

**ИОННЫЙ СОСТАВ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ ВОД МАЛОГО РЕЧНОГО БАССЕЙНА:  
СТАЦИОНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОМ СИХОТЭ-АЛИНЕ**

*А.Г. Болдескул<sup>1</sup>, В.В. Шамов<sup>1</sup>, Б.И. Гарцман<sup>1</sup>, Н.К. Кожевникова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, ул. Радио 7, г. Владивосток, 690041;  
e-mail: boldeskul@tig.dvo.ru

<sup>2</sup>ФГБУН Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток

Поступила в редакцию 24 апреля 2013 г.

Представлены результаты детальных натурных исследований ионного состава вод малого речного бассейна, полученные на базе комплекса современных технологий гидролого-геохимического мониторинга высокого пространственно-временного разрешения в теплые периоды 2011–2012 гг. На основе различий по макросоставу выделены семь основных генетических типов вод: 1) циклонических осадков, 2) внутримассовых осадков, 3) подкрановые, 4) склоновые (почвенные), 5) межленного стока (удельные расходы воды не превышают 2.5 л/с·км<sup>2</sup>), 6) низких паводков (пиковые удельные расходы находятся в пределах от 2.5 до 16 л/с·км<sup>2</sup>), 7) средних паводков (пиковые удельные расходы изменяются от 16 до 100 л/с·км<sup>2</sup>). Были также выявлены четыре основные группы компонентов макросостава речных вод, различающиеся по характеру связи их содержания с водностью потока: а) компоненты, концентрации которых нарастают с ростом водности потока, б) компоненты, содержание которых снижается в периоды дождевых паводков, в) компоненты, содержание которых практически не связано с расходом воды, г) компоненты, содержание которых имеет сложную связь с режимом водотока.

**Ключевые слова:** химический состав природных вод, малый речной бассейн, Сихотэ-Алинь.

**ВВЕДЕНИЕ**

Химический состав природных вод в различных звеньях водного цикла на суше – от выпадения атмосферных осадков до разгрузки грунтовых вод в реки – испытывает существенную трансформацию и отражает совокупный эффект процессов и условий приповерхностного влагооборота, включая воздействие всех ландшафтных факторов. Стандартный мониторинг качества и эпизодические гидрохимические съемки поверхностных и подземных водных объектов, являющихся обычно наиболее ценным водным ресурсом, далеко не всегда обеспечивают понимание закономерностей формирования стока и качества речных вод. Существенно восполнить этот пробел могут экспериментальные комплексные гидролого-геохимические исследования элементов водного цикла на небольших репрезентативных речных бассейнах. В рамках таких исследований содержание и динамика того или иного растворенного вещества в воде может отражать характер процессов стокоформирования и, с учетом определенных требований, выступать в каче-

стве индикатора источников питания реки (трассера) [10, 17, 19–21].

Специфика химического состава вмещающей среды (атмосферы, растительного полога, почв и горных пород) и качественная трансформация воды в этой среде определяют различные типы вод, а сочетание последних представляет собой генетическую структуру водных масс в пределах данного ландшафта или его компонента [17]. Таким образом, генетическая структура стока отражает наличие и соотношение различных источников питания рек, а также различных механизмов стокообразования с учетом их функциональных взаимосвязей и динамики.

В данной статье представлены некоторые результаты комплексных натурных исследований основных механизмов и источников формирования речного стока, выполненных коллективом сотрудников Дальневосточного отделения РАН в 2011–2012 гг. в малом речном бассейне в верховьях р. Усури на основе современных технических и методических средств наблюдения и анализа. Химический состав различ-

ных типов вод выступает ключевым предметом указанных исследований.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследовательский контекст, в рамках которого были получены данные, обсуждаемые в настоящей статье, подробно изложен в одной из недавних публикаций авторов [15]. Отправной точкой является признание того, что речной сток представляет собой результат непрерывного процесса трансформации выпавших на поверхность водосбора атмосферных осадков в склоновый сток, который под влиянием процессов руслового добегания и эффектов пойменно-руслового регулирования преобразуется в русловую сток [2, 18]. В процессе стокоформирования имеет место водообмен с более глубокими подземными горизонтами – подземное питание реки либо инфильтрационные потери руслового стока.

Склоновый сток принято разделять на поверхностный и подповерхностный. Поверхностный склоновый сток в свою очередь подразделяется на «подвешенный» и подпертый сток, образующийся при выходе почвенно-грунтовых вод в процессе выпадения осадков на дневную поверхность. Подповерхностный склоновый сток состоит из почвенного фильтрационного стока и «контактного» стока – в слое рыхлых отложений на относительном водоупоре. По характеру и скорости стекания виды стока условно можно разделить на быстрый сток, который включает поверхностный склоновый сток и «контактный» сток, и медленный сток, состоящий из подповерхностного склонового и грунтового стока. Существенной инновацией последних десятилетий в теории стокоформирования является представление о широком распространении и доминирующей роли преобладающих путей стекания (preferential flow paths) [11, 18].

В качестве генетических составляющих источников речного стока чаще всего принимают атмосферные осадки, почвенный раствор (или обменные фракции веществ различных горизонтов почвы) и базисный (подземный) сток. Репрезентативность отобранных проб воды по отношению к намеченным генетическим составляющим стока обеспечивается их количеством, достаточным для учета пространственной вариабельности химических свойств различных водных масс.

Детальное исследование динамики процессов стокоформирования включает в себя непрерывные наблюдения за стоком в течение сезона с охватом максимально возможного диапазона изменения увлажненности, учащенный отбор проб речных вод, детальное исследование фоновых концентраций растворенных веществ в различных видах природных

вод с освещением их пространственно-временных вариаций.

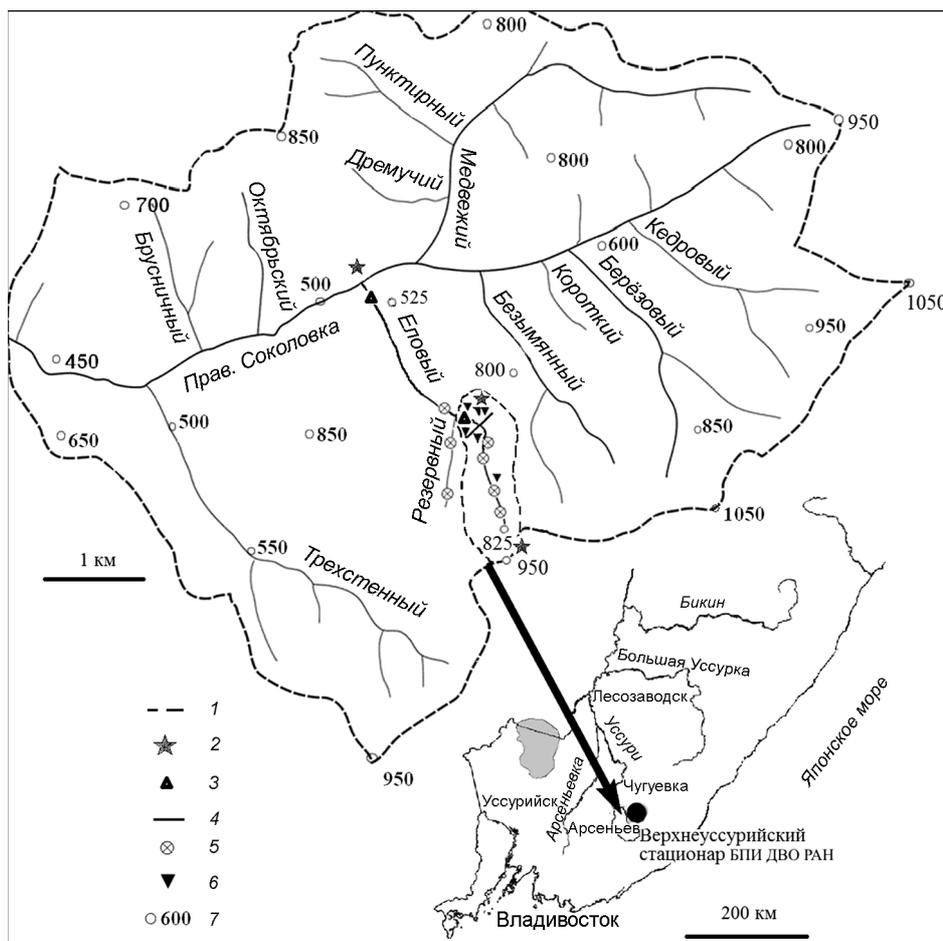
### ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные работы проводились на территории Верхнеуссурийского стационара Биолого-почвенного института Дальневосточного отделения Российской академии наук (БПИ ДВО РАН) [4]. Он расположен в бассейне р. Правая Соколовка, которая входит в систему верховьев р. Уссури и является ее притоком IV порядка (рис. 1). Основной водораздел бассейна представляет собой ряд средневысотных возвышенностей со слабо выраженными седловинами и водораздельными гребнями сложноизвилистого типа. Средняя густота гидрографической сети – 0.6–0.8 км/км<sup>2</sup>, долины водотоков глубоко врезаны, часто V-образны, с крутизной склонов до 35°.

