

УДК 550.42

## МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ВОДЕ МАЛЫХ РЕК БАСЕЙНА РЕКИ АНЮЙ (ЗАПАДНЫЙ МАКРОСКЛОН СЕВЕРНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ)

Шестеркина Нина Михайловна<sup>1</sup>,  
shesterkina@ivep.as.khb.ru

Шестеркин Владимир Павлович<sup>1</sup>,  
shesterkin@ivep.as.khb.ru

<sup>1</sup> Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,  
Россия, 680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56.

**Актуальность:** изучение содержания растворенных форм микроэлементов в воде горно-таежных рек Нижнего Приамурья, дренирующих водосборы с рудопроявлениями олова и с гарями, появившихся после катастрофических пожаров в 1998 г.

**Цель:** оценка содержания микроэлементов в воде малых рек бассейна р. Анюй, которые необходимы для объективной оценки экологического состояния поверхностных вод края и проведения эффективных водоохранных мероприятий.

**Объекты:** горно-таежные водотоки бассейна р. Анюй (западный макросклон северного Сихотэ-Алиня, правобережный приток р. Амур в нижнем течении).

**Методы:** фильтрация проб воды через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм, подкисление азотной кислотой; определение концентрации микроэлементов в подготовленных пробах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на ICP-MS Agilent 7500cx в Центре коллективного пользования при ИВЭП ДВО РАН.

**Результаты.** В период открытого русла в 2011–2016 гг. проведены гидрохимические исследования малых рек в бассейне р. Анюй, крупного правобережного притока р. Амур. В пробах воды горно-таежных рек определялись параметры основного солевого состава, содержание органического вещества. Наиболее детально проведено изучение содержания растворенных форм микроэлементов в воде малых рек в пределах разных ландшафтов: горных – основная масса изученных рек; горных в верхней части и равнинных в нижней части бассейна (р. Манома); заболоченных водосборов (рр. Мухе и Эльман). Полученные материалы позволяют оценить их концентрации, временные колебания и соотношения на различных участках бассейна. Отмечены повышенные концентрации растворенных форм Mn, Fe, Zn, Ba, Cu, Ni, Se в воде малых рек, дренирующих рудопроявление «Мопау». Установлено низкое содержание, сотые доли мкг на литр, Cd, Co, Pb, V в горной части бассейна. Отмечено влияние пирогенной деградации почвенного покрова вследствие лесных пожаров на формирование качества воды горных рек. Показано, что временные колебания содержания микроэлементов в первую очередь определяются гидрологической обстановкой на водосборе. Отмечена роль заболоченных таежных ландшафтов в равнинной части бассейна и увеличение содержания органического вещества в повышении геохимической подвижности Fe, Mn, Cu, Ni, в меньшей степени Co, Al, V, за счет миграции в составе комплексных соединений с растворенным органическим веществом.

### Ключевые слова:

Бассейн реки Анюй, северный Сихотэ-Алинь, таежные реки, микроэлементы, пространственная и временная изменчивость.

### Введение

Малые реки имеют важное экологическое значение, являясь неотъемлемой частью окружающей природной среды, влияют на водность и химический состав средних рек. Небольшие гидрографические характеристики этих рек и непосредственный контакт с результатами хозяйственной деятельности человека определяют их уязвимость.

Река Анюй – один из крупных правобережных притоков Амура в нижнем течении, берет начало на западных склонах Сихотэ-Алиня. Длина реки 393 км, площадь водосбора 12700 км<sup>2</sup>. Верхняя, большая по площади (65–67 %), часть бассейна имеет горный рельеф. От истока на протяжении 200 км река течет в меридиональном направлении по дну глубокой складки, затем прорывается через горные гряды Сихотэ-Алиня и выходит на Среднеамурскую равнину [1].

Верхняя часть водосбора занимает высокогорье Сихотэ-Алиня. Горы сложены вулканогенной толщей базальтов, их туфов, андезитами и др. породами. Склоны гор преимущественно крутые, сильно расчлененные долинами притоков Анюя, в основном покрыты лесом. До устья р. Гобилли преобладают гор-

ные темнохвойные леса таежной зоны, ниже – темнохвойные и темнохвойно-широколиственные леса.

