and dense crowns (canopy) of old-growth forests condition the leaching of cations to neutralize acidic precipitation, and to lead to the increase in the hydrocarbonates in throughfall water. It is assumed the protective properties of forest canopy to be kept until the latter provides the components binding the  $H^+$  greater than the strong acids anions entering from precipitation.

**Ключевые слова:** Сихотэ-Алинь, коренной и производный лес; химический состав осадков, подкроновые воды.

**Keywords.** Sikhote-Alin, native and secondary forest, chemical composition of precipitation, throughfall

**Введение.** Возросшие с конца 20 века антропогенный прессинг на горные лесные водосборы Сихотэ-Алиня [1] и рост объемов промышленных выбросов в атмосферу в странах Восточной Азии [2], отражаются на условиях функционирования природных экосистем и определяют новую направленность в их развитии. За последние 15–25 лет в Приморском крае зафиксировано понижение рН осадков до слабокислых и кислых и повышение в них концентраций сульфатов и нитратов [2]. Поступающие в лесные сообщества техногенные соединения азота и серы активно включаются в биотический круговорот и могут быть причиной деградации лесов, нарушения в них почвенных процессов, связанных с преобразованием их органогенного материала, увеличением выноса биогенных элементов [3].

Цель данных исследований – оценка особенностей биотической трансформации атмосферных осадков пологом различных по составу и возрасту древостоев хвойно-широколиственных лесов южного Сихотэ-Алиня.

#### **Объекты и методы исследований.**

Экспериментальные работы проводились на территории Верхнеуссурийского лесного стационара Биолого-почвенного института ДВО РАН (ВУС). Район исследований расположен на западных склонах системы хребтов Южного Сихотэ-Алиня. Важнейшие особенности природы этого региона - контрастность и высокое биологическое разнообразие, связаны с его географическим положением на восточной окраине Азиатского материка, в южных широтах умеренного пояса (43.6–44.3° с.ш.; 133.5–134.5° в.д.). Ландшафтно-геохимические процессы в лесных экосистемах формируются здесь под воздействием континентальных и океанических процессов с сильным влиянием внетропических муссонов. Годовая сумма осадков составляет 700–1000 мм, около 80% выпадает в летне-осенний период. Среднее число дней с осадками различной величины в год составляет 125–190 [6]. Здесь формируется своеобразный пояс контакта пихтово-еловых и широколиственно-кедровых лесов, в результате чего образуются устойчивые смешанные древостои с постоянным участием кедра (*Pinus koraiensis*), ели (*Picea ajanensis*), пихты

(*Abies nephrolepis*) и многочисленных лиственных пород (*Betula costata*, *B. platyphylla*, *Quercus mongolica*, *Tilia taquetii*, *Fraxinus mandshurica*, *Ulmus laciniata* и др.). Основной фон почвенного покрова составляют горно-лесные бурые, горно-таежные иллювиально-гумусовые и горно-долинные почвы. Для почвенного покрова характерна приуроченность к высотной поясности лесной растительности. Строение органофилия и гумусное состояние почв, динамика и интенсивность круговорота веществ тесно связаны с фитомассой лесных сообществ [7].

Для исследования трансформации атмосферных осадков пологом древостоев было выбрано два участка на поляне (осадки открытого пространства) и четыре – под пологом леса (подкروновые воды). На двух участках, где отбирались подкروновые воды, древесный полог представлен коренными лесообразующими породами, характерными для кедрово-широколиственных (далее КШ) и пихтово-еловых (ПЕ) лесов. В производных лесах подкروновые воды отбирались на участках со смешанными хвойно-лиственными (ХЛ) и березовыми древостоями (ББ). Производные насаждения сформировались в результате вырубок леса в 1966 г. В общей сложности было отобрано и проанализировано 60 проб. Методология исследований и первые результаты по формированию химического состава природных вод исследуемого района опубликованы ранее [4, 5,].