Согласно тектонической карте Приморского края [12], бассейн р. Правая Соколовка находится в пределах Сергеевского террейна (его северо-восточной части) вблизи тектонических контактов с Самаркинским и Журавлевским террейнами Сихотэ-Алинской аккреционной системы. Правый борт бассейна сложен древними породами основного состава (габброиды и др.), а левый борт – преимущественно вулканическими и субвулканическими породами кислого и среднего состава. Почвообразующими породами левого борта бассейна являются преимущественно риолиты, дациты, сиениты, диориты.

Данная территория относится к Сихотэ-Алинской гидрогеологической складчатой области. Здесь развиты трещинные и трещинно-жильные воды, приуроченные к плотным, сильно дислоцированным терригенным, терригенно-кремнистым, терригенно-вулканогенным образованиям преимущественно мезозойского и позднепалеозойского возраста [5]. Преобладание трещинных грунтовых вод создает условия интенсивного дренажа горных почв, что является одним из путей выноса (перераспределения) продуктов внутрипочвенного выветривания и способствует постоянному омоложению горных почв. Подземные воды обычно гидрокарбонатные кальциево-магнєвые с минерализацией 0.05–0.20 г/л, в зонах интенсивного проявления сульфидной минерализации встречаются воды сульфатного или сульфатно-гидрокарбонатного смешанного катионного состава [5].

По своим природным характеристикам территория типична для среднегорного пояса Южного Сихотэ-Алиня и служит своеобразным эталоном южной тайги с господством широколиственно-кедровых и пихтово-еловых лесов. Распределение лесов в бассейне имеет ярко выраженную вертикальную зональность [15].



**Рис. 1.** Карта-схема экспериментального бассейна руч. Еловый в бассейне р. Правая Соколовка.

1 – границы экспериментального бассейна; 2 – местоположение осадкомеров и метеостанции; 3 – местоположение гидрометрических постов; 4 – местоположение профиля измерения влагозапасов почвы; 5 – места разового отбора проб русловых вод; 6 – местоположение точек отбора проб почвенных вод тензиолизиметрами, 7 – высотные отметки рельефа, м БС.

Под хвойно-широколиственными лесами в поясе гор от 500 до 800–900 м над уровнем моря на аллювиальных отложениях распространены горно-долинные, а на склоновом делювии – горно-лесные бурые почвы. В поясе от 800 до 1100 м под пихтово-еловыми лесами на элювиальных и элювиально-делювиальных отложениях вершин водоразделов и склонов гор выделены буротаежные иллювиально-гумусовые почвы. Высокая скелетность почв, рыхлое их сложение и крутые склоны способствуют интенсивному подповерхностному стоку.

Климат района исследований формируется под влиянием восточно-азиатского муссона умеренных широт и в целом характеризуется как влажный умеренно-холодный. Средняя годовая температура воздуха составляет 0,7°C. Абсолютный максимум 37–38°C установлен в июле-августе, а абсолютный минимум 43–45°C – в январе [6]. За год выпадает в среднем

780 мм осадков, более 80 % из них – с апреля по октябрь. Количество осадков по годам сильно варьирует, в летне-осенний период отклонения могут составлять 40–170 % нормы. Максимальные суточные суммы осадков, достигающие 100–200 мм, связаны с выходом во второй половине лета тропических циклонов. Устойчивый снежный покров образуется, как правило, в ноябре. Высота снежного покрова к началу снеготаяния (конец марта – начало апреля) достигает 52–102 см при запасах воды в снеге 96–205 мм. Сезонное промерзание почв сохраняется, в среднем, в течение 206 дней. Максимальная глубина промерзания изменяется в пределах 53–125 см.

Экспериментальный водосбор, оборудованный для детальных ландшафтно-экологических исследований, имеет площадь 0,82 км<sup>2</sup> и является верхней частью бассейна руч. Еловый, общая площадь которого составляет 3,53 км<sup>2</sup>. Общая протяженность русла

экспериментального бассейна – 1670 м. Уклон русла от водосборной воронки до замыкающего створа составляет 148 ‰. Склоны бассейна руч. Еловый имеют выпуклую форму, крутизна их достигает 25°, иногда с резко обрывающейся нижней частью и уступами. Основной водоупор залегает на глубине около 3 м. Сток по ручью в пределах экспериментального водосбора устойчивый. В устьевой части, расположенной на аллювиальной толще долины р. Прав. Соколовка, при затяжной летней межени ручей пересыхает.

За предшествующий длительный период наблюдений (1966–2006 гг.) было установлено, что поверхностный сток на залесенных склонах составляет менее 1 % от суммы выпавших осадков, в то время как измеренная величина просочившейся через метровый почвенный слой влаги (подповерхностный сток) достигает 39 % от общего количества выпавших осадков. Суммарный годовой слой стока в зависимости от увлажненности периода изменялся от 45 до 578 мм. Суммарное испарение с апреля по октябрь, рассчитанное для бассейна по фактическим данным, колеблется в пределах 450–550 мм, из которых на транспирацию расходуется более 80 %.

#### ПОСТАНОВКА ВОДНОБАЛАНСОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Общая цель воднобалансовых наблюдений на экспериментальном бассейне заключалась в максимально детальном освещении процессов влагооборота на основе передовых технических средств наблюдений.

Наблюдения за осадками выполнялись с использованием автоматических осадкомеров HD2013 Delta-OHM и автоматизированной метеорологической станции WS-GP1 Delta-T. Осадкомеры были установлены на высоте 2 м от поверхности земли, один из них – на водоразделе руч. Еловый на высоте около 900 м, другой – в долине Прав. Соколовки вблизи устья руч. Еловый, на высоте около 500 м. Метеостанция была установлена на правобережном склоне экспериментального водосбора вблизи его устья, на высоте около 650 м.

