

**ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД  
МАЛЫХ РЕК ЮЖНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ**

**Н.К. Кожевникова<sup>1</sup>, Т.Н. Луценко<sup>2</sup>, В.В. Шамо<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,  
проспект «100 лет Владивостоку», 159, 690022 Владивосток, Россия.*

*E-mail: nkozhevnikova@ibss.dvo.ru*

<sup>2</sup>*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, ул. Радио, 7, Владивосток, 690044, Россия.*

*E-mail: vlshamov@yandex.ru*

Представлены результаты комплексных исследований основных источников формирования элементного состава вод малых рек восточного и западного макросклонов южного Сихотэ-Алиня. По результатам многомерного статистического анализа выделены основные факторы и процессы по степени их воздействия на химический состав вод. Вариабельность химического состава речных вод объясняется в первую очередь геологическим строением бассейнов и удаленностью от морского побережья. Диапазон показателей элементного состава водных масс коррелирует с типом леса и структурой почвенно-грунтовой толщи, а также с увлажненностью бассейна.

**FORMATION FACTORS OF THE WATER CHEMICAL COMPOSITION  
IN SMALL RIVERS OF SOUTHERN SIKHOTE-ALIN MOUNTAINS**

**N.K. Kozhevnikova<sup>1</sup>, T.N. Lutsenko<sup>2</sup>, V.V. Shamov<sup>2</sup>**

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far East Branch of the Russian  
Academy of Sciences, 100 let Vladivostoku 159, 690022 Vladivostok, Russia.*

*E-mail: nkozhevnikova@ibss.dvo.ru*

<sup>2</sup>*Pacific Institute of Geography FEB RAS, Radio St., 7, Vladivostok, 690041, Russia.*

*E-mail: vlshamov@yandex.ru*

The results of complex studies of the main sources of chemical composition of the water in small rivers at the eastern and western macro-slopes of southern Sikhote-Alin Mountains are presented. The main factors and processes according to degree of their effect on the chemical composition of waters are identified by the results of multivariate statistical analysis. The variability of the water chemical composition is primarily due to the geological structure of the basins and remoteness from the sea coast. The range of water composition indicators correlates with the type of forest, the soil-rock stratum structure, and the catchment moistening degree.

**Введение**

Реки первичных звеньев гидрографической сети относятся к зоне формирования водных ресурсов, и от их состояния во многом зависят количественные и качественные характеристики более крупных речных систем. В химическом составе их вод наиболее информативно отражаются взаимосвязи между компонентами ландшафта и интенсивностью происходящих в них биогеохимических процессов, природные и антропогенные

воздействия на их экосистемы как локального, так и глобального масштабов. В связи с этим, реки первых порядков могут служить системой раннего предупреждения экологических изменений в речных бассейнах. Несмотря на давнюю историю изучения малых рек, биоценологические механизмы водного цикла недостаточно изучены, а роль биогеоценозов в процессах формирования количества и качества речного стока остается актуальной фундаментальной задачей, решение которой требует междисциплинарных и комплексных исследований. Цель данной работы – выявить особенности химического состава вод рек первых порядков и выделить основные факторы его формирования.

### Материалы и методы

Для изучения были выбраны реки восточного и западного макросклонов южного Сихотэ-Алиня с водосборной площадью от  $<0,5$  до  $\sim 20$  км<sup>2</sup> (табл. 1, рис. 1). В ходе исследований было отобрано более 500 проб вод, в которых анализировались 12 гидрохимических показателей. Отбор речных вод для химического анализа производился одновременно с измерением расхода и температуры воды. Для выявления вариабельности элементного состава рек с учетом разнообразия ландшафтных условий, дополнительно изучались лесотаксационные и почвенные характеристики водосборной площади, выполнялся систематический отбор количества и качества атмосферных осадков, подкрановых, почвенных вод, температурный режим воздуха и почвы. Мониторинг данных производился в течение мая-октября 2011–2016 годов.

