

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
ПРИРОДНЫХ ВОД В ГОРНЫХ ЛЕСНЫХ БАССЕЙНАХ**

**Н.К. Кожевникова¹, А.Г. Болдескул², В.В. Шамов², Б.И. Гарцман²,
Т.С. Губарева²**

¹*Биолого–почвенный институт ДВО РАН, пр. 100-летия Владивостока, 159,
Владивосток, 690022, Россия. E-mail: nkozhevnikova@ibss.dvo.ru*

²*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, ул. Радио, 7,
Владивосток, 690044, Россия. E-mail: vlshamov@yandex.ru*

Представлены результаты исследования особенностей миграции химических элементов в природных водах горных ландшафтов южного Сихотэ-Алиня. В теплые периоды 2011–2013 гг. изучался макросостав генетических типов вод (циклонических и внутримассовых атмосферных осадков, подкрановых, лизиметрических), формирующих сток и качество вод в реках первого и второго порядка. Установлено, что все исследованные типы вод наиболее контрастно различаются по анионному составу. Химический тип речных вод достаточно устойчив, формируется в почвенно-грунтовой толще и существенно не меняется при различной увлажненности бассейна.

**FEATURES OF THE CHEMICAL COMPOSITION FORMATION
OF NATURAL WATERS IN MOUNTAIN FOREST BASINS**

N.K. Kozhevnikova¹, A.G. Boldeskul², V.V. Shamov², B.I. Gartsman², T.S. Gubareva²

¹*Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, 159 Stoletiya Vladivostoka Ave.,
Vladivostok, 690022, Russia. E-mail: nkozhevnikova@ibss.dvo.ru*

²*Pacific Geographical Institute FEB RAS, 7 Radio Str, Vladivostok, 690041, Russia.
E-mail: vlshamov@yandex.ru*

Study of the migration of chemical elements in natural waters of mountain landscapes of the southern Sikhote-Alin was conducted. In warm periods of 2011–2013, the composition of genetic types of water (cyclonic, intermittent rain, throughfall, lysimetric), forming runoff and water quality in streams of the first and second order was investigated. All types of water studied were found to differ in anion composition. Chemical type of river water is quite stable, is formed in the soil and dirt thicker and do not significantly change at different moisture of mountain basins.

Горные лесные экосистемы являются основной зоной формирования пресной и чистой воды, сосредоточенной в малых реках и ручьях, доля которых в гидрографической сети Приморского края составляет более 90 %. Гидрохимический состав природных вод от выпадения атмосферных осадков до разгрузки подземных вод в реки, отражает в своем составе совокупность современных ландшафтообразующих факторов и процессов. Благодаря активному участию атмосферных осадков в переносе воды, тепла и твердых веществ, происходит постоянное пополнение биогеоценоза элементами минерального питания извне (Одум, 1986). Биотические компоненты лесных экосистем существенно перераспределяют поток атмосферной воды в пространстве и во времени и определяют основной механизм расходования влаги – транспирацию. В ходе эвапотранспирации лесной

покров перемещает в атмосферу существенную массу элементов минерального питания (Елпатьевский и др., 2000). Включаясь в гидрологический цикл, содержащиеся в транспирационной влаге биофильные элементы поступают обратно в лесные бассейны с атмосферными осадками. В процессе трансформации осадков почвенно-биотическим блоком экосистемы происходит обмен поступивших веществ между лесными сообществами и водотоками, формируется химический состав речных вод. Условия формирования стока и качество вод заметно изменяются в результате лесохозяйственного освоения речных бассейнов, при загрязнении среды техногенными выбросами (Аржанова, Елпатьевский, 2005; Кожевникова, Дюкарев, 2011).