В бассейне Анюя развиты подзолистые и горно-лесные бурые почвы. В пределах Среднеамурской равнины, западную часть которой река пересекает на участке нижнего течения, широкое распространение имеют листовенничные мари. Почвы равнины дерново-подзолистые и подзолисто-болотные.

Климат муссонный. Годовая сумма осадков составляет в нижнем течении около 700 мм, в горной части водосбора – 1100–1200 мм. Паводки наблюдаются 4–6 раз в году: снегодождевые в мае–июне, дождевые в сентябре–октябре. Продолжительность ледостава 155–160 дней с ноября по май [1]. В системе Анюя насчитывается около 5000 малых рек длиной до 10 км, шесть рек – до 100 км. Наиболее крупный приток – р. Манома длиной 198 км.

Химический состав вод рек северного Сихотэ-Алиня формируется на малоосвоенной территории, определяется преимущественно природными факторами. Основной вид хозяйственной деятельности – лесопользование, планируется разработка рудопроявлений олова «Мопау» и «Таусинское».

Химический состав вод малых рек в бассейне р. Анюй до недавнего времени практически не изучался. После катастрофических лесных пожаров в 1998 г. осуществлялся гидрохимический мониторинг малых рек западного склона Сихотэ-Алиня. По результатам исследований дана характеристика содержания основных ионов, биогенных и органических веществ. Кроме этого, изучалось влияние пожаров на гидрохимический режим малых рек и вынос растворенных веществ с гарей [2].

Целью работы является оценка содержания микроэлементов в воде малых рек бассейна р. Анюй, выявление факторов, определяющих их вариабельность.

#### Материалы и методы исследования

Объектом исследования были разнопорядковые реки в бассейне р. Анюй с площадью водосборов от 4,5 до 2450 км<sup>2</sup> (рис. 1, табл. 1). Наблюдения проводили в 2011–2016 гг. в мае, июле, августе, октябре, ноябре и охватывали основные фазы водного режима: весеннее половодье, летнюю и осеннюю межень, паводки.

Пробы воды отбирали с поверхности, фильтровали через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм, подкисляли азотной кислотой. Анализ подготовленных проб проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе ICP-MS Agilent 7500cx в Центре коллективного пользования при ДВО РАН.

#### Результаты и их обсуждение

Воды изученных малых рек по величине минерализации в основном ультрапресные до 40 мг/л. Исключение составляют воды левых притоков р. Гобилли: рр. Таунга и Могуча (до 84,2 мг/л), руч. Забытый, Горелый-2 и Завальный (в среднем до 60 мг/л), дренирующих рудопоявление «Мопау» (табл. 2).

Анализ временных колебаний содержания растворенных веществ показывает, что снижение минерализации для всех водотоков отмечается во время снегодождевых (май, июнь) и дождевых (август) паводков. Повышение отмечается в летнюю межень (июль) при усилении роли грунтового питания и перед ледоставом (ноябрь).

Природно-климатические условия определяют низкое содержание органического вещества (ОВ) и цветность вод от <5 до 20° за исключением равнинных притоков в нижнем течении рр. Манома, Мухэ и Эльман (табл. 2). Содержание взвешенных веществ низкое – <3 мг/л. Величина pH варьирует в широком диапазоне, в среднем кислотность воды сдвинута в щелочную область за исключением рек Мухэ и Эльман, в которых значения pH ближе к нейтральным.

Средние значения концентраций растворенных форм микроэлементов и пределы их колебания приведены в табл. 3. Полученные материалы по микроэлементному составу позволяют оценить их значения, временные колебания и соотношения на разных участках. Поскольку в бассейне р. Анюй отсутствует интенсивная антропогенная нагрузка, а речные воды в основном имеют слабощелочную реакцию, не способствующую миграции многих элементов, содержание металлов в основном невысокое. Временные колебания концентраций в первую очередь определяются гидрологической обстановкой на водосборе. В период открытого русла изменение концентраций элементов в воде рек зависит от соотношения их содержания в дождевых и подземных водах. В период весеннего половодья реки выносят вещества, накопившиеся в снежном покрове за длительный зимний период, в дождевые паводки поступают с поверхности водосбора со слабо закрепленным в почве и растительности материалом.