Наблюдения за стоком велись на двух гидрометрических постах, оборудованных гидростатическими регистраторами уровня воды LT Levelogger Junior Solinst. В устье экспериментального бассейна использован бетонный водослив с широким порогом (плотина № 4 [4]). Временный гидрометрический пост в устье руч. Елового не имеет специальных сооружений. Данные регистраторов уровня воды использованы для расчетов стока воды с использованием кривой  $Q = f(H)$ , для построения которой в течение двух сезонов было измерено 87 расходов с помощью высокоточного электромагнитного измерителя скорости потока FlowSens, SEBA, а также объемным

методом (на плотине № 4). В течение двух сезонов с помощью системы измерения объемной влажности почв Thetaprobe, Delta-T, включающей полевой влагомер Manual Meter HH2 и зонд PR2 для измерений в 50 см слое почвы, выполнялись съемки почвенной влажности.

#### МЕТОДЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью изучения макрокомпонентного состава генетических составляющих стока в 2011–2012 гг. на водосборе руч. Еловый проведены серии отборов проб природных вод – атмосферных, подкroновых (собранных под кронами деревьев), склоновых (почвенных) и русловых (речных).

Серии отборов, произведенных в течение обоих сезонов, характеризуют четыре из числа основных фаз режима рек данного района: 1) спад весеннего половодья (конец мая – первая половина июня); 2) летнюю межень (июль); 3) летние дождевые паводки (август); 4) осеннее снижение водности (октябрь). Отбор речных вод осуществлялся одновременно с измерением расхода воды. Атмосферные воды отбирались выборочно, с охватом случаев выпадения дождей двух основных генетических типов – циклонических и внутримассовых. Отборы почвенно-грунтовых вод были приурочены к отборам речных вод.

Атмосферные осадки отбирались в полиэтиленовые воронки, имеющие площадь приемной поверхности 2500 см<sup>2</sup> и подвешиваемые под открытым небом на расстоянии не менее 3 м от деревьев и строений. Подкroновые воды отбирались только во время сильных (циклонических) осадков в такие же воронки, установленные под древесным пологом на высоте 1–1.5 м. Внутримассовые осадки в значительной мере задерживаются пологом и не дают репрезентативной пробы. Древесный полог в месте сбора подкroновых вод представляет собой вырубку 40-летней давности, заросшую преимущественно лиственными (береза белая и желтая, осина, липа, клен), а также хвойными (пихта, ель, кедр) породами. Помимо дождевых вод в периоды между дождями полиэтиленовые воронки, очевидно, улавливают аэрозольные выпадения.

Для отбора проб склоновых (почвенно-грунтовых) вод использовались тензиолизиметры DIK-8392, Daiki Rika Kogyo Co. Ltd., длиной 0.5 и 1.0 м, которые позволяют отбирать пробы достаточно часто – каждые 1–3 суток – и в достаточном объеме (200–500 мл). Тензиолизиметры (Тл), позволяющие извлекать пробы воды из почв ненарушенного сложения, были заложены на разных глубинах в местах концентрации гравитационной влаги, приуроченных к различным типам почв. Тензиолизиметры 1, 2 и 10 были заложены в верхней части водосборного бассей-

на руч. Еловый, где распространен преимущественно елово-пихтовый лес и горно-таежные иллювиально-гумусовые почвы [4]. Остальные тензиолизиметры (Тл 5, Тл 8, Тл 9) приурочены к горным бурым лесным почвам под кедрово-широколиственным лесом, пройденным выборочными рубками около 45 лет назад.

При отборе гидрохимических проб из водотоков проводилось измерение температуры и электропроводности ( $\chi$ ) воды с использованием портативного термокондуктометра Ciba Corning M90 и мультипараметрического анализатора воды YSI Professional Plus. Измерение pH производилось с помощью pH-метра «Эксперт». Содержание гидрокарбонат-иона определялось потенциометрическим титрованием в нефилтрованных пробах по стандартной методике [9]. Остальные компоненты определялись после фильтрации через фильтр 0.45 мкм (Durapore Millipore). Для определения компонентов методами AAS и ICP-MS пробы после фильтрации подкислялись азотной кислотой. Содержание главных анионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) определялось на жидкостном хроматографе Shimadzu LC 10Avr, содержание главных катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) – на атомно-абсорбционном спектрометре Shimadzu AA 6800. Кремний определялся методом ICP-MS (Agilent 7500 cx Series). Определение содержания общего растворенного органического углерода ( $\text{C}_{\text{общ}}$ ) в воде проводилось с помощью ТОС-анализатора (Shimadzu TOC-VCPN). В общей сложности отобрано и проанализировано 300 проб воды. Сводка результатов приведена в таблицах 1–3.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Атмосферные воды

Диапазон изменения условий увлажнения, охваченный двумя сезонными циклами наблюдений, оказался достаточно большим. Слой атмосферных осадков за один дождь составлял от 0.1 мм до 71.1 мм. В среднем за один дождь выпадало 6.5 мм. При этом внутримассовые осадки, выпадающие в виде ливней из кучево-дождевых облаков, характеризуются высокой интенсивностью и небольшой продолжительностью (сумма в среднем за один дождь – 2.4 мм), тогда как циклонические осадки выпадают в течение многих часов, отличаются меньшей интенсивностью и по определению связаны с прохождением циклонов и слоистой облачностью (сумма в среднем за один дождь – 12.0 мм).

Формирование химического состава атмосферных осадков Приморья зависит, в первую очередь, от направления переноса воздушных масс в разные периоды года. В летние месяцы основными направлениями оказываются северное (север Дальнего Востока и Сибирь) и юго-западное (Центральный Китай),

частота выноса с Японского моря минимальна [7]. По литературным данным, атмосферные осадки юга Дальнего Востока имеют смешанный состав, часто с преобладанием гидрокарбонатного иона, но могут преобладать хлорид- или сульфат-ионы, среди катионов преобладают натрий и кальций [7, 13].

По нашим данным о составе атмосферных вод, опробованных в течение двух лет (2011–2012), внутримассовые кратковременные дожди, выпадающие преимущественно в первой половине лета (июнь–июль), отличаются от циклонических, связанных с масштабными атмосферными процессами, характерными для августа–сентября (табл. 1).

Циклонические осадки, отобранные в 2012 г., – ультрапресные (минерализация 2–4 мг/л), кислые, гидрокарбонатно-сульфатные, преимущественно кальциевые. Здесь и далее названия вод даются по преобладающим ионам [8]. Кислый состав циклонических осадков можно объяснить влиянием преобладающего юго-западного атмосферного переноса загрязняющих веществ – оксидов серы, азота [7]. Содержание всех макрокомпонентов находится на уровне пределов обнаружения. В кислых атмосферных осадках в балансе ионов значительная роль принадлежит иону водорода и нитрат-иону, которые в речных водах, как правило, не относятся к главным. С учетом этих ионов формула атмосферных вод, по М.Г. Курлову, (соотношение основных ионов в %-эквивалентах, второстепенные ионы, значения которых менее 20 %-экв., вынесены в квадратные скобки [10]) имеет следующий вид:

$$M_{\leq 0.01} \frac{SO_4^{2-} 41 NO_3^- 27 HCO_3^- 21 [Cl^- 11]}{H^+ 64 Ca^{2+} 26 [Mg^{2+} 4K^+ 4Na^+ 3]} pH 4.6 - 5.2$$

Внутримассовые атмосферные осадки, формирование которых происходит преимущественно под влиянием локальных ландшафтных условий, – ультрапресные (минерализация 5–31 мг/л), кислые, сульфатные (или хлоридно-сульфатные) калиево-кальциевые. Слабоминерализованные атмосферные осадки имеют слабую буферность, поэтому любое изменение ландшафтно-геохимических факторов сказывается на химическом составе дождевой воды. Сульфатный состав атмосферных вод может быть следствием глобального переноса веществ техногенного характера, этим же может объясняться и повышенное содержание нитрат-иона [7]. В теплый период состав внутримассовых осадков обусловлен активизацией всех ландшафтно-геохимических процессов и особенно – биогенных. Преобладание калия над натрием может быть вызвано влиянием лесной растительности и значительным удалением исследуемого района

Таблица 1. Химический состав атмосферных осадков и подкroновых вод, отобранных в бассейне руч. Еловый.