### **Результаты исследований**

Исследования проводились с мая по октябрь в 2011–2013 гг. В этот период основными направлениями переноса воздушных масс в Приморье являются северное (север Дальнего Востока и Сибирь) и юго-западное (Центральный Китай), частота выноса с Японского моря минимальна [2]. По погодным условиям летне-осенний период за исследуемые годы можно охарактеризовать как жаркий и умеренно-влажный. Количество выпавших в июне–сентябре 2011 и 2013 гг. дождей было меньше среднемноголетней величины на 12 и 3% соответственно, в 2012 г – на 9% больше (табл.1). В 2011 г преобладали внутримассовые осадки малой и средней интенсивности. Циклональный тип

погоды в июле и августе чередовался с длительным (4–16 дней) сухим периодом. Основное количество осадков (на 28% выше нормы) выпало в сентябре. Увлажненность 2012 г. связана с циклональной активностью в августе–сентябре, 2013 – в июле–августе. Циклональные выпадения характеризовались длительными дождевыми (5–10 дней), и короткими (1–3 дня) сухими периодами. На долю осадков, поступивших на водосбор с циклонами в 2011–2013 гг., приходится 61, 72 и 68 % соответственно.

Таблица 1

Количество атмосферных осадков на открытом месте (ООП), под пологом коренного (ПВ<sub>к</sub>) и производного (ПВ<sub>п</sub>) леса и их климатическая норма (СМ) для района исследований

Год	Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
	ООП	ПВ <sub>к</sub>	ПВ <sub>п</sub>	ООП	ПВ <sub>к</sub>	ПВ <sub>п</sub>	ООП	ПВ <sub>к</sub>	ПВ <sub>п</sub>	ООП	ПВ <sub>к</sub>	ПВ <sub>п</sub>
2011	90,2	67,9 *	75,3	114,1	88,7	97,5	57,2	40,5	45,7	133,2	105,8	115,6
2012	65,6	47,3	53,1	66,2	47,8	53,6	243,4	209,7	224,3	114,9	89,4	98,3
2013	41,2	27,9	31,8	176,8	145,8	157,9	175,1	144,3	156,2	45,3	31,1	35,3
СМ	99,5	75,9	83,9	118,7	92,8	101,9	129,1	102,1	111,7	104,1	79,9	88,2

\* – расчет осадков под кронами древостоев производился по формулам из [6]

**Осадки открытого пространства (ООП).** В исследуемом бассейне, расположенном вдали от промышленных источников загрязнения, химический состав осадков изучался ранее [8]. Атмосферные осадки, выпавшие в виде дождя и снега в те годы (1993, 1998–2000), имели нейтральную и слабокислую реакцию среды. Дожди 2011–2013 гг. слабоминерализованные, кислые. В них среди основных катионов доминируют  $Ca^{2+}$  и  $K^+$ , в балансе анионов – гидрокарбонаты и сульфаты (табл. 2). Среднее значение pH составило 4,6, что по сравнению с теплым периодом 1998–2000 гг. ниже на 1,7 единицы. Сильнокислые осадки (pH 3,8–4,4) были зафиксированы во время прохождения циклонов. Содержание сульфатов и нитратов в отдельных дождях превышало их среднюю величину за теплый период в 3–4 раза. Сезонный коэффициент  $SO_4^{2-}/NO_3^-$  в 80% ООП варьировал от 1,2 до 2,9, что свидетельствует о значительном участии серы в подкислении осадков. Небольшие

внутримассовые дожди в 90% исследуемых образцов имели рН 4,7–5,3. В период активной вегетации снижению водородного показателя на 0,5–1 единицы способствовало подкисление вод органическими веществами. Химический состав внутримассовых осадков преимущественно сульфатный (или хлоридно-сульфатный) калиево-кальциевый [4, 5]. Повышенная в 1,5–4 раза концентрация ионов в этих дождях связана, вероятно, с процессами эвапотранспирации с обширных лесных территорий Сихотэ-Алиня. Лесной покров с испаряющейся влагой перемещает в приземные слои атмосферы существенную массу минеральных компонентов, которые возвращаются в биокруговорот с внутримассовыми дождями [9].