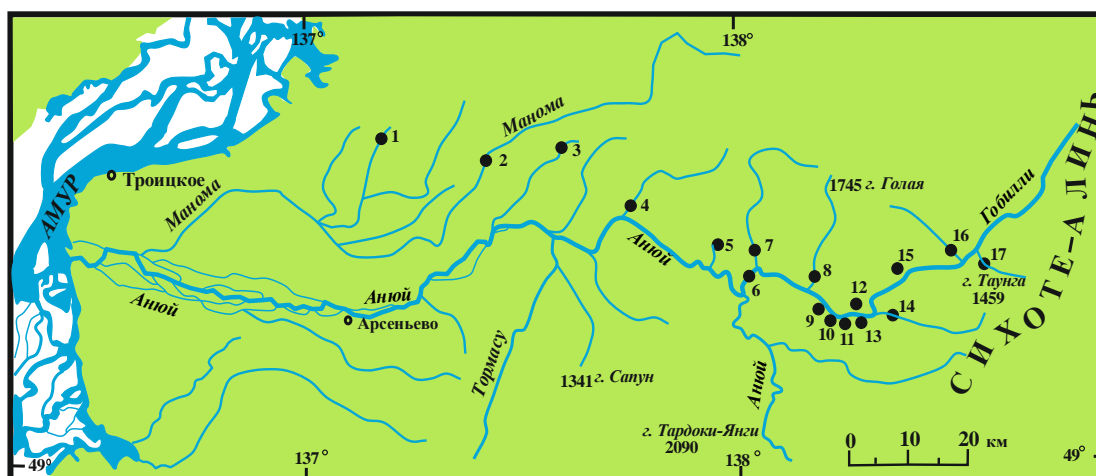


Рис. 1. Карта-схема района исследования. Водотоки: 1 – р. Эльман; 2 – р. Манома; 3 – р. Мухе; 4 – р. Богбасу; 5 – р. Куптурку; 6 – р. Гобилли; 7 – р. Бол. Эртукули; 8 – р. Мал. Эртукули; 9 – руч. Горелый-1; 10 – руч. Горелый-2; 11 – руч. Забытый; 12 – руч. Встречный; 13 – руч. Завальный; 14 – р. Могуча; 15 – руч. Быстрый; 16 – руч. Студеный; 17 – р. Таунга

Fig. 1. Map-scheme of the research area. Watercourses: 1 – Elman River; 2 – Manoma River; 3 – Mukhe River; 4 – Bogbasu River; 5 – Kupturku River; 6 – Gobilli River; 7 – Bolshaya Ertukuli River; 8 – Malaya Ertukuli River; 9 – Stream Gorely-1; 10 – Stream Gorely-2; 11 – Stream Zabyty; 12 – Stream Zavalny; 14 – Mogucha River; 15 – Stream Bystry; 16 – Stream Studeny; 17 – Taunga River

**Таблица 1.** Характеристика изученных рек, № – номер пункта отбора в соответствии с рис. 1, площадь водосбора (S), длина водотока (L), прочерк – отсутствие данных

**Table 1.** Characteristics of the studied rivers, No. – number of the sampling point in accordance with Fig. 1, drainage area (S), length of the watercourse (L), dash – no data

№	Водоток/Watercourse	S, км <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>	L, км/km
1	Эльман/Elman	–	10
2	Манома/Manoma	2450	198
3	Мухэ/Mukhe	–	24
4	Богбасу/Bogbasu	–	30
5	Куптурку/Kupturku	31,2	26,6
6	Гобилли/Gobilli	1690	97
7	Большая Эртукули Bolshaya Ertukuli	–	31
8	Малая Эртукули Malaya Ertukuli	–	27
9	Горелый-1/Gorely-1	4,5	4,4
10	Горелый-2/Gorely-2	6,1	4,6
11	Забьтый/Zabyty	11,8	11,7
12	Завальный/Zavalny	13,8	11,6
13	Могуча/Mogucha	–	18
14	Встречный/Vstrechny	–	10
15	Быстрый/Bystryy	–	8
16	Студеный/Studenyy	–	16
17	Таунга/Taunga	–	18