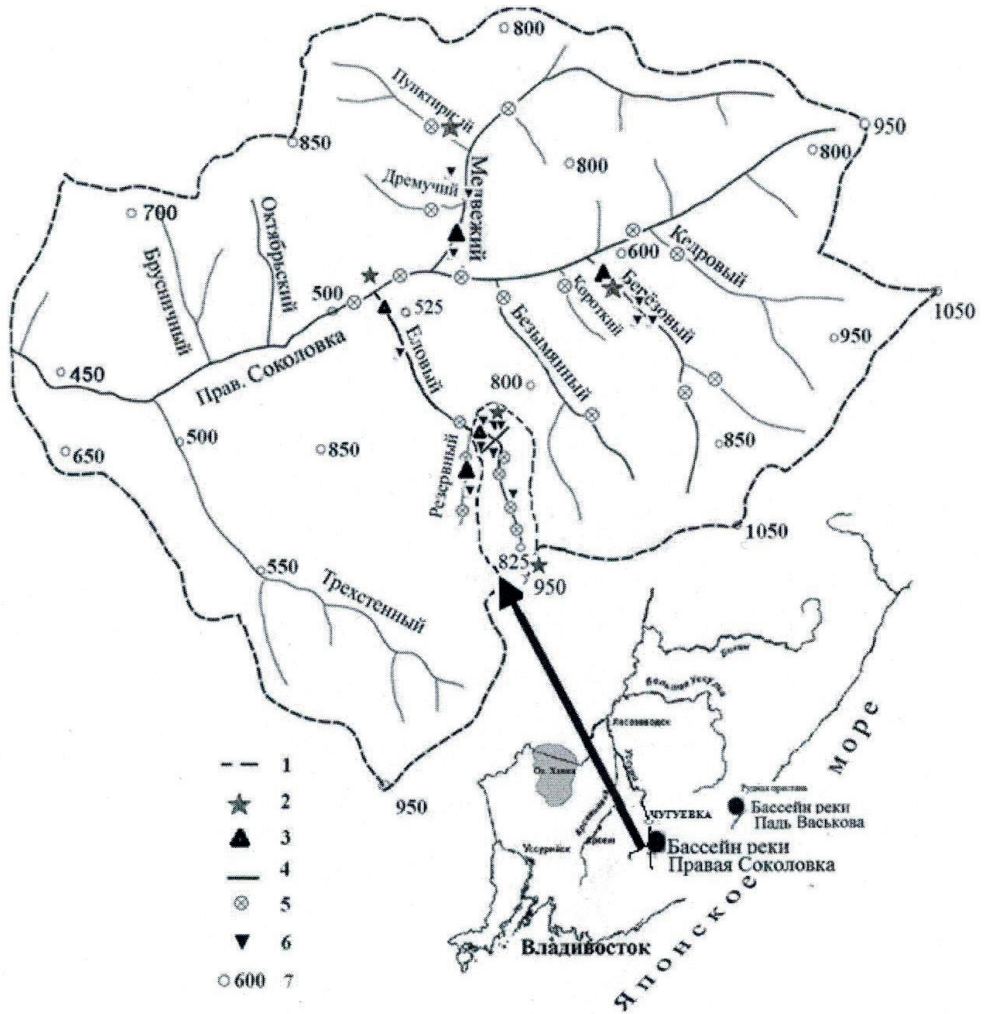
В районах исследований распространены низко- и среднегорные ландшафты широколиственных и хвойно-широколиственных лесов с быстрым водообменом, которые по классификации А.И. Перельмана и Н.С. Касимова (1999) относятся к ландшафтам III рода.

В пределах восточного макросклона южного Сихотэ-Алиня наблюдения производились в бассейне р. Падь Васькова и его левобережном притоке – руч. Мармеладный. В меженный период были опробованы другие малые реки бассейна. Река Падь Васькова является притоком реки Рудной, впадающей в бухту Рудная Японского моря. Площадь водосбора реки равна 15,79 км<sup>2</sup>, верховье реки заболочено. В настоящее время район исследований по типу современного горного рельефа представляет собой эрозионно-денудационные низкогорья с высотами до 539 м над уровнем моря и субмеридиональным простираением основных водоразделов. Рельеф преимущественно крутосклонный, сильно расчленённый с амплитудой относительных превышений до 200–250 м и средними уклонами 5–20 °. Сильнокаменистые горные бурые лесные почвы (на элювии кварцевых парфиров) развиваются на грубообломочном элювии и элюво-делювии плотных эффузивных и интрузивных пород кислого состава, реже – осадочных пород, в субаэральной обстанов-