Экспериментальные исследования, представленные в данной публикации, направлены на изучение особенностей миграции химических веществ в системе атмосферные осадки – подкروновые воды – лизиметрические растворы – речной сток и получение количественных оценок их макросостава в горных лесных бассейнах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальные работы проводились на реках 1 и 2 порядка Верхнеуссурийского стационара БПИ ДВО РАН, расположенного в бассейне р. Правая Соколовка, которая входит в систему верховьев р. Уссури и является ее притоком 4 порядка (рис. 1). Район исследований расположен на западных склонах системы хребтов Южного Сихотэ-Алиня, на расстоянии более 300 км от морского побережья. Основной водораздел бассейна представляет собой ряд средневысотных возвышенностей со слабо выраженными седловинами и водораздельными гребнями сложно-извилистого типа. Средняя густота гидрографической сети составляет 0,6–0,8 км/км², долины водотоков глубоко врезаны, часто V-образны, с крутизной склонов до 35°. Почвообразующие породы бассейна р. Правая Соколовка представлены преимущественно эффузивами кислого и среднего состава – липаритовыми порфирами, порфиритами, дацитами, сиенитами и их туфами (Жильцов, 2008). 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

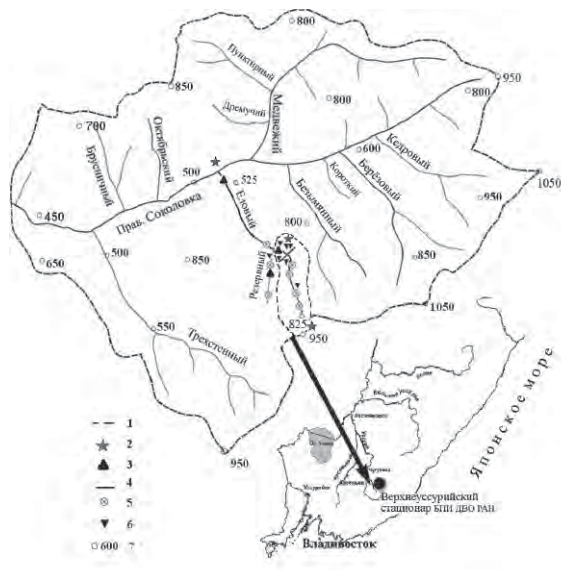


Рис. 1. Карта-схема экспериментального бассейна ручья Еловый в бассейне р. Правая Соколовка. Условные обозначения: 1) границы экспериментального бассейна; 2) местоположение осадкомеров и метеостанции; 3) местоположение гидрометрических постов; 4) местоположение профили измерения влагзапасов почвы; 5) места разового отбора проб русловых вод; 6) местоположение точек отбора проб почвенных вод тензиолизиметрами, 7) высотные отметки рельефа, м БС

тесно связаны с фитомассой лесных сообществ (Сапожников и др., 1993).

Важнейшие особенности природы этого региона – контрастность и высокое биологическое разнообразие, связаны с его географическим положением на восточной окра-

ине 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 под воздействием континентальных и океанических процессов с сильным влиянием внутритропических муссонов. Годовая сумма осадков составляет 700–1000 мм (Кожевникова, 2009), около 80 % выпадает в летне-осенний период. По абсолютным высотам Сихотэ-Алинь относится к среднегорным массивам с климатически обусловленной высотной поясностью растительного покрова. Здесь формируется своеобразный пояс контакта пихтово-еловых и широколиственно-кедровых лесов, в результате чего образуются устойчивые смешанные древостои с постоянным участием кедра, ели, пихты и многочисленных лиственных пород (*Betula costata*, *B. mandshurica*, *Quercus mongolica*, *Tilia taquetii*, *Fraxinus mandshurica*, *Ulmus laciniata* и др.).

Бассейн руч. Еловый, используемый для детальных ландшафтно-экологических исследований, является левым притоком р. Правая Соколовка (рис. 1). Свое начало ручей берет на высоте около 1000 м над уровнем моря. Общая площадь бассейна руч. Еловый составляет 3,53 км², протяженность ручья – 3,5 км. Основной водоупор залегает на глубине около 3 м. Состоит Еловый из двух ручьев первого порядка с различной площадью коренных лесов, сохраненных на водосборах после вырубki 1966 г. Ручей Резервный на 98 % покрыт коренным хвойно-широколиственным лесом, ниже и выше от его впадения были произведены условно-сплошная и сплошная вырубki леса. Сток по ручью в пределах экспериментального водосбора устойчивый, в устьевой части руч. Еловый, примыкающей к аллювиальной толще долины р. Соколовка, в годы с затяжной летней меженью наблюдалось полное пересыхание (Шамов и др., 2013). Суммарный слой стока в зависимости от увлажненности периода изменяется от 45 до 578 мм. Суммарное испарение с апреля по октябрь, рассчитанное для бассейна по фактическим данным, составляет 450–550 мм, из которых на транспирацию расходуется более 80%.