Компонент	Внутримассовые осадки, грозы (n 13)*	Циклонические осадки (n 9)	Подкroновые воды (n 6)
pH	<u>3.8–5.4**</u> 4.4	<u>4.6–5.2</u> 4.8	<u>4.3–5.6</u> 5.2
Электропроводность, мкС/см	<u>8–73</u> 32	<u>1–9</u> 6	<u>11–29</u> 21
мг/л			
Минерализация	<u>4.3–30.8</u> 10.8	<u>1.6–4.4</u> 2.7	<u>6.1–13.8</u> 10.0
Взвесь	<u>1.6–122.8</u> 31.4	<u>0.2–7.2</u> 2.5	<u>2.6–32.7</u> 11.9
C <sub>орг.</sub>	<u>1.9–14.1</u> 5.2	<u>0.3–2.3</u> 1.3	<u>3.1–34.0</u> 21.0
Si	<u>0.01–0.15</u> 0.05	<u>&lt;0.01–0.02</u> <0.01	<u>0.06–0.38</u> 0.25
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<u>&lt;0.1–4.0</u> 0.66	<u>&lt;0.1–1.22</u> 0.33	<u>&lt;0.1–4.03</u> 2.61
Cl <sup>-</sup>	<u>&lt;0.1–4.43</u> 0.85	<u>&lt;0.1–0.41</u> 0.16	<u>0.16–0.75</u> 0.46
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<u>0.58–14.59</u> 4.25	<u>&lt;0.32–1.88</u> 0.94	<u>0.49–4.20</u> 1.49
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<u>0.30–10.95</u> 2.74	<u>&lt;0.25–1.09</u> 0.70	<u>&lt;0.25–1.82</u> 0.52
Ca <sup>2+</sup>	<u>0.05–4.43</u> 1.11	<u>&lt;0.05–1.04</u> 0.32	<u>0.41–1.33</u> 0.94
Mg <sup>2+</sup>	<u>0.02–0.61</u> 0.16	<u>&lt;0.02–0.07</u> 0.03	<u>0.18–0.43</u> 0.30
K <sup>+</sup>	<u>0.17–5.67</u> 1.27	<u>0.01–0.66</u> 0.20	<u>1.73–5.17</u> 3.34
Na <sup>+</sup>	<u>0.04–0.38</u> 0.21	<u>0.01–0.30</u> 0.11	<u>0.11–1.35</u> 0.37

Примечание. \* Количество проб; \*\* в числителе – пределы изменения, в знаменателе – среднее арифметическое.

от морского побережья. Для залесенных территорий велико значение транспирационных выделений растительности при формировании элементного состава атмосферных осадков даже на открытом месте. В транспирационной влаге возрастает содержание калия, фосфора, магния, марганца, хлорид-иона [1].

Среднее содержание нитрат-иона обнаружено на уровне регионального фона (2–3 мг/л), но отдельные дожди характеризуются содержаниями до 11 мг/л. Количество общего растворенного органического углерода зависит от многих факторов (сезонность, количество осадков и их «происхождение») и колеблется в достаточно широких пределах – от 2 до 14 мг/л. Кремний в растворе находится на уровне предела обнаружения. Количество взвеси колеблется в широких пределах – до 123 мг/л, но значительная часть представлена органоматериалом. Формула внутримассовых атмосферных вод имеет следующий вид:

$$M_{0.01} \frac{SO_4^{2-} 51 NO_3^- 31 [Cl^- 15 HCO_3^- 3]}{H^+ 46 Ca^{2+} 25 K^+ 20 [Mg^{2+} 5 Na^+ 3]} pH 3.8 - 5.4$$

Кратковременные осадки вымывают из атмосферы как пылевой аэрозоль, так и продукты транспирации растений, а так как они небольшого объема и достаточно агрессивные (кислые), то происходит увеличение суммарной минерализации и всех макрокомпонентов, как катионов, так и анионов.

### Подкroновые воды

Сомкнутый растительный покров является средой, где атмосферные воды претерпевают сильную биогеохимическую трансформацию [3]. Наши наблюдения подтверждают существенное отличие макро состава подкroновых вод от циклонических осадков, собранных на открытой площадке (табл. 1).

Различные виды деревьев по-разному трансформируют атмосферную воду [1]. Небольшие внутримассовые осадки в значительной мере задерживаются пологом растений. Воды циклонических дождей, прошедшие через древесный полог смешанного породного состава (береза плосколистная, береза желтая, осина, клен зеленокорый, пихта белокорая, ель аянская, кедр корейский), остаются ультрапресными, при этом их минерализация возрастает (6–

Таблица 2. Химический состав почвенных (склоновых) вод.