Поступление соединений железа в водные объекты обусловлено выветриванием горных пород. Высокий кларк металла обуславливает его появление в природных водах, но в малых количествах из-за низкой миграционной способности [3, 4]. Взвешенные и коллоидные формы – основные формы миграции Fe в пресных поверхностных водах, достигающие 95–97 % его валового содержания в воде рек и 65–85 % – водоемов [5]. Несмотря на то, что для рек, в отличие от водоемов, характерны взвеси минерального состава, исследования в Карелии [6], Сибири [7–9] и Приамурье [10–14] свидетельствуют о том, что во многих случаях повышенное содержание растворенных форм Fe в воде рек вызвано образованием комплексов с высокомолекулярными органическими веществами.

Среднее содержание растворенных форм Fe в реках бассейна р. Анюй за небольшим исключением низкое, так же как и в реках бассейна р. Тумнин [15], варьирует в узких пределах (<20–40 мкг/л). Повышенные значения характерны для р. Таунга (80 мкг/л) и обусловлены, вероятно, влиянием рудопроявлений. Временные колебания содержания растворенных форм Fe в реках горной части бассейна выражаются в незначительном повышении концентраций в ноябре при усилении роли грунтового питания. Изменение ландшафтной структуры водосбора в нижнем течении р. Анюй определяет повышение содержания растворенных форм Fe в водотоках равнинной заболоченной части бассейна: рр. Манома, Мухе, Эльман за счет миграции в составе комплексов с органическими соединениями (табл. 3). Максимальная концентрация (320 мкг/л), превышающая среднее содержание в речных водах [16, 17], отмечалась в мае 2016 г. в воде р. Мухэ при низкой мутности, высокой цветности воды (130°) и содержании ОВ (40 мг О/л).

**Таблица 2.** Характеристика химического состава речных вод бассейна р. Анюй (числитель – среднее значение, знаменатель – пределы изменения; М – минерализация)

**Table 2.** Characteristics of the chemical composition of river waters of the Anyu river basin (numerator – average value, denominator – limits of change; M – mineralization)

Водоток Watercourse	pH	M, мг/л mg/l	ХПК, мг О/л COD, mg O/l	Цветность, градус Color/ degree
Эльман/Elman	6,6 6,0...7,0	25,2 20,4...32,0	33 17–49	86 60–95
Манома/Manoma	7,3	38,0	–	15
Мухэ/Mukhe	6,8 6,7...7,0	24,0 20,1...29,4	28 12–40	93 49–130
Богбасу/Bogbasu	7,4 7,2...7,5	36,4 35,6...37,2	7 <5–14	28 10–45
Куптурку Kupturku	7,2 6,7...7,5	26,1 21,9...29,0	<5 <58	8 <5–20
Гобилли/Gobilli	6,8	53,4	12	5
Большая Эртукули Bolshaya Ertukuli	7,2	32,0	19	9 <5–18
Малая Эртукули Malaya Ertukuli	7,3 7,1...7,8	34,0 28,5...40,7	<5 <5–9	6 <5–14
Горелый-1 Gorely-1	7,3 6,8...8,0	32,4 28,7...36,6	<5 <5–8	<5 <5–15
Горелый-2 Gorely-2	7,45 6,7...8,0	57,4 46,0...67,3	<5 <5–8	<5 <5–7
Забьтый/Zabyty	7,4 6,5...8,0	56,1 48,8...63,4	4 <5–9	5 <5–10
Завальный Zavalny	7,4 6,7...7,7	59,6 52,0...66,3	<5	<5 <5–10
Могуча/Mogucha	7,75 7,6...7,9	75,7 71,6...79,8	7 <5–10	5
Встречный Vstrechny	7,4 6,6...8,1	35,4 33,0...40,6	<5 <5–9	<5 <5–7
Быстрый/Bystryy	7,7	29,0	9	5
Студеный/Studenyy	6,2	30,8	–	<5
Таунга/Taunga	7,6	78,0	9	5