Сбор атмосферных осадков на поляне выполнялся в полиэтиленовые конусы, подвешиваемые на расстоянии не менее 3 м от деревьев. Для исследования трансформации атмосферных осадков пологом древостоев выбрано 4 участка. На 2-х участках древесный полог представлен коренными лесообразующими породами, характерными для хвойно-широколиственных лесов. В производных лесах выбраны также два участка, где сплошные рубки 50-летней давности были проведены с сохранением и без сохранения предварительного подроста.

Для отбора проб почвенно-грунтовых вод использовались тензиолизиметры (Тл), позволяющие извлекать пробы воды из почв ненарушенного сложения. Тл были заложены в местах концентрации гравитационной влаги на глубинах 30–60 см на различных типах почв. Три Тл были заложены в верхней части водосборного бассейна руч. Еловый, где распространены преимущественно елово-пихтовые леса и горно-таежные иллювиально-гумусовые почвы (Жильцов, 2008). Шесть Тл были приурочены к горным бурым лесным почвам под кедрово-широколиственным лесом, частично вырубленным более 40 лет назад.

Отбор гидрохимических проб производился на 3 створах. При отборе проводилось измерение температуры, электропроводности и расходов воды. Перед фильтрацией измеряли рН, электропроводность. В нефльтрованной пробе потенциометрическим титрованием по стандартной методике определяли содержание гидрокарбонат-иона. Остальные компоненты определялись после фильтрации через фильтр 0.45 мкм (Dugapore Millipore). Для определения компонентов методами ААС и ICP–MS пробы после фильтрации подкислялись азотной кислотой. Содержание главных анионов (Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻) определено на жидкостном хроматографе Shimadzu LC 10Avp, главных катионов (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) – на атомно-абсорбционном спектрометре Shimadzu AA 6800. Кремний определен методом ICP–MS (Agilent 7500 cx Series). Определение содержания общего растворенного органического углерода (C_{общ}) в воде проведено с помощью современного ТОС-анализатора (Shimadzu TOC–V_{CPN}).

Таблица 1

Химический состав атмосферных осадков и подкroновых вод, отобранных в бассейне руч. Еловый

Компонент	Внутримассовые осадки, грозы (n=16)		Циклонические осадки (n=13)		Подкroновые воды (n=27)	
	а	б	а	б	а	б
pH	3,8–5,4	4,9	3,8–5,2	4,6	3,8–6,55	5,1
Электропроводность, мкс/см	8–132	36	1–9	6	11–29	21
Минерализация, мг/л	4,3–30,8	10,8	1,6–4,4	2,7	6,1–13,8	10,0
Взвесь, мг/л	1,6–122,8	31,4	0,2–7,2	2,5	2,6–32,7	11,9
$C_{орг}$, мг/л	1,9–14,1	5,2	0,3–2,3	1,3	3,1–34,0	22,0
Si, мг/л	0,01–0,15	0,05	<0,01–0,02	<0,01	0,06–0,38	0,25
HCO_3^- , мг/л	<0,1–4,0	0,66	<0,1–1,22	0,33	<0,1–20	3,29
Cl ⁻ , мг/л	<0,1–4,43	0,85	<0,1–0,41	0,16	0,12–5,98	0,75
SO_4^{2-} , мг/л	0,58–14,59	4,25	<0,32–5,72	1,41	0,49–6,80	1,93
NO_3^- , мг/л	0,30–10,95	2,74	<0,25–2,51	0,81	<0,25–4,21	0,57
Ca^{2+} , мг/л	0,05–4,43	1,11	<0,05–1,04	0,32	0,191–3,83	1,23
Mg^{2+} , мг/л	0,02–0,61	0,16	<0,02–0,07	0,03	0,10–1,43	0,36
K ⁺ , мг/л	0,17–5,67	1,27	0,01–0,66	0,20	0,53–21	4,66
Na ⁺ , мг/л	0,04–0,38	0,21	0,01–0,30	0,11	0,11–1,35	0,27

Примечание: n – количество проб; а – пределы изменения, б – среднее арифметическое.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в конце мая – начале октября 2011–2013 гг. В это время года воздушные массы переносятся в Приморье в основном с севера Дальнего Востока и Сибири и Центрального Китая, частота выноса с Японского моря минимальна (Кондратьев, 2009). По погодным условиям периоды наблюдений можно охарактеризовать как жаркие и умеренно-влажные. Количество выпавших дождей было в пределах нормы. 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 выпало в сентябре. Увлажненность 2012 и 2013 гг. связана с циклональной активностью в июле–сентябре.