Таблица 1

Морфометрические характеристики модельных бассейнов

Макросклон Сихотэ-Алиня	Река /ручей	Площадь водосбора до замыкающего створа, км <sup>2</sup>	Максимальная высота, м над ур. м.
Восточный	Мармеладный	3,30	539
	Падь Васькова	9,68	
	Малые реки	< 1	200–257
Западный	Еловый (Верховье)	0,77	962
	Резервный	1,05	
	Еловый (Устье)	3,47	
	Безымянный	~3,5	962
	Березовый	3,10	1071
	Медвежий	7,67	869
	Правая Соколовка	~20	1071
Малые реки	< 1	704–869	



**Рис. 1.** Карта-схема бассейна р. Правая Соколовка. Условные обозначения: 1 – границы бассейна р. Правая Соколовка и руч. Еловый (Верховье); 2 – местоположение осадкомеров и метеостанций; 3 – местоположение гидрометрических постов; 4 – местоположение профиля измерения влагзапасов почвы; 5 – места разового отбора проб русловых вод; 6 – местоположение точек отбора проб почвенных вод тензиолизметрами, 7 – высотные отметки рельефа, м над ур. м.

ке при хорошем дренаже. Склоны рек покрыты производными леспедецево-лещиновыми дубняками с участием в составе древостоев липы Таке, кленов, осины, берез маньчжурской и даурской, ясеня. Леса одноярусные, возраст дуба монгольского – в основном 40–60, реже 70–90 лет. Сомкнутость древесного полога составляет 0,6–0,8, на крутых склонах и водоразделах снижается до 0,2–0,5 (Аржанова, Елпатьевский, 2005).

На западном макросклоне южного Сихотэ-Алиня исследования были сосредоточены в бассейне р. Правая Соколовка. Гидрохимические пробы воды отбирались из притоков данной реки – в ручьях Еловом (на 3-х створах), Березовом и Медвежем (табл. 1, рис. 1). В периоды устойчивой межени, для оценки пространственной вариации химического состава речных вод, дополнительно на малых и очень малых лево- и правобережных притоках Правой Соколовки эпизодически выполнялись гидрохимические съемки.

Бассейн реки Правой Соколовки входит в систему верховий р. Усури и является ее притоком IV порядка. Бассейн закрыт горными хребтами и удален от моря на ~ 400 км.; его площадь составляет 45 км<sup>2</sup>. Основной водораздел бассейна (рис.1) складывается рядом отдельных возвышений со слабовыраженными седловинами. Долины водотоков глубоко

врезаны, преобладают крутые склоны. Распределение растительности обусловлено высотой над уровнем моря. Распределение лесов в бассейне подчинено общим закономерностям высотной поясности. В верхнем поясе (от 700 до 1150 м над ур. м.) лесной покров водосбора представлен типичными пихтово-еловыми лесами с фрагментами каменноберезников на отдельных вершинах основного водораздела. В среднем поясе (до 700–750 м) наиболее широко представлены различные типы кедрово-еловых и широколиственно-кедровых лесов, находящихся на разных этапах возрастного и восстановительного развития. Эти леса определяют облик лесного покрова бассейна, для них характерны большой набор коренных лесообразователей и повышенная фитоценогическая роль ели аянской и пихты белокорой на этапах смен преобладающих поколений. Смешанные хвойно-лиственные леса (около 400 м над ур. м.) занимают небольшую часть территории в долине р. Правая Соколовка. Они в большинстве своем были пройдены промышленными рубками и имеют довольно пестрый фитоценогический облик. Насаждения с преобладанием хвойных пород занимают около 68 % покрытой лесами площади бассейна (Сапожников и др., 1993; Жильцов, 2008).

На склонах речных долин и вершинах водоразделов широко представлены горно-лесные почвы на элювии и элюво-делювии песчаников, порфиринов, спилитов, сиенитов различных стадий фрагментарности. В долине р. Правая Соколовка и впадающих в нее ручьев распространены горно-долинные почвы. На песчано-галечниковых отложениях формируются дерново-аллювиальные и торфянисто-перегнойно-глебовые, а на делювиально-аллювиальных отложениях – бурые лесные (остаточно-пойменные) почвы (Сапожников и др., 1993; Жильцов, 2008). На химическом составе речных вод бассейна р. Правая Соколовка отражаются различия возраста и состава коренных пород. Согласно материалам государственной геологической съемки, наиболее молодые отложения распространены в левобережной части бассейна и представлены позднемеловыми эффузивами кислого состава (туфами, туфопесчаниками, игнимбридами и риолитами) (Болдескул и др., 2014). Правый склон долины Правой Соколовки характеризуется преимущественно более древними осадочными породами юры и триаса (песчаники, алевролиты с обломками и глыбами известняков, силикатных пород) (Болдескул и др., 2014).