Марганец – один из наиболее распространенных элементов земной коры. Основным источником его поступления в объекты гидросферы являются железомарганцевые руды. Соединения Mn появляются также при разложении высших водных растений и гидробионтов [5]. Миграционная способность Mn значительно меньше, чем у Fe. Основная масса солей марганца в воде рек транспортируется во взвеси. Большое влияние на его миграцию в коллоидной и растворенной формах оказывают органические соединения за счет комплексообразования.

Содержание растворенных форм Mn в воде большинства рек бассейна р. Анюй низкое (средние значения <1 мкг/л), варьирует в небольших пределах от <0,1 до 2,68 мкг/л, в целом ниже, чем для глобального речного стока [17]. Концентрации растворенных форм Mn в бассейне р. Анюй сопоставимы с содержанием в водах р. Тумнин (1,2...2,7 мкг/л) [15]. Временная динамика содержания Mn в реках горной части бассейна Анюй выражается в незначительном повышении со снижением уровней воды в ноябре, как в Амуре в зимний период [18].

Повышенные концентрации Mn (до 8,7 мкг/л среднее значение), как наиболее подвижного металла по отношению к Fe, наблюдались при повышенном содержании последнего в тех же водотоках: р. Таунга в горной области и в реках равнинной заболоченной части бассейна р. Анной (табл. 3). Максимальное содержание – 10,6 и 17,0 мкг/л – отмечалось, как и для Fe, в мае 2016 г. в воде рр. Мухэ и Эльмана при высоких значениях цветности воды 130° и 95° соответственно. Как известно [5], между цветностью воды и концентрацией в ней Mn наблюдается четкая корреляция ( $r=0,90$ ).

Алюминий является продуктом эрозии земной поверхности. В природных водах мигрирует во взвешенной, коллоидной и ионной формах. Влияние антропогенного фактора незначительное [19]. Миграционная способность очень низкая, образование комплексов с растворенным ОВ, главным образом с гуминовыми и фульвокислотами, увеличивает его миграционную подвижность и нахождение в растворенном состоянии.

Для вод изученных рек характерен широкий диапазон колебания как средних значений содержания растворенных форм Al, так пространственных и временных колебаний (табл. 3). В горной части бассейна значительно различались по содержанию Al воды левых и правых притоков р. Гобилли. Содержание Al в воде левых притоков: р. Могуча, руч. Забытый, Завальный, Горный-2, Горный-1 (3,0...6,6 средние значения и 12,2 мкг/л максимальное содержание) значи-

тельно ниже, чем в правых притоках: руч. Встречный, Быстрый, Студеный, р. Мал, Эртукули (10,9...12,0 средние и 53,6 мкг/л максимальное содержание).

Существенные различия концентраций Al в воде левых и правых притоков, возможно, обусловлены различиями в минералогическом составе легкорастворимых пород, а также влиянием лесных пожаров (в бассейне р. Анной в 1998 г. появились гари на площади 187 тыс. га). На водосборах малых горно-таежных водотоков – Завальный, Забытый, Горный-2 и др., покрытых старыми гарями и рубками, пожары обусловили полное выгорание почвенного и растительного покрова до подстилающих пород. Более высоким количеством обугленных растительных остатков отличался водосбор руч. Горный-1, пройденный верховым пожаром. При этом средняя концентрация Al в воде руч. Горный-1 (6,6 мкг/л) была в 2 раза выше, чем в водотоках, водосборы которых выгорели полностью. Среди факторов, влияющих на формирование качества воды горных рек из-за лесных пожаров, следует назвать пирогенную деградацию почвенного покрова.