Осадки открытого пространства. По нашим данным о составе атмосферных вод, внутримассовые кратковременные дожди отличаются от циклонических, связанных с масштабными атмосферными процессами (табл. 1). Циклонические осадки – ультрапресные (минерализация 2–4 мг/л), кислые, гидрокарбонатно–сульфатные, преимущественно кальциевые. Кислый состав циклонических осадков может объясняться атмосферным переносом загрязняющих веществ – оксидов серы, азота (Кондратьев, 2009).

Содержание их в отдельные дожди превышало среднюю величину за теплый период в 3–4 раза. Сезонный коэффициент SO_4^{2-}/NO_3^- в 80 % ООМ варьировал от 1,2 до 2,9, что свидетельствует о большем вкладе серы в подкислении осадков. Во время прохождения циклонов в 2013 г. были зафиксированы сильнокислые осадки с pH 3,8–4,4. Небольшие внутримассовые дожди в 90 % исследуемых образцов имели pH 4,7–5,3. В период активной вегетации снижению водородного показателя на 0,5–1 единицы способствовало подкисление вод органическими веществами. По сравнению с данными, полученными для Верхнеуссурийского стационара в 1998–2000 гг. (Ильина, 2009), показатели pH до-

ждей снизились, в среднем, на 1,7 единицы. Химический состав внутримассовых осадков преимущественно сульфатный (или хлоридно-сульфатный) калиево-кальциевый. Повышенная в 1,2–6 раз концентрация ионов во внутримассовых дождях связана, вероятно, с существенным переносом химических элементов в приземные слои атмосферы транспирационными выделениями с обширных лесных территорий Сихотэ-Алиня (Елпатьевский и др., 2000).

Подкروновые воды. Проходя сквозь лесной полог, атмосферные воды претерпевают сильную биогеохимическую трансформацию. Концентрация химических веществ повышается в 7–30 раз (табл. 1) за счет выщелачивания минеральных и органических веществ из тканей наземных растений, растворения и смыва сухих осадков с крон древостоев. По концентрации поступающих под полог ионов доминировали коренные фитоценозы. С сомкнутых крон кедрово-широколиственных сообществ вымывалось больше, чем в других растительных группировках на 6–7%, 8–10% и 14–16% катионов, анионов сильных кислот и гидрокарбонатов, соответственно (рис. 2). Небольшая концентрация элементов-биогенов в кроновых водах под молодыми древостоями может быть связана с плохо развитыми кронами и интенсивной эвапотранспирацией во вторичных лесах.

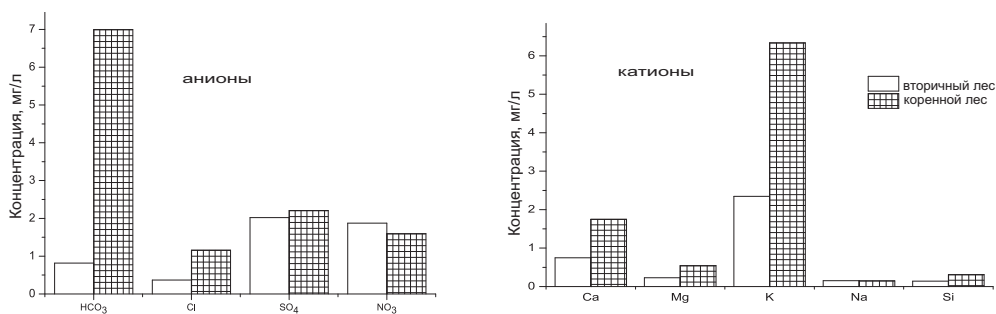


Рис. 2. Содержание основных анионов и катионов под пологом вторичных и коренных лесных сообществ в хвойно-широколиственных лесах бассейна руч. Еловый