Тензиолизиметр №, глубина, см / Компонент	Тл 1, 50 см (n 11)*	Тл 2, 35–40 см (n 3)	Тл 10, 50 см (n 4)	Тл 5, 35–40 см (n 12)	Тл 8, 50 см (n 20)	Тл 9, 50 см (n 9)
	Елово-пихтовый лес, горно-таежные иллювиально-гумусовые почвы			Кедрово-широколиственный лес, бурые горно-лесные почвы		
pH	<u>5.67–6.25</u> 5.95	<u>6.25–6.55</u> 6.36	<u>5.08–6.01</u> 5.75	<u>5.93–6.67</u> 6.41	<u>6.10–7.22</u> 6.66	<u>6.20–6.77</u> 6.52
Электропроводность, мкС/см	<u>59–81</u> 66	<u>35–45</u> 39	<u>34–39</u> 36	<u>47–111</u> 70	<u>61–168</u> 84	<u>55–73</u> 63
мг/л						
Минерализация	<u>18.4–27.9</u> 25.4	<u>14.7–18.5</u> 16.4	<u>14.5–17.5</u> 16.2	<u>14.9–47.1</u> 29.3	<u>7.5–52.3</u> 35.1	<u>15.8–36.3</u> 28.1
C <sub>орг.</sub>	<u>2.3–5.4</u> 3.4	<u>5.1–5.3</u> 5.2	<u>3.0–6.6</u> 4.7	<u>3.2–7.2</u> 4.7	<u>3.5–12.6</u> 5.7	<u>4.3–6.3</u> 5.3
Si	<u>5.7–10.3</u> 7.6	<u>7.1–7.6</u> 7.2	<u>6.0–9.0</u> 7.8	<u>5.2–10.8</u> 7.4	<u>5.7–15.7</u> 8.9	<u>6.6–11.7</u> 9.2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<u>2.32–4.27</u> 3.03	<u>5.49–6.59</u> 6.14	<u>0.85–3.66</u> 2.29	<u>7.32–13.30</u> 9.77	<u>11.96–19.22</u> 14.47	<u>7.93–17.94</u> 13.79
Cl <sup>-</sup>	<u>0.68–1.15</u> 0.84	<u>0.55–0.57</u> 0.56	<u>0.89–1.10</u> 0.98	<u>0.90–7.59</u> 2.26	<u>0.67–6.33</u> 1.61	<u>1.14–1.71</u> 1.40
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<u>7.32–11.31</u> 9.99	<u>4.71–5.66</u> 5.17	<u>4.70–6.09</u> 5.40	<u>5.45–9.87</u> 7.46	<u>6.23–12.43</u> 9.08	<u>5.50–6.28</u> 5.93
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<u>3.41–7.71</u> 4.44	<u>&lt;0.20–0.40</u> 0.32	<u>2.41–4.12</u> 3.42	<u>&lt;0.20–3.66</u> 0.99	<u>&lt;0.20–0.72</u> 0.28	<u>&lt;0.20–0.35</u> 0.21
Ca <sup>2+</sup>	<u>1.83–4.37</u> 3.06	<u>0.61–1.20</u> 0.82	<u>1.34–1.62</u> 1.48	<u>2.75–7.36</u> 4.01	<u>3.49–7.34</u> 5.12	<u>3.48–5.05</u> 4.06
Mg <sup>2+</sup>	<u>0.54–0.71</u> 0.63	<u>0.43–0.50</u> 0.45	<u>0.40–0.56</u> 0.46	<u>0.57–1.36</u> 0.80	<u>0.62–1.23</u> 0.81	<u>0.71–0.87</u> 0.78
K <sup>+</sup>	<u>1.48–2.16</u> 1.72	<u>0.84–1.32</u> 1.02	<u>1.81–2.22</u> 2.04	<u>0.91–2.02</u> 1.30	<u>0.93–1.56</u> 1.20	<u>0.66–1.53</u> 1.00
Na <sup>+</sup>	<u>1.44–2.06</u> 1.72	<u>1.81–2.29</u> 1.99	<u>1.44–1.65</u> 1.54	<u>1.80–3.23</u> 2.36	<u>1.80–3.04</u> 2.47	<u>2.5–3.38</u> 2.94

Примечание. \* Количество проб; \*\* в числителе – пределы изменения, в знаменателе – среднее арифметическое.

14 мг/л). Подкروновые воды кислые – (pH 4.3–5.6), но увеличивается доля гидрокарбонат-иона – воды становятся сульфатно-гидрокарбонатными кальциево-калиевыми. Происходит обогащение подкроновых вод органическим веществом, калием, кальцием. Формула вод:

$$M_{0.01} \frac{HCO_3^- 49 SO_4^{2-} 30 [Cl^- 13 NO_3^- 8]}{K^+ 47 Ca^{2+} 25 [Mg^{2+} 13 Na^+ 8 H^+ 6]} pH 4.3 - 5.6$$

### Склоновые воды

В почвенном профиле ландшафта сосредоточены все основные факторы формирования химического состава стока. Согласно результатам П.В. Елпатьевского [1], родниковые (почвенно-грунтовые) воды интегрируют склоновый сток и по сумме растворенных веществ близки к водам нижних почвенных горизонтов (табл. 2).

Химический состав склоновых вод формируется под действием всей совокупности ландшафтных

факторов (горные породы, почвы, растительность, климат). В средней части бассейна руч. Еловый формируется пояс контакта пихтово-еловых и широколиственно-кедровых лесов [4], это приводит к формированию большого количества переходных вариантов почв. В связи с этим выявлены заметные различия в химии вод, сформированных в различных условиях.

По соотношению основных анионов склоновые (почвенные) воды, полученные в верхнем течении руч. Еловый (Тл 1 и Тл 10), где преобладают елово-пихтовый лес и иллювиально-гумусовые почвы, отличаются по составу от вод, приуроченных к кедрово-широколиственному лесу с бурыми горно-лесными почвами (Тл 5, Тл 8, Тл 9) (рис. 2). Воды, отобранные с помощью Тл 2, занимают промежуточное положение.

Химический состав склоновых вод Тл 1 и Тл 10 схож с составом вод руч. Елового в створе у плотины №4. Формула вод Тл 1 с учетом нитрат-иона, который по-прежнему остается одним из преобладающих, следующая:

Таблица 3. Химический состав вод руч. Еловый в различные фазы водного режима.

Фаза водного режима / Компонент	Руч. Еловый, плотина № 4			Руч. Еловый, устье		
	Межень (расходы до 2.5 л/с·км <sup>2</sup> ) (n 18)*	Низкий паводок (2.5–16 л/с·км <sup>2</sup> ) (n 42)	Средний паводок (16–70 л/с·км <sup>2</sup> ) (n 11)	Межень (расходы до 2.5 л/с·км <sup>2</sup> ) (n 17)	Низкий паводок (2.5–16 л/с·км <sup>2</sup> ) (n 17)	Средний паводок (16–70 л/с·км <sup>2</sup> ) (n 12)
pH	<u>5.79–6.13**</u> 5.93	<u>5.68–6.07</u> 5.89	<u>5.65–5.94</u> 5.75	<u>6.57–7.10</u> 6.92	<u>6.57–7.04</u> 6.86	<u>6.58–6.95</u> 6.73
Электропроводность, мкС/см	<u>53–81</u> 62	<u>52–63</u> 61	<u>46–57</u> 52	<u>63–86</u> 69	<u>59–73</u> 66	<u>56–66</u> 60
Минерализация	<u>22.6–25.7</u> 24.5	<u>21.5–29.3</u> 25.8	<u>21.3–25.5</u> 22.8	<u>28.2–32.9</u> 31.5	<u>26.7–35.1</u> 30.7	<u>24.1–31.4</u> 28.3
Взвесь	<u>0.2–2.8</u> 0.9	<u>0.2–19.8</u> 2.6	<u>0.2–16.7</u> 3.6	<u>2.1–13.0</u> 5.2	<u>1.6–28.7</u> 6.5	<u>2.7–22.9</u> 9.5
C <sub>орг.</sub>	<u>2.2–2.9</u> 2.5	<u>2.5–3.9</u> 3.1	<u>3.7–5.7</u> 4.3	<u>1.8–2.5</u> 2.1	<u>2.3–6.6</u> 3.2	<u>3.1–7.5</u> 4.5
Si	<u>5.63–10.11</u> 8.20	<u>5.54–9.65</u> 7.02	<u>5.95–8.80</u> 6.80	<u>6.46–11.77</u> 9.74	<u>6.35–11.36</u> 9.62	<u>6.88–9.72</u> 8.06
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<u>2.93–4.76</u> 3.71	<u>2.20–5.49</u> 3.01	<u>2.20–4.64</u> 3.14	<u>12.20–14.40</u> 13.20	<u>9.64–14.77</u> 12.50	<u>8.66–13.55</u> 10.78
Cl <sup>-</sup>	<u>0.63–1.15</u> 0.82	<u>0.57–1.20</u> 0.81	<u>0.79–1.01</u> 0.88	<u>0.66–0.94</u> 0.82	<u>0.56–0.96</u> 0.76	<u>0.72–1.15</u> 0.84
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<u>9.19–11.60</u> 10.36	<u>8.16–10.98</u> 9.68	<u>7.26–10.50</u> 8.09	<u>7.19–8.60</u> 7.77	<u>6.32–8.35</u> 7.45	<u>6.09–7.52</u> 6.44
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<u>1.76–2.66</u> 2.15	<u>1.36–3.26</u> 2.49	<u>2.25–5.58</u> 4.02	<u>0.80–1.71</u> 1.16	<u>1.11–2.01</u> 1.61	<u>1.67–3.65</u> 2.80
Ca <sup>2+</sup>	<u>2.42–4.54</u> 3.57	<u>1.45–4.00</u> 2.64	<u>2.44–3.27</u> 2.99	<u>3.14–5.63</u> 4.54	<u>2.93–5.35</u> 4.32	<u>3.48–4.60</u> 4.02
Mg <sup>2+</sup>	<u>0.50–0.63</u> 0.57	<u>0.46–0.65</u> 0.54	<u>0.56–0.64</u> 0.58	<u>0.47–0.63</u> 0.54	<u>0.47–0.64</u> 0.54	<u>0.50–0.66</u> 0.57
K <sup>+</sup>	<u>1.36–1.78</u> 1.48	<u>1.27–1.86</u> 1.46	<u>1.33–1.59</u> 1.49	<u>0.99–1.34</u> 1.15	<u>0.88–1.63</u> 1.15	<u>0.98–1.33</u> 1.11
Na <sup>+</sup>	<u>1.44–2.02</u> 1.77	<u>1.36–2.06</u> 1.63	<u>1.51–1.80</u> 1.61	<u>2.23–2.88</u> 2.73	<u>2.23–3.01</u> 2.60	<u>2.27–2.63</u> 2.44