Таблица 2

Средний межсезонный химический состав атмосферных осадков на открытом месте и прошедших сквозь полог коренных и вторичных древостоев, мг/л

Компоненты Сезон	рН	C <sub>орг</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
Осадки открытого пространства										
Весна	4,47	1,40	0,15	0,19	1,08	0,80	0,26	0,03	0,34	0,06
Лето	4,63	1,39	0,31	0,11	1,28	0,85	0,31	0,03	0,11	0,04
Осень	4,84	2,00	0,21	0,40	1,23	0,74	0,30	0,05	0,45	0,24
Под пологом вторичных древостоев										
Весна	4,51	8,20	<0,10	0,29	1,94	0,82	0,50	0,07	1,73	0,07
Лето	4,75	22,5	0,84	0,27	1,88	1,24	0,82	0,18	2,85	0,28
Осень	5,31	22,8	1,91	0,78	1,03	0,08	0,83	0,40	4,80	0,06
Под пологом коренных древостоев										
Весна	5,28	22,25	2,44	0,49	3,19	0,20	1,68	0,42	4,04	0,10
Лето	5,50	23,45	6,15	0,50	2,01	0,34	1,66	0,52	5,94	0,10
Осень	5,70	31,50	7,60	3,37	1,89	1,59	2,02	0,57	8,00	0,39

**Подкروновые воды (ПВ).** При контакте дождевых вод с хвойно-лиственной массой часть их задерживается кронами древостоев (табл.1). Осадки в количестве 0,1–5 мм, которым предшествовал длительный бездождевой период, практически полностью перехватываются фитомассой. В коренных хвойно-широколиственных лесах задержание осадков до 10 мм составляет 45–85 %, во вторичных смешанных – 27–60 % [6, 10]. В период циклональной активности количество осадков, достигающих подстилки, в коренных и производных лесах увеличивается на 15–40 %.

В трансформированных лесным пологом осадках доминируют те же ионы, что и в свободных (ООП) –  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , но их концентрация повышается в 7–30 раз (табл.2). Это связано с процессами выщелачивания минеральных и органических веществ из тканей наземных растений, растворения и смыва сухих осадений с крон древостоев [3,11,12]. На минерализацию сквозных потоков влияют возраст и структура лесного полога, длительность сухого периода и кислотность дождя. По концентрации поступающих под полог ионов исследуемые сообщества располагаются в порядке: КШ>ПЕ>ХЛ>ББ. С сомкнутых крон кедрово-широколиственных сообществ вымывается больше катионов и гидрокарбонатов, чем в других растительных группировках. Возможно, высокая концентрация элементов в подкроновых водах связана также с более активным перехватом пыли и аэрозолей кронами хвойных деревьев. Кроновые воды на участках с молодыми древостоями характеризуются меньшей концентрацией катионов. Это может быть связано с менее развитыми кронами древостоев и более интенсивной эвапотранспирацией во вторичных лесах. В ходе транспирации, интенсивность которой в молодых лиственных лесах на 10–25% выше, чем в спелых хвойных [6, 10], расход биогенных элементов увеличивается [9].

Специфичность биотической трансформации осадков в коренных и производных сообществах связана с сезонным развитием фитоценозов. Основные лесообразующие породы Южного Сихотэ-Алиня интенсивно накапливают кальций, калий, кремний и магний [7]. Накопление элементов питания в древостоях начинается в период активной вегетации и достигает максимума в осенний период. От весны к осени сумма катионов в подкроновых водах увеличивается, а различия в их концентрации между коренными и вторичными сообществами сокращаются (табл. 2). Эффект уменьшения основных катионов в подкроновых водах наблюдается при выпадении кислых циклональных дождей в июле – августе. Среднее распределение основных катионов, поступающих в подкроновое пространство всех исследуемых участков в теплый период года, по степени убывания их концентрации можно

расположить в ряд:  $K > Ca > Mg > Na$ . Калий, как наиболее подвижный и способный к ретранслокации внутри дерева элемент, легко выщелачивается из крон древостоев. Доля калия в ионном составе подкроновых вод обоих коренных сообществ составляет примерно 30–40 % в течение всего сезона. Под пологом молодняков содержание калия в смешанных сообществах (ХЛ) в среднем за сезон выше, чем в березовых (ББ). Только весной доля калия под кронами ХЛ снижается на 10–15%, что может быть связано с возросшим участием в ионном составе вод кальция и сульфатов.