Подкروновые воды растительных группировок коренных и вторичных сообществ обогащены органическим углеродом. Различаются воды лесных сообществ по кислотности и анионному составу. Согласно литературным данным, осадки, прошедшие сквозь кроны хвойных деревьев подкисляются, а лиственных – подщелачиваются (Лукина, Никон, 1996; Пристова, 2005). Наши исследования показывают, что осадки, поступившие под кроны коренных хвойных лесообразователей, менее кислые, чем на открытом месте и под пологом молодых лиственных древостоев (рис. 3). Кислые атмосферные выпадения, зафиксированные в исследуемом бассейне, способствуют активному вымыванию и выщелачиванию с поверхности хвойно-лиственной массы коренных древостоев мобильных катионов Mg^{2+} и K^+ . Под действием ионов водорода в воде усиливается катионный обмен, водородный показатель повышается.

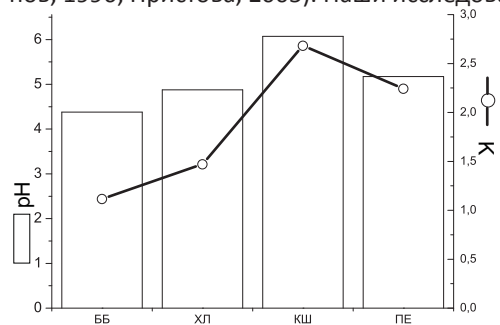


Рис. 3. Зависимость кислотности (рН) от соотношения суммы катионов и анионов сильных кислот (К) в сообществах коренных (КШ и ПЕ) и вторичных (ББ и ХЛ) лесов. Сообщества: ББ – березовые; ХЛ – хвойно-лиственные; КШ – кедрово-широколиственные; ПЕ – пихтово-еловые.

Кислотность вод, прошедших через полог древостоев, зависит от соотношения катионов и анионов сильных кислот (рис. 3). В связи с тем, что концентрация катионов в подкроновых водах вторичных сообществ мала (рис. 2), остается слабым и катионный

обмен, водородный показатель повышается.

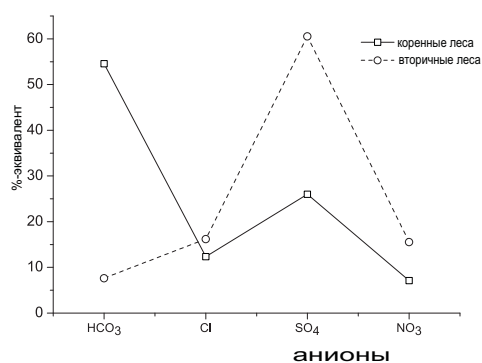


Рис. 4. Анионный состав осадков, прошедших сквозь полог лесных сообществ коренных и вторичных лесов бассейна руч. Еловый

обмен с ионами водорода сильных кислот. Способность к нейтрализации pH снижается, что приводит к накоплению сульфатов под пологом производных биогруппировок (рис. 4).

Подщелачиванию подкroновых вод и повышению pH воды способствуют входящие в состав коренного леса лиственные древо-стои с высоким содержанием в их фитомассе мобильного калия (Сапожников и др., 1993). В анионном составе кроновых вод коренных сообществ доминирует гидрокарбонат-ион, содержание которого больше суммы анионов сильных кислот на 10 % (рис. 3).

Таким образом, воды дождей, прошедшие через древесный полог в исследуемом бассейне, остаются ультрапресными, при этом их минерализация возрастает до 6–14 мг/л.

Кислотность подкroновых вод варьирует от очень кислых (на вырубках) до слабокислых, происходит их обогащение органическим веществом, калием, кальцием. На участках с коренными древостоями значительно увеличивается доля гидрокарбонат-иона и калия. Воды под лесным пологом вторичных лесов становятся сульфатно–гидрокарбонатными кальциево–калиевыми.