Особенность климата районов исследования определяется преимущественно географическим положением региона: сравнительно низкие широты и близость холодных окраинных морей Тихого океана. Муссонный характер климата проявляется в контрастности сезонов года по гидротермическому режиму – лето тёплое и влажное, с большим количеством осадков, а зима холодная и сухая. В течение тёплого периода года (с апреля по сентябрь) в бассейне р. Падь Васькова средняя сумма осадков находится в пределах 600–850 мм, в бассейне Правой Соколовки – 360–820 мм. Климат западного макросклона имеет более высокую степень континентальности. Зимой здесь существенно холоднее, а в апреле–сентябре значительно теплее, чем на побережье (Аржанова, Елпатьевский, 2005; Жильцов, 2008; Кожевникова, 2009).

Приборная база, методы отбора проб и их аналитическая обработка подробно описаны в наших предыдущих работах (Болдескул и др., 2014; Кожевникова и др., 2014). В ходе предварительной оценки результатов исследований методами простых линейных связей было достаточно сложно интерпретировать факторы формирования химического состава, поэтому для анализа полученного массива данных нами использовались методы многомерного статистического анализа. Расчеты выполнялись с использованием программного пакета Statistica 10 (StatSoft).

Для выполнения поставленных целей был опробован метод факторного анализа (Иберла, 1980). Основной задачей факторного анализа (ФА) является выражение используемых в работе переменных  $X_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), которые характеризуют химический состав воды, через набор факторов  $F_j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ). Эти факторы получены из тех же переменных  $X_i$ , причем количество факторов должно быть намного меньше количества используемых переменных ( $m \ll n$ ). В ходе ФА рассчитывается корреляционная матрица, которая обрабатывается по методу главных компонент (МГК). МГК позволил сжать полученную матрицу

данных до небольшого числа обобщающих признаков (гипотетических факторов), сохраняющих наиболее существенную информацию об изменчивости исследуемых переменных. Факторы понимаются как причина изменчивости исходных данных и объединяют в одну группу коррелируемые между собой переменные, которые прямо или косвенно связаны с некоторым источником (или процессом) поступления химического элемента в реку. Такие факторы имеют две характеристики: объем объясняемой дисперсии и степени вариативности (нагрузки). Факторные нагрузки имеют вид коэффициента корреляции и указывают на близость связи между факторами  $F_j$  и переменными  $X_i$ . Чем выше по модулю величина факторной нагрузки определенной переменной, тем лучше она реагирует на действие того или иного фактора. Значения факторных весов переменных, больше или равные по модулю  $|0,7|$ , дают наиболее существенный вклад в фактор, так как корреляция с таким коэффициентом Пирсона считается сильной. Показатель (макрокомпоненты, расход воды и т.д.) с нагрузкой  $\geq |0,7|$  считается репрезентативным и используется в дальнейшем для описания процессов внутри речной экосистемы и интерпретации факторов влияния на эти процессы. Выделенные факторы должны объяснять не менее 80 % суммарной дисперсии. Доминирующими выступают факторы с более высоким процентом объяснимой дисперсии элементарных признаков. Для определения количества факторов нами был использован критерий Кайзера или собственных чисел (Померанцев, 2008). Собственное число интерпретируется как доля общей дисперсии исходных данных, объясняемой каждым из главных факторов. Для дальнейшего обобщения выбираются факторы с собственными значениями не ниже 1. При достижении оценочного критерия выполняется построение факторной модели. Распределение нагрузок на признаки отдельных факторов и интерпретирование факторной структуры выполняется после процедуры варимаксного (Varimax) вращения (Иберла, 1980), так как после ротации увеличиваются большие и уменьшаются малые значения факторных нагрузок.

В качестве переменных  $X_i$  в работе были использованы минерализация, водородный показатель (рН), растворимый органический углерод (РОУ), концентрация макроэлементов ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ), Si, измеренные расходы воды, а также коэффициенты, учитывающие долю хвойных пород в составе древостоев и заболоченность территории.