Выгорание лесной подстилки и маломощных почв, сформированных на делювиальных отложениях, приводит к повышению инфильтрационной способности поверхности склонов, вследствие чего изменяется удельная водоносность территории и режим стока. Исследования свидетельствуют, что гидрохимический эффект пожаров сохраняется длительное время [2].

**Таблица 3.** Содержание растворенных элементов в воде малых рек западного макросклона северного Сихотэ-Алиня (мкг/л, в скобках количество проб)

**Table 3.** Content of dissolved elements in the water of small rivers of the western macroscline of the northern Sikhote-Alin, mcg/l, number of samples in parentheses

Элемент Element	Водоток/Watercourse					
	Эльман (4) Elman (4)	Манома (1) Manoma (1)	Мухе (4) Mukhe (4)	Богбасу (2) Bogbasu (2)	Куптурку (10) Kupturku (10)	Гобилли (1) Gobilli (1)
Al	<u>137,7</u> 67,2...224,3	38,4	<u>95,1</u> 67,0...142,6	<u>4,1</u> 2,3...5,8	<u>21,6</u> 4,2...65,8	18,3
Fe	<u>120</u> 80–160	60	<u>172</u> 100–320	<u>15</u> 10–20	<u>18</u> 10–30	60
Mn	<u>8,7</u> 3,2...17,0	3,1	<u>8,6</u> 6,6...10,6	<u>0,47</u> <0,1...0,94	<u>0,39</u> <0,1...0,71	1,29
Ba	<u>4,8</u> 4,3...5,2	8,3	<u>3,3</u> 2,6...4,2	<u>5,1</u> 5,1...5,2	<u>6,4</u> 3,5...15,0	7,7
Zn	<u>13,4</u> 6,6...18,6	24,5	<u>11,0</u> 3,6...15,3	<u>5,6</u> 4 2...7,1	<u>18,8</u> 5,1...28,4	19,1
Cu	<u>5,21</u> 2,41...9,27	1,61	<u>2,92</u> 0,77...5,27	<u>1,13</u> 0,46...1,80	<u>3,43</u> 0,93...6,94	2,29
Cd	<u>0,06</u> <0,01...0,20	<0,01	<0,01	<0,01	<u>0,02</u> <0,01...0,13	0,05
Co	<u>0,08</u> 0,06...0,09	<0,01	<u>0,08</u> 0,07...0,09	<0,01	<u>0,01</u> <0,01...0,07	0,02
Ni	<u>1,03</u> 0,83...1,43	0,65	<u>0,72</u> 0,54...0,87	<u>0,43</u> <0,1...0,86	<u>0,71</u> <0,1...4,39	1,0
Pb	<u>0,42</u> 0,16...0,86	<0,01	<u>0,13</u> 0,07...0,20	<0,01	<u>0,07</u> <0,01...0,33	<0,01
As	<u>0,17</u> 0,14...0,22	0,16	<u>0,14</u> 0,11...0,16	<u>0,54</u> 0,26...0,83	<u>1,13</u> 0,82...1,90	0,53
Cr	<u>0,18</u> <0,01...0,71	0,11	<u>0,15</u> <0,01...0,61	<0,01	<u>0,05</u> <0,01...0,43	<0,01
Mo	<0,01	0,24	<u>0,04</u> <0,01...0,09	<0,01	<u>0,20</u> <0,01...1,25	0,31
Sb	<0,01	–	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Se	<u>0,06</u> <0,01...0,13	<0,01	<u>0,06</u> <0,01...0,13	<u>0,12</u> 0,07...0,16	<u>0,12</u> <0,01...0,42	0,17
V	<u>0,24</u> 0,17...0,38	0,19	<u>0,25</u> 0,17...0,36	<u>0,06</u> 0,03...0,06	<u>0,11</u> 0,03...0,53	0,06