Склоновые и речные воды. По соотношению основных анионов, склоновые (почвенные) воды, полученные в верхнем течении ручья Еловый, где преобладает иллювиально–гумусовые почвы под пихтово–еловыми лесами, отличаются по составу от вод, приуроченных к кедрово–широколиственному лесу с бурыми горнолесными почвами (табл. 2). После взаимодействия с почвами, воды приобретают натриево–кальциевый состав. Калий, которым богаты подкroновые воды, удерживается в почвенном профиле и в сумме катионов составляет менее 7 %-экв. Натрий выходит на вторую позицию, его доля в

Таблица 2

Средняя концентрация основных ионов и кислотность лизиметрических вод, формирующих речной сток на участках исследуемого бассейна с различным типом леса

Компонент, мг/л	Елово-пихтовые леса и горно-таежные иллювиально-гумусовые почвы		Кедрово-широколиственные леса и бурые горно-лесные почвы		Весь бассейн P2
	ЛВ	P1	ЛВ	P1	
C _{орг.}	3,9	3,6	3,7	4,7	3,6
Si	5,6	5,8	6,3	6,9	6,9
HCO ₃ ⁻	4,5	2,4	12,1	12,8	9,9
Cl ⁻	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8
SO ₄ ²⁻	10,6	9,0	7,1	7,1	7,2
NO ₃ ⁻	2,1	2,5	3,0	3,5	2,0
Ca ²⁺	3,8	2,8	4,3	5,0	3,9
Mg ²⁺	0,7	0,5	0,8	0,7	0,5
K ⁺	1,4	1,3	0,8	1,0	1,0
Na ⁺	1,2	1,5	2,6	2,5	2,3
pH	6,1	5,7	6,7	6,7	6,5

Примечание: ЛВ – лизиметрические воды; P1, P2 – ручьи 1-го и 2-го порядка, соответственно.

катионном составе возрастает на 7–15 %-экв. Речные воды по химическому составу идентичны склоновым водам. В целом, для всех изученных почвенных, а, соответственно, и речных вод характерен натриево–кальциевый катионный состав. Склоновые воды в верхнем течении руч. Еловый являются кислыми или слабокислыми, сульфатными натриево–кальциевыми, их химический состав схож с водами руч. Еловый в створе экспериментального бассейна (рис. 1). Воды из остальных лизиметров характеризуются как слабокислые или нейтральные, сульфатно–гидрокарбонатные натриево–кальциевые, а по своему составу идентичны водам ручьев Резервный и Еловый в устье (табл. 2).

Вероятно, ручьи первых двух порядков в силу неразвитости их долин не имеют истинно подземного питания, дренируя лишь почвы и относительно маломощные склоновые отложения. Химический состав их вод наиболее подвержен изменениям ландшафтно-геохимических факторов. По мере увеличения дренируемой площади и роста порядка, локальное влияние этих факторов нивелируется и состав вод становится более стабильным (P2 в табл. 2) и близок к составу вод рек Приморья, не испытывающих антропогенного загрязнения (Шулькин и др., 2009; Чудаева, Чудаев, 2011). Во время паводков тип вод изменяется мало. Наблюдается рост содержания нитратов, ионов магния, натрия и калия, снижение минерализации и кислотности, концентрации сульфатов, гидрокарбонатов и кальция. Преобладание в русловых водах сульфат-иона и присутствие гидрокарбонат-иона в незначительных количествах может свидетельствовать как о специфических процессах разложения органических веществ в иллювиально–гумусовых почвах с образованием сульфатов и нитратов, так и о слабой защитной роли вторичных фитоценозов. Площадь производных лесов в пределах экспериментального бассейна составляет более 50 % и снижение концентрации гидрокарбонатов на фоне роста анионов сильных кислот может быть связано с особенностями трансформации кислых атмосферных осадков пологом вторичных древостоев.