## Результаты исследований

Массив упомянутых выше переменных водосборов горных рек обрабатывался с использованием МГК. Ряды предварительно были стандартизованы и преобразованы в корреляционную матрицу. В результате расчетов были получены собственные значения, то есть часть дисперсии, которая может быть объяснена каждым из факторов. В качестве расчетной была принята модель, включающая 4 фактора с величиной собственных значений не ниже единицы (табл. 2). Два первых фактора суммарно объясняют 59,7 % от общей дисперсии исходной выборки данных по исследуемым речным бассейнам. После процедуры варимаксного вращения исходных данных усилилась роль переменных, вносящих наиболее значимый вклад в факторы формирования химического состава вод. Полученные факторные нагрузки (табл. 2) позволили интерпретировать влияние каждого фактора на химический состав речных вод.

**Первый фактор связан** тесной отрицательной связью с минерализацией и характеризует поступление основных ионов ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) в водные массы в процессе растворения горных пород. Данный фактор относится к группе геологических и содержит в себе максимум информации о рассматриваемых реках (табл. 2).

Второй фактор отражает поступление на водосборную площадь аэрозолей с близлежащих морских акваторий и элементов, связанных с процессами разложения органических веществ на площади водосбора. Обратная связь факторов с ионами  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  свидетельствует о растворении их в воде, а положительная тесная связь с нитрат-ионами ( $\text{NO}_3^-$ )

Таблица 2

Значения факторных нагрузок и процент объясняемой дисперсии  
после варимаксного вращения

Исследуемые параметры	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
Расход воды, л/с·км <sup>2</sup>	0,04	-0,20	0,69	0,14
$K_{хв}$	0,25	<b>0,83</b>	0,01	-0,12
$K_{зab}$	0,16	<b>-0,70</b>	0,29	-0,04
Минерализация, мг/л	<b>-0,98*</b>	-0,02	0,05	0,16
Н+, мг/л	0,23	0,09	-0,07	<b>-0,91</b>
РОУ, мг/л	-0,10	0,37	<b>0,75</b>	0,15
НСО <sub>3</sub> , мг/л	<b>-0,94</b>	-0,10	0,06	0,25
Cl, мг/л	0,21	<b>-0,89</b>	0,19	0,01
SO <sub>4</sub> , мг/л	<b>-0,77</b>	0,31	-0,30	-0,35
NO <sub>3</sub> , мг/л	-0,12	<b>0,73</b>	0,43	0,03
Ca, мг/л	<b>-0,95</b>	0,06	0,07	0,15
Mg, мг/л	<b>-0,98</b>	-0,05	0,09	0,05
K, мг/л	0,38	0,58	-0,28	-0,41
Na, мг/л	-0,14	<b>-0,74</b>	-0,09	0,55
Si, мг/л	0,09	0,29	-0,68	0,34
<b>Собственные значения</b>	4,95	4,00	1,92	1,26
% объясняемой дисперсии	32,98	26,71	12,81	8,41

Примечание:  $K_{хв}$  – доля хвойных в составе леса;  $K_{зab}$  – заболоченность, %; РОУ – растворимый органический углерод. \* выделены значения факторных нагрузок  $\geq |0,7|$

и менее тесная – с растворенным органическим углеродом и калием – о поступлении этих элементов с водосборной площади. Причем, чем выше доля хвойных в составе древостоев, тем больше нитрат-ионов и РОУ содержится в водах исследуемых рек.

**Третий фактор** объединяет элементы, связанные с условиями увлажнения бассейна, что выражено в корреляционной зависимости фактора с расходом воды (табл. 2). Положительная связь этого фактора с РОУ и NO<sub>3</sub> может свидетельствовать о поступлении этих компонентов с почвенными и болотными водами в паводковые периоды. Наиболее сильная обратная корреляционная связь третьего фактора с кремнием, и менее слабая – с сульфатами и калием указывают на растворение этих веществ в воде в периоды высокой водности и усиленном поступлении их с подземными водами в межень (Болдескул и др., 2014).

Тесная отрицательная связь четвертого фактора и ионов водорода показывает, что его действие усиливается при снижении показателя кислотности вод. Вероятнее всего, увеличение протонной нагрузки связано с природно-антропогенными процессами – поступлением кислотных осадков или усиленным выносом органических кислот с поверхности водосбора.