Примечание. \* Количество проб; \*\* в числителе – пределы изменения, в знаменателе – среднее арифметическое.

$$M_{0.03} \frac{SO_4^{2-} 55 NO_3^- 21[HCO_3^- 16 Cl^- 7]}{Ca^{2+} 50 Na^+ 23[Mg^{2+} 14 K^+ 13]} pH 5.7 - 6.3$$

Таким образом, склоновые воды являются кислыми или слабокислыми, сульфатными натриево-кальциевыми (рис. 2). Высокое содержание нитратного азота характерно для Тл 1 и Тл 10, что можно объяснить активными процессами аммонификации и нитрификации в иллювиально-гумусовых почвах, что требует дальнейшего изучения. Влияние этих процессов прослеживается и в водах руч. Еловый в створе экспериментального бассейна.

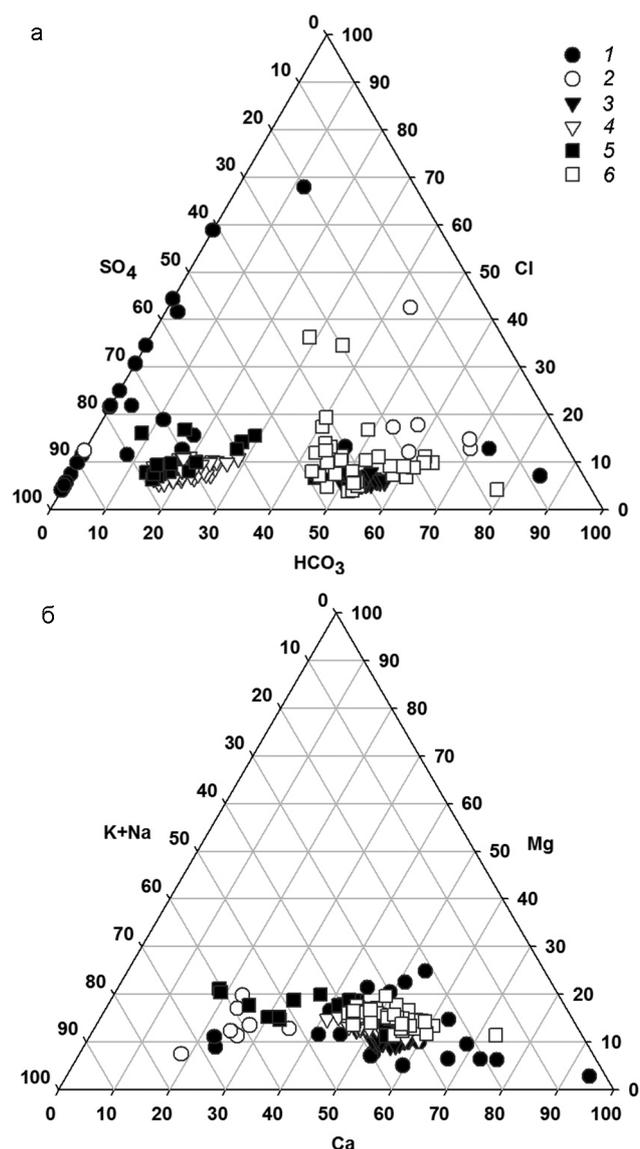
После взаимодействия с почвами воды приобретают натриево-кальциевый состав, т.е. калий, которым богаты подкрановые воды, удерживается в почвенном профиле, а натрий выходит на вторую позицию. В целом, для всех изученных склоновых (почвенных), а соответственно, и речных вод характерен натриево-кальциевый катионный состав.

Воды из остальных тензиолизиметров (Тл 5, Тл 8, Тл 9) характеризуются как слабокислые или нейтральные, сульфатно-гидрокарбонатного натриево-кальциевого состава, т.е. идентичны водам руч. Еловый в устье (рис. 2). Формула вод Тл 8:

$$M_{0.03} \frac{HCO_3^- 50 SO_4^{2-} 40[Cl^- 9 NO_3^- 1]}{Ca^{2+} 57 Na^+ 23[Mg^{2+} 14 K^+ 6]} pH 6.1 - 7.2$$

Для вод этой группы лизиметров характерны максимальные концентрации хлорид-иона, ионов кальция и натрия во время низких паводков в маловодные периоды.

Полученные данные, вероятно, отражают тот факт, что водотоки первых двух порядков в силу неразвитости их долин не имеют истинно подземного питания, дренируя лишь почвы и относительно маломощные склоновые отложения. Результаты по химии почвенных вод отражают мозаичную структуру почвенного покрова и приведены, чтобы показать



**Рис. 2.** Соотношение основных ионов ( а – анионы, б – катионы) в исследованных генетических типах вод, %-экв. 1 – атмосферные осадки; 2 – подкroновые воды; 3 – руч. Еловый, устье; 4 – руч. Еловый, плотина № 4; 5 – тензиолизиметры 1, 2, 10; 6 – тензиолизиметры 5, 8, 9.

сложное влияние почв на химический состав речных вод.

Достаточно большой разброс концентраций всех ионов говорит о том, что химический состав склоновых (почвенных) вод зависит от объема выпадающих осадков (от величины влагозапаса в бассейне) и складывающихся окислительно-восстановительных условий, что требует дальнейшего изучения.

### Речные воды

Амплитуда зарегистрированных колебаний уровня воды в створе плотины № 4 составила около

17.1 см. Расходы воды (дебиты), определенные по записи регистратора уровня воды с часовым разрешением, изменялись от 0.32 до 90.7 л/с (от 0.001 до 0.4 мм/ч). Для устьевого створа руч. Еловый аналогичные величины составили 43.4 см и от 0.09 до 234.4 л/с (0.00 и 0.24 мм/ч), соответственно.