Различаются ПВ по анионному составу. Суммарная концентрация ионов сильных кислот в ПВ увеличивается за счет повышенного содержания сульфат-иона (рис. 1). В летний период высокое содержание сульфатов и нитратов наблюдается в циклональных дождях. Весной и осенью  $SO_4^{2-}$  под кроны древостоев поступает в 1,5–3 раза больше, чем на открытые поляны (табл. 2).

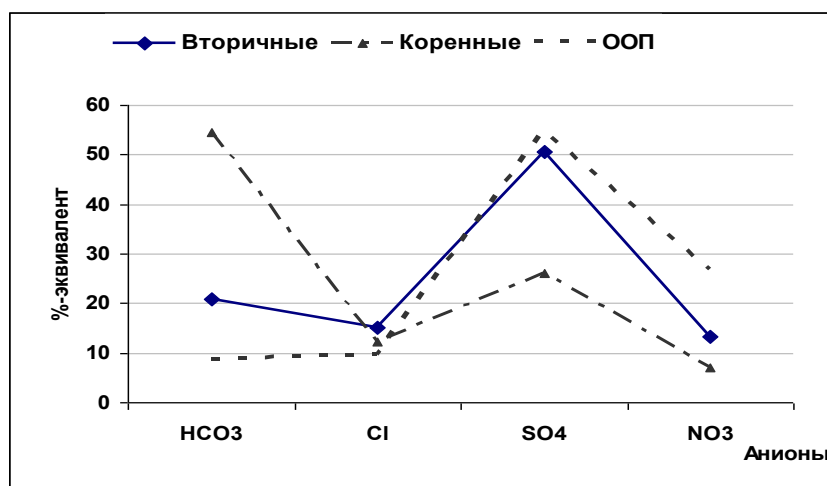


Рисунок 1. Поступление основных анионов с осадками на открытые пространства (ООП) и под полог коренных и вторичных сообществ ВУС в теплый период года

Это, вероятно, вызвано аккумуляцией на надземных частях древостоев аэрозольных частиц, а также способностью фитоценозов поглощать серу из атмосферы [13]. Пройдя сквозь кроны древостоев коренных ПЕ и вторичных сообществ, воды становятся сульфатно-гидрокарбонатными. В анионном составе кроновых вод КШ сообществ доминируют гидрокарбонат-ионы, содержание которых в периоды циклональных дождей на 10–30 % больше суммы анионов сильных кислот.

Как отмечено в ряде работ [9, 11, 12], осадки, прошедшие сквозь кроны хвойных деревьев подкисляются, а лиственных - подщелачиваются. Кислый характер сквозных потоков в естественных условиях связывают с содержанием  $C_{орг}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$  [12]. Наши исследования показывают, что осадки, поступившие под кроны коренных лесообразователей менее кислые, чем ООП и под пологом молодых лиственных древостоев (табл. 2, рис.2). Нейтрализация кислот, попадающих в лесные экосистемы с осадками, происходит вследствие вымывания катионов из растительного полога, что приводит к росту концентрации гидрокарбонат-иона. В водных растворах под коренными сообществами концентрация  $HCO_3^-$  в 7 раз больше, а водород-иона во столько же раз меньше, чем под вторичными. Под действием ионов водорода усиливается катионный обмен и выщелачивание элементов из хвойно-лиственной массы. В виде растворимых в воде солей катионы в большом количестве поступают в подкروновые воды и нейтрализуют кислые выпадения. Лишь в весенний период, когда на кронах хвойных накапливается сухой осадок с высоким содержанием сульфатной серы [11], а концентрация наиболее мобильных элементов калия и магния в надземной фитомассе минимальна (табл.2), осадки под кронами хвойных древостоев подкисляются.