На модели, представленной на рис. 2, отчетливо выделяются 3 группы, объединяющие реки по геологическому и природно-региональному признакам. В первую группу объединены реки восточного макросклона (рис. 2, треугольник). Отличительными чертами их химического состава являются: поступление на водосборную площадь аэрозолей с близлежащих морских акваторий и низкое содержание кальция. Доля ионов Cl и Na составляет 24–35 и 57–60 %-экв. соответственно, а Ca<sup>2+</sup> – только 24 %-экв. Причину таких концентраций кальция в воде П.В. Елпатьевский (1993) объясняет малым его количеством в литогенном субстрате ландшафтов восточного склона южного Сихотэ-Алиня. Элементный состав близко расположенных рек восточного макросклона является сходным (табл. 3). Основное различие связано с более высоким поступлением РОУ с заболоченных участков верховья р. Падь Васькова. По классификации О.А. Алекина (1970) воды рек

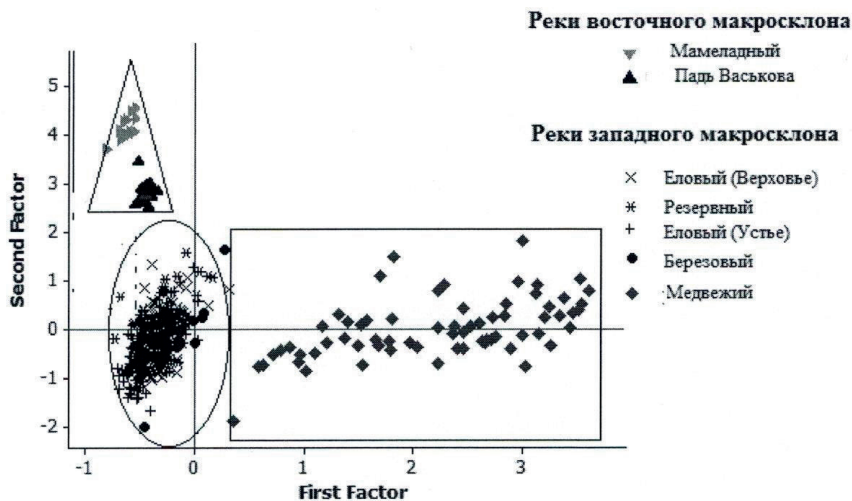


Рис. 2. Модель химического состава речных вод восточного и западного макросклонов южного Сихотэ-Алиния в координатах двух первых факторов.

относятся к типу I ( $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ). В 2015-2016 гг. количество  $\text{HCO}_3^-$  на 20-40 % превышало сумму кальция и магния.

Во вторую и третью группы объединены малые реки западного макросклона (табл. 1, рис. 1). Они более разнообразны по химическому составу, что объясняется взаимообусловленным комплексом ландшафтных факторов, формирующих геохимическую обстановку бассейна. Это, в первую очередь, указанные выше различия возраста почвообразующих пород, слагающих склоны лево- и правобережных притоков Правой Соколовки, а также разнообразие видовой и возрастной структуры лесной растительности. Правобережные притоки (рис. 2, прямоугольник), сложенные более древними породами юры и триаса, отличаются повышенной минерализацией, доминированием гидрокарбонатов, увеличением процентного содержания магния (табл. 3). Склоны их водосборов покрыты, преимущественно, лиственными древостоями, опад которых насыщен основаниями (Mg, Ca, K). Воды верхнего органогенного горизонта почвы в лесах правобережных склонов более щелочные, с высоким содержанием гидрокарбонатов и кальция.

Третью группу, характеризующую пространственные особенности формирования факторов, влияющих на химический состав вод (рис. 2, эллипс), образуют реки, впадающие в Правую Соколовку слева. Их водосборы сложены наиболее молодыми поздне-меловыми эффузивами кислого состава и покрыты на 60–70 % хвойными древостоями. Гидрохимический тип вод данной группы рек в большей мере контролируется составом почвенных растворов и интенсивностью биохимических процессов в почвах. На примере бассейна руч. Еловый показано, что воды ручья, дренирующие склоны с преобладанием

Таблица 3  
Средние значения химических компонентов вод рек 1–3 порядков южного Сихотэ-Алиния