Состав воды в устье руч. Еловый в основном близок к составу вод рек Приморья, не испытывающих антропогенного загрязнения [14, 16]. Вместе с тем, воды ручья в створе экспериментального бассейна (плотина № 4) имеют существенные особенности.

Содержание целого ряда макрокомпонентов в русловых водах определяется фазой водного режима потока, а характер этой связи отражает специфику геохимических процессов в пределах дренируемой толщи почв и подстилающих пород (табл. 2). В связи с этим вся совокупность русловых проб была разделена на три группы в соответствии с тремя фазами водного режима: 1) воды меженного стока (удельный расход воды менее 2.5 л/с·км<sup>2</sup>), 2) воды низких паводков (удельный расход воды более 2.5 л/с·км<sup>2</sup> и менее 16 л/с·км<sup>2</sup>), 3) воды средних паводков (удельный расход воды более 16 л/с·км<sup>2</sup> и менее 100 л/с·км<sup>2</sup>) (табл. 3). Высокие паводки в 2011 и 2012 гг. не наблюдались.

В меженный период русловые воды руч. Еловый в створе экспериментального бассейна – ультрапресные, слабокислые, сульфатные натриево-кальциевые (рис. 2). Формула Курлова применительно к данному типу вод имеет следующий вид:

$$M_{0.02} \frac{SO_4^{2-} 65 [HCO_3^- 18 NO_3^- 10 Cl^- 7]}{Ca^{2+} 52 Na^+ 23 [Mg^{2+} 13 K^+ 12]} pH 5.8 - 6.1$$

Низкая минерализация вод в меженный период, когда в речных водах преобладает грунтовая составляющая, свидетельствует об атмосферном генезисе склоновых грунтовых вод, а также о слабой степени химической денудации подстилающих пород на водосборе. Незначительное время взаимодействия воды с породами, обусловленное интенсивным водообменом, также способствует низкой минерализации изучаемых вод. 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, так и о возможном наличии вкрапленности сульфидной минерализации на водосборе в пределах его верхней экспериментальной части (выше плотины № 4).

Во время небольших паводков тип вод изменяется мало. Наблюдается слабое увеличение минерализа-

ции и кислотности, рост содержания нитратов, ионов магния, натрия и калия, а также снижение содержания сульфатов, гидрокарбонатов и кальция. Более высокие паводки, вызванные обильными дождями, характеризуются снижением минерализации и pH; продолжает уменьшаться количество сульфатов и увеличиваться количество нитратов, а соотношение других ионов практически не меняется.

Химический состав водотоков первого порядка наиболее подвержен изменениям, обусловленным ландшафтно-геохимическими факторами, тогда как по мере увеличения дренируемой площади и роста порядка локальное влияние этих факторов нивелируется и состав становится более стабильным (руч. Еловый – устье, табл. 3).

Воды руч. Елового в устьевой части значительно отличаются от вод створа экспериментального бассейна по анионному составу (рис. 2). В периоды летней межени воды – ультрапресные (28–33 мг/л), нейтральные (pH 6.6–7.1), сульфатно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые. Формула вод:

$$M_{0.03} \frac{HCO_3^- 51 SO_4^{2-} 39 [NO_3^- 5 Cl^- 5]}{Ca^{2+} 53 Na^+ 29 [Mg^{2+} 11 K^+ 7]} pH 6.6 - 7.1$$

Содержание взвеси максимально на подъеме паводка (до 30 мг/л), в остальные периоды – незначительно (1.6–13.0 мг/л). Водорастворимое органическое вещество минимально в меженный период – 1.8–2.5 мг/л – и возрастает до 7.5 мг/л во время сильных дождей. Содержание кремния, наоборот, максимально во время меженного периода и снижается при повышении расходов, что подтверждает поступление его в речные воды в составе почвенно-грунтовых вод. При незначительном увеличении расходов идет увеличение минерализации, реакция среды и химический тип вод не изменяется. Более высокие паводки приводят к незначительному снижению минерализации и pH, воды остаются сульфатно-гидрокарбонатными натриево-калиевыми, незначительно увеличивается доля нитратов за счет уменьшения количества сульфатов и гидрокарбонатов.

Основные компоненты состава русловых вод были исследованы в зависимости от водности потока. В результате они были разделены на четыре категории: 1) компоненты, содержание которых определенно возрастает с расходом воды – это растворенный органический углерод и нитраты (рис. 3 А); 2) компоненты, содержание которых снижается на фоне роста водности потока – pH, кремний, кальций, сульфаты (рис. 3 Б); 3) компоненты, концентрации которых фактически не связаны с режимом реки – калий, натрий,

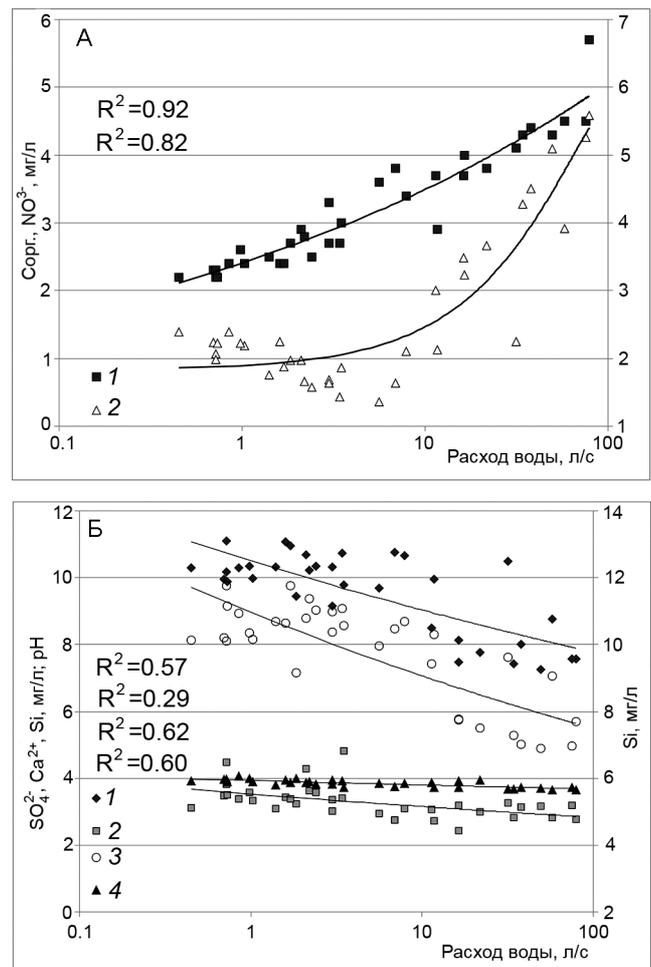


Рис. 3. Связь содержания компонентов макросостава в водах руч. Еловый у плотины № 4 с расходом воды.

А – рост концентрации с ростом расхода воды (1 –  $C_{орг}$ , 2 –  $NO_3^-$ ), Б – снижение концентрации с ростом расхода воды (1 –  $SO_4^{2-}$ , 2 –  $Ca^{2+}$ , 3 – Si, 4 – pH).

магний и хлориды; 4) компоненты, содержание которых имеет сложную, размытую связь с показателем водности – общая минерализация, гидрокарбонаты, взвешенное вещество. В случае с  $C_{орг}$  и нитрат-ионом коэффициент  $R^2$ , отражающий величину надежности построенного тренда, близок к единице, что свидетельствует о том, что водность потока является преобладающим фактором, влияющим на рост концентраций (рис. 3 А). Снижение pH и концентраций кремния, ионов кальция, сульфат-ионов менее однозначно (рис. 3 Б). Источником органического вещества и нитратов являются, по-видимому, верхние почвенные горизонты. Кремний, кальций и сульфаты поступают с глубокими почвенно-грунтовыми водами, поэтому повышение водности приводит к снижению их концентраций в речных водах.