Склоны руч. Резервный покрыты коренными хвойно–широколиственными лесами. Ионный состав вод ручья отражает почвенно–биотическую трансформацию осадков, характерную для этих биогеоценозов и схож с составом вод в устье руч. Еловый. От вод экспериментального створа их состав отличается по анионному составу. В периоды летней межени воды ультрапресные (28–33 мг/л), нейтральные (рН 6,6–7,1), сульфатно–гидрокарбонатные натриево–кальциевые. С увеличением расходов воды снижаются минерализация и рН, воды остаются сульфатно–гидрокарбонатными натриево–кальциевыми, незначительно увеличивается доля нитратов за счет уменьшения сульфатов и гидрокарбонатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все исследованные типы вод наиболее контрастно различаются по анионному составу. Атмосферные осадки представляют собой слабоминерализованные воды, в анионном составе которых преобладают сульфат, нитрат и гидрокарбонат ионы, среди катионов преобладают ионы водорода и кальция. Роль калия возрастает во внутримассовых дождях, что в первую очередь, объясняется влиянием биоты. Прошедшие через полог леса осадки обогащаются питательными веществами, доминирующим ионом является калий, доля которого в катионном составе сохраняется на уровне более 40 %-экв в течение всего сезона. Почва является основным источником гидрокарбонатов, сульфатов, кальция, магния, натрия, а также растворимых форм кремния. Склоновые воды можно разделить на две основные группы: 1) сульфатные, формирующиеся в основном в верхней части бассейна под влиянием иллювиально–гумусовых процессов почвообразования и 2) сульфатно–гидрокарбонатные, генетически связанные с бурыми горнолесными почвами. Почвенно–биотический блок различных по структуре и возрасту лесов является регулятором формирования химического состава русловых вод. Химический тип речных вод достаточно устойчив, формируется в почвенно–грунтовой толще и практически не меняется с повышением водности. Воды рек первого порядка, сформированные на водосборе с пре-

обладанием молодых листовых древостоев, слабокислые, сульфатные натриево-кальциевые. Произрастающие кедрово-широколиственные старовозрастные леса на склонах водосбора способствуют формированию нейтральных по кислотности сульфатно-гидрокарбонатных типов речных вод.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 11-05-0526, № 13-05-90414) 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).

ЛИТЕРАТУРА

- Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. 2005.** Геохимия, функционирование и динамика горных геосистем Сихотэ-Алиня (юг Дальнего Востока России). Владивосток: Дальнаука. 253 с.
- Елпатьевский П.В., Аржанова В.С., Луценко Т.Н. и др. 2000.** Биогенный этап формирования химического состава природных вод // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия: материалы международной научной конференции. Томск: НТЛ. С. 195–198.
- Жильцов А.С. 2008.** Гидрологическая роль горных хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука. 332 с.
- Ильина Т.М. 2009.** Формирование подстилок в пихтово-еловых и широколиственно-кедровых лесах Южного Сихотэ-Алиня: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: Дальнаука. 20 с.
- Кожевникова Н.К. 2009.** Динамика погодноклиматических характеристик и экологические функции малого лесного бассейна // Сибирский экологический журнал. № 5. С. 693–703.
- Кожевникова Н.К., Дюкарев В.Н. 2011.** Эколого-защитные свойства лесного покрова верхнего пояса гор (Южный Сихотэ-Алинь) // Проблемы региональной экологии. № 4. С. 31–38.
- Кондратьев И.И. 2009.** Трансграничный фактор в изменчивости химического состава осадков на юге Дальнего Востока // География и природные ресурсы. № 3. С. 31–36.
- Лукина Н.В., Никонов В.В. 1996.** Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, Ч. 1. 213 с.
- Одум Ю. 1986.** Экология. Москва: Мир. Т. 1. 328 с.
- Пристова Т.А. 2005.** Влияние древесного полога листового и хвойного насаждения на химический состав осадков // Лесоведение. № 5. С. 49–55.
- Сапожников А.П., Селиванова Г.А., Ильина Т.М. и др. 1993.** Почвообразование и особенности круговорота в горных лесах южного Сихотэ-Алиня. Хабаровск: ДальНИИЛХ. 267 с.
- Чудаева В.А., Чудаев О.В. 2011.** Особенности химического состава воды и взвесей рек Приморья (Дальний Восток России) // Тихоокеанская геология. Т. 30, № 2. С. 102–119.
- Шамов В.В., Гарцман Б.И., Губарева Т.С. и др. 2013.** Экспериментальные исследования генетической структуры стока с помощью химических трассеров: постановка задачи // Инженерные изыскания. № 1. С. 60–69.
- Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Перепелятников Л.В. 2009.** Пространственно-временная изменчивость химического состава речных вод юга Дальнего Востока РФ // Водные ресурсы. Т. 36, № 4. С. 428–439.