Реки	pH	M	C <sub>орг</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Ca	Mg	K	Na	Si
Падь Васькова	6,32	20,7	4,40	8,28	2,81	0,02	1,44	0,45	0,28	4,19	4,50
Мамеладный	6,51	22,1	1,48	10,30	3,04	0,07	1,62	0,35	0,40	3,70	5,12
Еловый (Верховье)	5,72	22,0	3,28	3,05	9,33	2,52	2,75	0,55	1,40	1,59	6,71
Резервный	6,70	33,6	4,38	12,74	7,09	3,65	5,23	0,63	0,96	2,48	6,99
Еловый (Устье)	6,66	29,2	3,24	11,12	7,25	1,85	4,09	0,54	1,05	2,47	7,78
Березовый	6,72	34,1	5,23	13,91	5,81	4,00	5,96	0,78	0,96	1,83	5,33
Медвежий	7,38	90,3	4,63	51,70	11,88	2,72	16,5	3,92	0,59	2,60	6,19
Правая Соколовка	7,18	82,5	3,79	48,64	7,44	4,68	15,4	2,59	0,70	2,15	6,45

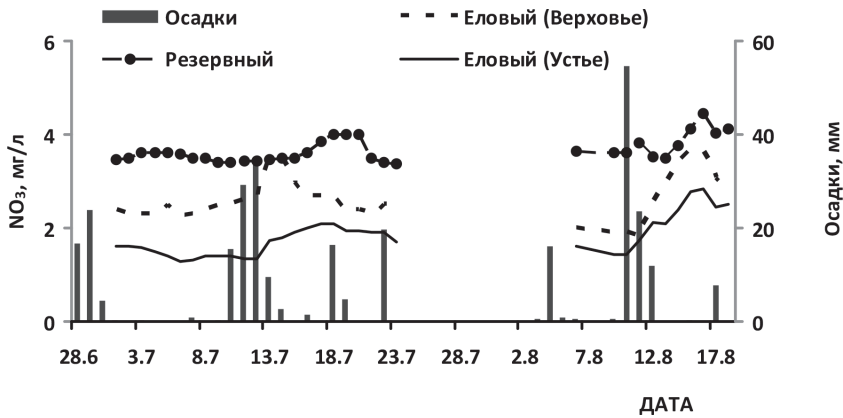


Рис. 3. Содержание нитрат-ионов в малых реках бассейна Правая Соколовка в периоды прохождения паводков в июле и августе 2014 г.

кедрово-пихтово-еловых лесов, кислые, в анионном составе доминируют сульфаты, а концентрация кальция в этих водах ниже, чем в других ручьях (Кожевникова и др., 2014). В водах Резервного на 30–40 % выше, чем в верхней и устьевой частях бассейна Елового, концентрация нитрат-ионов. За летне-осенний сезон за пределы бассейнов Елового (Верховье) и Резервного выносятся до 3 кг  $\text{SO}_4/\text{га}$  (Кожевникова и др., 2017). Высокое содержание  $\text{SO}_4$  может быть следствием локально высокого содержания сульфатных минералов в осадочных породах или десорбции серы, ранее накопленной в иллювиальном горизонте почвы за счет атмосферных и кроновых выпадений. По мере увеличения площади бассейна руч. Еловый, возрастает доля лиственных древостоев. Почва под этими лесами содержит много гидрокарбонатов и кальция (Сапожников и др., 1993), что и определяет более стабильный сульфатно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый тип вод в устьевой части ручья.

По классификации О.А. Алекина (1970) воды рек 2–3 порядка бассейна Правой Соколовки относятся к II типу ( $\text{HCO}_3 < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ ). Концентрация макрокомпонентного состава их вод находится в пределах величин (табл. 3), полученных для рек Сихотэ-Алиня (Аржанова, Елпатьевский, 2005; Шулькин и др., 2009; Форина, Шестеркин, 2010). Особенностью элементного состава данных рек является высокое содержание нитратов. По сравнению с водами других рек Сихотэ-Алиня в изучаемых нами водотоках концентрация нитрат-ионов в 2–4 раза выше и остается относительно стабильной из года в год (табл. 3). Причинами могут служить высокое содержание минерального азота в атмосферных осадках, накопление почвами бассейна нитратного азота в больших количествах и его активная миграционная способность (Селиванова, 1980). Измеренные нами концентрации нитратов в отдельных почвенных лизиметрах (в благоприятные для минерализации подстилок периоды) составляли 20–56 мг/л. Поступление нитрат-ионов в речные воды прямо коррелирует с водностью (рис. 3). В бассейне руч. Резервный в отдельные паводки наблюдался незначительный вынос нитратов и органического углерода с речными водами (Кожевникова и др., 2017).