Окончание табл. 3  
 Table 3

Элемент Element	Водоток/Watercourse					
	Большая Эртукули (2) Bolshaya Ertukuli (2)	Малая Эртукули (10) Malaya Ertukuli (10)	Горелый-1 (10) Gorely-1 (10)	Горелый-2 (10) Gorely-2 (10)	Забывтый (7) Zabyty (7)	
Al	<u>2,3</u> 1,6...3,0	<u>12,0</u> 1,5...53,6	<u>6,6</u> 3,1...12,2	<u>3,3</u> 1,3...8,7	<u>3,0</u> 1,5...7,1	
Fe	<20	<u>20</u> 10–40	<u>19</u> 10–20	<u>30</u> 10–40	<u>30</u> 10–40	
Mn	<u>0,09</u> <0,1...0,18	<u>0,56</u> 0,15...1,48	<u>0,28</u> <0,1...1,04	<u>0,63</u> <0,1...1,45	<u>0,53</u> <0,1...2,01	
Ba	<u>4,8</u> 5,7...3,9	<u>8,8</u> 4,7...12,8	<u>3,2</u> 1,9...4,7	<u>3,9</u> 1,8...14,0	<u>3,6</u> 2,3...5,3	
Zn	<u>2,2</u> 1,9...2,6	<u>24,8</u> 1,6...73,4	<u>11,5</u> 4,3...21,4	<u>18,8</u> 3,7...50,1	<u>18,4</u> 3,0...52,4	
Cu	<u>2,31</u> 1,56–3,06	<u>2,26</u> 0,27...5,1	<u>1,74</u> 0,58...4,78	<u>2,40</u> 0,31...7,1	<u>3,1</u> 1,07...9,2	
Cd	<0,01	<u>0,02</u> <0,01...0,08	<u>0,12</u> 0,01...1,04	<u>0,06</u> 0,01...0,47	<u>0,01</u> 0,01...0,03	
Co	<0,01	<u>&lt;0,01</u> <0,01...0,02	< 0,01	<u>0,02</u> 0,01...0,07	<u>0,01</u> 0,01...0,03	
Ni	<u>0,37</u> 0,31...0,43	<u>0,37</u> <0,1...0,90	<u>0,28</u> <0,1...0,56	<u>0,51</u> <0,1...1,23	<u>0,44</u> <0,1...1,07	
Pb	<u>0,02</u> <0,01...0,04	<u>0,12</u> 0,01...0,52	<u>0,03</u> 0,01...0,27	<u>0,07</u> 0,03...0,09	<u>0,06</u> 0,03...0,09	
As	<u>0,42</u> 0,37...0,47	<u>0,28</u> 0,14...0,71	<u>0,16</u> 0,10...0,21	<u>0,38</u> 0,12...2,29	<u>0,18</u> 0,14...0,24	
Cr	< 0,01	<u>0,05</u> <0,01...0,44	<u>0,04</u> <0,01...0,39	<u>&lt;0,1</u> <0,01...0,47	<u>&lt;0,1</u> <0,01...0,65	
Mo	<u>0,04</u> <0,01...0,08	<u>0,14</u> <0,01...0,44	<u>0,08</u> <0,01...0,25	<u>0,14</u> <0,01...0,35	<u>0,13</u> <0,01...0,25	
Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<u>0,04</u> 0,03...0,05	<u>0,04</u> 0,03...0,05	
Se	<0,01	<u>0,08</u> <0,01...0,25	<u>0,07</u> <0,01...0,19	<u>0,23</u> 0,12...0,35	<u>0,18</u> 0,13...0,28	
V	0,04	<u>0,07</u> 0,02...0,32	<u>0,06</u> 0,01...0,09	<u>0,03</u> 0,02...0,06	<u>0,05</u> 0,02...0,15	
Элемент Element	Водоток/Watercourse					
	Завальный (10) Zavalny (10)	Могуча (2) Mogucha (2)	Встречный (10) Vstrechnyy (10)	Быстрый (1) Bystryy (1)	Студеный (1) Studenyy (1)	Таунга (1) Taunga (1)
Al	<u>3,2</u> 0,34...8,5	<u>5,0</u> 1,4...8,6	<u>10,9</u> 1,2...41,6	25,5	22,8	16,8
Fe	<u>30</u> 10–40	<u>45</u> 40–50	<u>26</u> 20–40	30	30	80
Mn	<u>0,62</u> <0,1...1,11	<u>0,74</u> 0,68...0,81	<u>0,81</u> <0,1...2,68	1,10	0,48	8,5
Ba	<u>6,1</u> 4,4...8,9	<u>18,1</u> 17,8...18,4	<u>4,2</u> 2,6...6,2	3,4	2,0	15,7
Zn	<u>14,5</u> 3,5...30,8	<u>21,6</u> 12,6...30,7	<u>16,1</u> 7,7...47,8	34,1	26,2	34,1
Cu	<u>2,40</u> 0,50...11,4	<u>0,93</u> 0,57...1,29	<u>2,60</u> 0,54...5,89	1,18	6,2	24,6
Cd	<u>0,02</u> 0,01...0,05	<u>0,03</u> 0,02...0,04	<u>0,03</u> 0,01...0,09	0,03	0,01	0,07
Co	<u>0,02</u> 0,01...0,03	0,01	<u>0,01</u> 0,01...0,03	<0,01	0,01	0,03
Ni	<u>0,48</u> <0,1...0,81	<u>0,90</u> 0,82...0,97	<u>0,41</u> <0,1...0,62	0,37	0,35	0,96
Pb	<u>0,09</u> 0,03...0,18	< 0,01	<u>0,15</u> <0,01...0,92	<0,01	0,29	<0,01
As	<u>0,20</u> 0,14...0,29	<u>0,17</u> 0,15...0,19	<u>0,19</u> 0,10...0,63	0,41	0,16	0,19
Cr	<u>&lt;0,1</u> <0,01...0,45	< 0,01	<u>0,07</u> <0,01...0,53	<0,01	<0,01	<0,01
Mo	<u>0,16</u> <0,01...0,29	<u>0,50</u> 0,28...0,72	<u>0,17</u> <0,01...0,54	0,12	0,06	0,22
Sb	<u>0,02</u> 0,03...0,03	< 0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Se	<u>0,21</u> 0,11...0,43	<u>0,30</u> 0,27...0,32	<u>0,09</u> 0,06...0,17	0,06	0,04	0,22
V	<u>0,05</u> 0,02...0,14	0,04	<u>0,06</u> 0,03...0,09	0,06	0,04	0,05