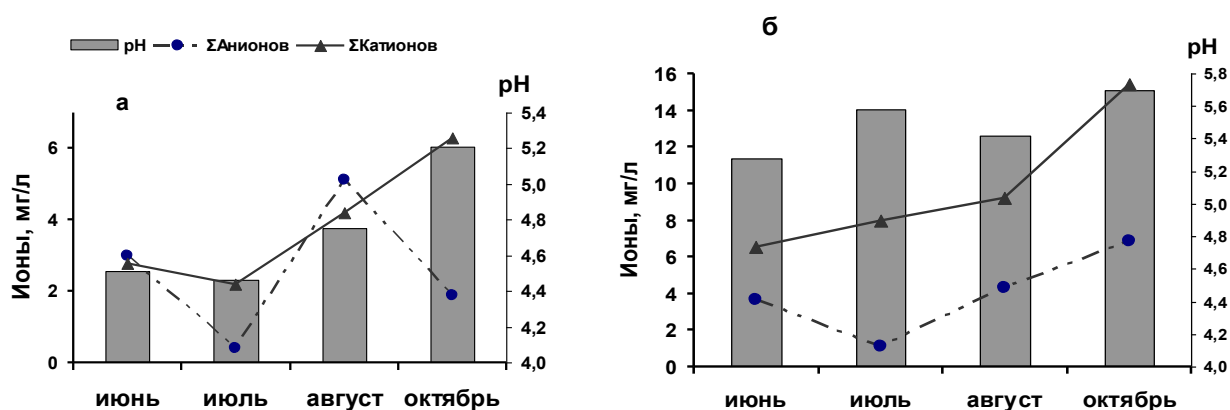


Рисунок 2. Кислотность осадков (рН), содержание основных катионов и анионов сильных кислот в водах под пологом производных (а) и коренных (б) лесов исследуемой территории

Подщелачиванию ПВ способствуют входящие в состав древостоев КШ липа, клен и береза желтая. В надземной фитомассе данных древостоев



количественное содержание Ca, K и Mg выше, чем в других породах хвойно-широколиственных лесов [7]. Кислотность ПВ под вторичными древостоями связана, вероятно, с малой концентрацией катионов и низкой сомкнутостью крон. Часть осадков поступает под полог молодняков практически не соприкасаясь с их кронами. Содержание выщелачиваемых и смываемых катионов, способных нейтрализовать кислотность, снижается, что приводит к увеличению ионов сильных кислот под пологом производных фитоценозов.

Анализ показал, что в теплый период 2012–2013 гг. под полог коренных сообществ питательных веществ поступило почти в 3 раза больше, чем под полог производных. Процентное соотношение катионов, гидрокарбонатов и анионов сильных кислот в сквозных осадках коренных сообществ составило 66:15:19. В ПВ вторичных древостоев с суммой катионов сопоставимо процентное содержание анионов сильных кислот (70:28), а на  $\text{HCO}_3^-$  приходится около 2 %-экв от всех ионов.

### **Заключение**

Исследованные типы дождевых вод наиболее контрастно различаются по анионному составу. Атмосферные осадки открытого пространства представляют собой слабоминерализованные воды с преобладанием сульфат, нитрат и гидрокарбонат ионов. Сезонный коэффициент  $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$  в 80% ООП был больше единицы, что свидетельствует о значительном участии серы в подкислении осадков. Среди катионов в ООП преобладают ионы водорода и кальция. Роль калия возрастает во внутримассовых дождях, что в первую очередь, объясняется влиянием биоты.