### Заключение

Химический состав исследуемых нами рек отражает ландшафтно-региональные особенности их формирования, природные и антропогенные воздействия на водосбор. Содержания основных анионов и катионов в их водах находятся в пределах величин, характерных для других малых рек Сихотэ-Алиня. Воды рек восточного макросклона практически не различаются между собой по химическому составу. По гидрохимической классификации О.А. Алекина (1970) в близкорасположенных ручьях западного макросклона воды мо-



гут быть отнесены к разным классам. Кроме того, они богаты растворимым органическим углеродом, а концентрация нитрат-иона составляет в среднем 1,5–6 мг/л. Эта величина существенно ниже предельно допустимых концентраций, но в 2–4 раза выше, чем в водах других рек. В периоды циклональной активности в некоторых ручьях наблюдается вынос сульфатов, нитратного азота и органического углерода за пределы бассейна.

Факторный анализ позволяет выделить и интерпретировать пространственные особенности формирования основных процессов, влияющих на элементный состав вод рек начальных звеньев гидрологической сети. Наиболее значимыми определены геологический и природно-региональный факторы. Модель химического состава речных вод, построенная в координатах этих двух факторов, позволил разделить реки по величине минерализации и взаимообусловленным комплексам ландшафтных факторов, формирующих геохимическую обстановку исследуемых бассейнов. Биогеоценоотические механизмы формирования качества вод малых рек достаточно существенны и сопряжены с видовой и возрастной структурой лесной растительности, теплообеспеченностью и увлажненностью водосборной площади. Совместное влияние первых двух факторов усиливается в годы с высокой водностью и может быть причиной многолетней изменчивости исследуемых компонентов химического состава воды.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории Геохимии ТИГ ДВО РАН за помощь в определении макрокомпонентного состава вод.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №16-05-00541 и целевой программы «Дальний Восток» (грант № 15-1-6-080).

### Литература

- Алекин О.А. 1970. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат. 444 с.
- Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. 2005. Геохимия, функционирование и динамика горных геосистем Сихотэ-Алиня (юг Дальнего Востока России). Владивосток: Дальнаука. 253 с.
- Болдескул А.Г., Шамов В.В., Гарцман Б.И., Кожевникова Н.К. 2014. Ионный состав генетических типов вод малого речного бассейна: стационарные исследования в Центральном Сихотэ-Алине // Тихоокеанская геология. Т. 33, № 2. С. 90–101.
- Елпатьевский П.В. 1993. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука. 253 с.
- Жильцов А.С. 2008. Гидрологическая роль горных хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука. 332 с.
- Иберла К. 1980. Факторный анализ. М.: Статистика. 398 с.
- Кожевникова Н.К. 2009. Динамика погодно-климатических характеристик и экологические функции малого лесного бассейна // Сибирский экологический журнал. № 5. С. 693–703.
- Кожевникова Н.К., Болдескул А.Г., Шамов В.В., Гарцман Б.И., Губарева Т.С. 2014. Особенности формирования химического состава природных вод в горных лесных бассейнах // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Вып. 6. С. 316–323.
- Кожевникова Н.К., Луценко Т.Н., Болдескул А.Г., Лупаков С.Ю., Шамов В.В. 2017. Водная миграция макроэлементов в хвойно-широколиственных лесах Сихотэ-Алиня // Сибирский лесной журнал. № 3. С. 60–73.
- Перельман А.И., Касимов Н.С. 1999. Геохимия ландшафта. М.: Астрель. 768 с.
- Померанцев А.Л. 2008. Метод главных компонент (МГК). <http://rcs.chemometrics.ru/2017/03/03>
- Сапожников А.П., Селиванова Г. А., Ильина Т.М., Дюкарев В.Н., Бутовец Г.Н., Гладкова Г.А., Гавренков Г.И., Жильцов А.С. 1993. Почвообразование и особенности круговорота веществ в горных лесах Южного Сихотэ-Алиня. Хабаровск: ДальНИИЛХ. 269 с.
- Селиванова Г.Н. 1980. Некоторые черты динамики почвенных процессов в лесных биогеоценозах Верхнеуссурийского стационара // Комплексные исследования лесных биогеоценозов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. С.79–89.
- Форина Ю.А., Шестеркин В.П. 2010. Особенности химического состава речных вод восточного макросклона Северного Сихотэ-Алиня // География и природные ресурсы. № 3. С. 81–87.
- 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.