### ВЫВОДЫ

Предлагаемый подход, основанный на интенсивном комплексном гидролого-геохимическом мониторинге природных вод в составе полустационарных исследований, дает большой объем существенно новой информации о генетической структуре речного стока и способен обеспечить решение перспективных задач в этой области исследований. Описанная в статье постановка задачи требует освоения и адаптации современных методов исследования и приборной базы для натуральных измерений высокого пространственного и временного разрешения.

Все исследованные типы вод наиболее контрастно различаются по анионному составу. Циклонические осадки представляют собой слабоминерализованные воды, в анионном составе которых преобладают сульфат-, нитрат- и гидрокарбонат-ионы, среди катионов преобладают ионы водорода и кальция. Внутримассовые атмосферные осадки, выпадающие в относительно небольших объемах, также содержат существенные количества сульфат-, нитрат-ионов, а среди катионов возрастает роль калия.

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 бурными горно-лесными почвами. Речные воды по химическому составу идентичны склоновым (почвенным) водам. Химический тип речных вод достаточно устойчив, формируется в почвенно-грунтовой толще и не меняется с повышением расходов. Установлена связь между водностью и содержанием следующих компонентов: нитрат, растворенный органический углерод, сульфат, кремний. При отмеченной низкой минерализации указанные компоненты могут выступать в качестве индикаторов генетических типов вод (трассеров).

Выполненные исследования направлены на развитие и методическое совершенствование комплекса измерительных средств, набор необходимого объема информации, разработку методологии детального исследования пространственно-временных закономерностей стокоформирования в малом горно-лесном бассейне. В данной работе основное внимание уделено временной динамике макросостава генетических компонент речного стока. Анализ их пространственной вариативности и оценки микроэлементного состава вод будут даны в последующих публикациях.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 11-05-00526 и 13-05-90414) и Президиума ДВО РАН (гранты 11-III-A-09-211, 12-III-D-09-039, 12-III-D-09-052). Авторы выражают глубокую признательность за участие в полевых и лабораторных работах сотрудникам ТИГ ДВО РАН к.г.н. Т.Н. Луценко, к.г.н. М.А. Макагоновой, к.т.н. А.Н. Бугайцу, к.г.н. С.Г. Юрченко, сотруднику БПИ ДВО РАН к.с.-х.н. В.Н. Дюкареву, а также студентам ДВФУ С.Ю. Лупакову и Л.В. Матвеевой за участие в полевых и лабораторных работах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Геохимия, функционирование и динамика горных геосистем Сихотэ-Алиня (юг Дальнего Востока России). Владивосток: Дальнаука, 2005. 253 с.
2. Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока // Труды ОГМИ. Ч. II. 1958. Вып. 14. 302 с.
3. 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 междунар. науч. конф. Томск: Изд-во НТЛ, 2000. С. 195–198.
4. Жильцов А.С. Гидрологическая роль горных хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2008. 332 с.
5. Караванов К.П. Подземные воды как источник водоснабжения в Приморском крае. Препринт. Хабаровск: ИВЭП ХНЦ ДВО РАН, 1995. 37с.
6. Кожевникова Н.К. Динамика погодно-климатических характеристик и экологические функции малого лесного бассейна // Сиб. эколог. журн. 2009. № 5. С. 693–703.
7. Кондратьев И.И. Трансграничный фактор в изменчивости химического состава осадков на юге Дальнего Востока // География и природные ресурсы. 2009. № 3. С. 31–36.
8. Посохов Е.В. Общая гидрогеохимия. Л.: Недра, 1975. 208 с.
9. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семенова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 542 с.
10. Семенов М.Ю., Зимник Е.А. Использование химического состава поверхностных вод для оценки вкладов источников растворенного вещества // География и природ. ресурсы. 2010. № 2. С. 132–139.
11. Умарова А.Б. Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв: Автореф. дис.... д-ра биол. наук. М.: МГУ, 2008. 52 с.
12. Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д. и др. Геология и полезные ископаемые Приморского края / Очерк. Владивосток: Дальнаука, 1995. 68 с.
13. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г. Особенности химического состава атмосферных осадков на юге Дальнего Востока // Вод. ресурсы. 2008. Т. 35, № 1. С. 60–71.
14. Чудаева В.А., Чудаев О.В. Особенности химического состава воды и взвесей рек Приморья (Дальний Восток России) // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 2. С. 102–119.
15. Шамов В.В., Гарцман Б.И., Губарева Т.С. и др. Экспери-

- ментальные исследования генетической структуры стока с помощью химических трассеров: постановка задачи // Инж. изыскания. 2013. № 1. С. 60–69.
16. Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Перепелятников Л.В. Пространственно-временная изменчивость химического состава речных вод юга Дальнего Востока РФ // Вод. ресурсы. 2009. Т. 36, № 4. С. 428–439.
17. Эдельштейн К.К., Смахина О.Ю. Генетическая структура речного стока и химико-статистический метод выделения ее элементов // Вод. ресурсы. 1991. № 5. С. 5–20.
18. Brutsaert W. Hydrology. An Introduction. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2005. 605 p.
19. Christophersen N., Neal C., Hooper R.P., Vogt R.D., Andersen S. Modelling streamwater chemistry as a mixture of soilwater end-members – a step towards second-generation acidification models // J. Hydrol. 1990. V. 116. P. 307–320.
20. Liu F., Williams M., Caine N. Source waters and flow paths in an alpine catchment, Colorado Front Range, USA // Wat. Res. Res. 2004. 40, W09401. 16 p.
21. Petelet-Giraud F., Negrel P. Geochemical flood deconvolution in a Mediterranean catchment (Herauld, France) by Sr isotopes, major and trace elements // J. Hydrol. 2007. V. 337, Iss. 1-2. P. 224–241.

Рекомендована к печати О.В. Чудаевым

*A.G. Boldeskul, V.V. Shamov, B.I. Gartsman, N.K. Kozhevnikova*

### **Main ions in water of different genetic types in a small river basin: case experimental studies in Central Sikhote-Alin**

In this article, the results of detailed experimental investigation of main ions in waters within a small river basin are considered. The data were obtained on the base of comprehensive hydro-logical and geochemical monitoring of natural waters along semi-movable or expeditionary field studies during warm periods of 2011 and 2012. According to main ions, water samples were split onto seven genetic water classes as 1) cyclonic rain, 2) intermittent rain, 3) throughfall, 4) talus flow, 5) low-water streamflow (specific discharge is less 2.5 l/s·km<sup>2</sup>), 6) low flood streamflow (specific discharge is more 2.5 and less 16 l/s·km<sup>2</sup>), and 7) medium flood streamflow (specific discharge is more 16 and less 100 l/s·km<sup>2</sup>). Also, there were identified the four main groups of riverine dissolved macro-compounds that differ in terms of type of their dependence with flow rate. They are a) the compounds directly dependent with flow rate, b) the compounds inversely dependent with flow rate, c) the compounds independent evidently with flow rate, and d) the compounds that are characterized by complicated (fuzzy) dependence with flow rate.

**Keywords:** natural water chemical composition, small river basin, Sikhote-Alin.