Поступление питательных веществ в лесные сообщества с атмосферными осадками характеризуется значительной пространственной вариабельностью, связанной с их перераспределением пологом различных по составу, возрасту и полноте древостоев. В теплый период года под лесной полог ВУС осадков в виде дождя поступает на 25% меньше, чем на открытые пространства. Концентрация же поступающих с дождями химических элементов под пологом леса повышается в 7–30 раз. Воды дождей, прошедшие через древесный полог,

остаются ультрапресными, происходит их обогащение органическим веществом, калием, кальцием. Во всех рассматриваемых сообществах выявлены сходные тенденции поступления элементов питания, связанные с развитием растений в течение вегетационного периода. Подкроновые воды исследуемых лесных сообществ схожи по концентрации  $C_{орг}$ , но различны по содержанию катионов, гидрокарбонат-ионов и анионов сильных кислот. С подкроновыми водами в почву коренных лесов поступило почти в 3 раза больше питательных элементов, чем с водами вторичных древостоев. По концентрации поступающих под полог леса органических и минеральных веществ доминируют коренные смешанные сообщества. В анионном составе вод в КШ сообществах преобладали гидрокарбонат-ионы, в остальных сообществах – сульфат- и хлорид-ионы.

Кислотность подкроновых вод варьирует от очень кислых во вторичных сообществах до слабокислых в коренных. Концентрация выщелачиваемых катионов коррелирует с кислотностью осадков, а их содержание в ПВ снижается пропорционально увеличению сульфат-ионов. В результате катионного обмена с ионами  $H^+$  ПВ обогащались Ca, Mg и K, которые в большей мере способствовали нейтрализации кислотных выпадений в сомкнутых сообществах. Лесной покров вторичных фитоценозов не является нейтральным фильтром для кислых осадков и способствует накоплению под пологом серо- и азотсодержащих компонентов.

Таким образом, в случае возрастания эмиссии азота и серы на юге Дальнего Востока, надземная фитомасса древостоев на продвинутых стадиях природных сукцессий лесных сообществ способна поддерживать устойчивость экосистемы к подкислению. Защитные свойства лесного полога будут сохраняться до тех пор, пока концентрация нейтрализующих кислотность компонентов будет больше концентрации анионов сильных кислот, поступающих с атмосферными выпадениями. Лесные сообщества в период послерубочных сукцессий уже сейчас испытывают значительные нагрузки по кислотности, что в дальнейшем может привести к существенному

преобразованию на участках с производными лесами органогенного профиля почвы и увеличению выноса питательных веществ за пределы их корнеобитаемого слоя.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №11-05-0526, №13-05-90414, №14-05-00150) и Дальневосточного отделения РАН (гранты №11-III-Д-09-052, №12-III-А-09-201, №13-III-Д-09-008; №13-III-Д-06-018).*

### **Библиографический список**

1. Кожевникова Н.К., Дюкарев В.Н. Эколого-защитные свойства лесного покрова верхнего пояса гор (Южный Сихотэ-Алинь) // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 4. – С. 31–38.
2. Кондратьев И.И. Трансграничный фактор в изменчивости химического состава осадков на юге Дальнего Востока // География и природные ресурсы. – 2009. – № 3. – С. 31–36.
3. Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Геохимия, функционирование и динамика горных геосистем Сихотэ-Алиня (юг Дальнего Востока России). – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 253 с.
4. Болдескул А.Г., Шапов В.В., Гарцман Б.И., Кожевникова Н.К. Ионный состав генетических типов вод малого речного бассейна: стационарные исследования в Центральном Сихотэ-Алине // Тихоокеанская геология. – 2014. – Т. 33. №2. – С. 90–101.
5. Шапов В.В., Гарцман Б.И., Губарева Т.С., Кожевникова Н.К., Болдескул А.Г. Экспериментальные исследования генетической структуры стока с помощью химических трассеров: постановка задачи // Инженерные изыскания. 2013. № 1. С. 60–69.
6. Кожевникова Н. К. Гидрологические и защитные функции горных лесов Южного Сихотэ-Алиня (Оценка динамики на основе модельных бассейнов). – Саарбрюккен: Лап ламберт, 2012. – 159 с.
7. Сапожников А.П., Селиванова Г.А., Ильина Т.М. и др. Почвообразование и особенности круговорота веществ в горных лесах южного Сихотэ-Алиня. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1993. – 267 с.
8. Ильина Т.М. Формирование подстилок в пихтово-еловых и широколиственно-кедровых лесах Южного Сихотэ-Алиня: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: Дальнаука, 2009. – 20 с.
9. Елпатьевский П.В., Аржанова В.С., Луценко Т.Н. и др. Биогенный этап формирования химического состава природных вод // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия: материалы международной научной конференции. Томск: НТЛ, 2000. – С. 195–198.
10. Жильцов А.С. Гидрологическая роль горных хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 331 с.
11. Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1996. Ч. 1. – 213 с.
12. Пристова Т.А. Влияние древесного полога лиственного и хвойного насаждения на химический состав осадков // Лесоведение. – 2005. – № 5. – С. 49–55.
13. Алексеев А.А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л.: Наука, 1990. – 200 с.

# TRANSFORMATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN THE CANOPY OF NATIVE AND SECONDARY CONIFEROUS-DECIDUOUS FORESTS

**Kozhevnikova N.K.** Institute of Biology and Soil Sciences, FEB RAS,; nkozhevnikova@ibss.dvo.ru

**Boldeskul A.G.** Pacific Geographical Institute FEB RAS; boldeskul@tig.dvo.ru

## References

1. Kozhevnikova N. K., Dyukarev V. N. Environmental-protective properties of forest cover in the upper mountains zone (Southern Sikhote-Alin) // *Regional Environmental Issues* – 2011. – № 4. – Pp. 31–38.
2. Kondratiev I.I The trans-boundary factor in chemical composition variability of atmospheric precipitation in the southern Far East. // *Geography and Natural Resources*. – 2009. – № 3. – P. 31–36.
3. Arzhanova V.S., Yelpatyevsky P.V. Mountain Geosystems: geochemistry, functioning and dynamics (Sikhote-Aline Mountains, Southern Russian far East). – Vladivostok: Dal'nauka, 2005. – 253 p.
4. Boldeskul A.G., Shamov V.V., Gartsman B.I., Kozhevnikova N.K.. Main ions in water of different genetic types in a small river basin: case experimental studies in Central Sikhote-Alin // *Russian Journal of Pacific Geology*. – 2014. – V. 33. №2. – Pp. 90–101.
5. Shamov V.V., Gartsman B.I., Gubareva T.S, Kozhevnikova N.K., Boldeskul A.G. Experimental studies of runoff genetic structure using chemical trasers: the problem statement // *Engineering surveys* – 2013. № 1. Pp. 60–69.
6. Kozhevnikova, N.K. Hydrological and protective functions of mountain forests of southern Sikhote-Alin: Assessment of the dynamics on the basis of model basins. – Saarbrücken: LapLambert, 2012. – 159 p.
7. Sapozhnikov A.P , Selivanova G.A, Il'ina T.M. et all. Soil formation and features cycling of matter in the mountain forests of the southern Sikhote-Alin. – Khabarovsk: Dal'nauka, 1993. – 267 p.
8. Il'ina T.M. Formation of litters in the spruce-fir and broad-leaved - korean pine forests of southern Sikhote-Alin: cand. biol. Science thesis. Vladivostok: Dal'nauka, 2009. – 20 p.
9. Yelpatyevsky P.V. Arzhanova V.S., Stage of biogenic formation of the chemical composition natural waters // *Fundamental of water problems and water resources at the turn of Third Millennium: Proceedings of the International Scientific Conference*. Tomsk: NTL, 2000. - Pp. 195-198.
10. Zhil'tsov, A.S. Hydrological role of mountain coniferous-deciduous forests of South Primorye. – Vladivostok: Dal'nauka, 2008. – 331 p.
11. Lukina N.V., Nikonov V.V. Biogeochemical cycles in Northern forests under conditions of airborne industrial pollution. – Apatity: KSC RAS, 1996. – 213 p.
12. Pristova T. A. The Influence of Deciduous-Coniferous Stand Canopy on the Chemical Composition of Precipitation // *Russian Forest Sciences*. – 2005. – № 5. – Pp. 49–55.
13. Alekseev A.A. Forest ecosystems and atmospheric pollution. – Leningrad: Nauka, 1990. – 200 p.