Наибольшая контрастность концентраций Al в воде левых и правых притоков отмечалась в мае 2011 г.: левые притоки – Завальный (0,34), Горелый-2 (1,29), Горелый-1 (3,3 мкг/л); правые притоки – Встречный (41,6), Мал. Эртукули (53,6 мкг/л). В горных районах поверхностно-склоновый сток формируется в основном в половодье весной, когда происходит вынос в реки микроэлементов, накопившихся в снежном покрове, позднее мобилизованных из почв по мере ее оттаивания.

В реках нижней части бассейна р. Анюй (Гобилли, Куптурку, Манома) содержание Al выше: 18,3 и 21,6 мкг/л средние значения в воде рр. Гобилли и Куптурку соответственно. Максимальная концентрация – 65,8 мкг/л – наблюдалась в воде р. Куптурку в мае 2011 г., как и в правых притоках р. Гобилли. При низких значениях цветности воды и содержания органического вещества в этих водотоках повышение содержания Al в весеннее половодье, очевидно, происходит за счет увеличения доли тонкодисперсного вещества в растворенной фракции и миграции в условно растворенной форме (фильтрат 0,45 мкм).

В водотоках равнинной заболоченной территории, сложенной вулканогенными породами, с нейтральной и слабокислой реакцией воды и высоким (до 49 мг О/л по величине ХПК) содержанием ОВ и цветностью воды до 130° (табл. 2) концентрации были максимальными. В отличие от горных рек содержание Al в воде рр. Эльман и Мухе возрастает от весны к осени при одновременном увеличении содержания ОВ и цветности воды, что свидетельствует о миграции Al в составе комплексных соединений с ОВ. Следует отметить, что высокие концентрации Al характерны для притоков р. Усури в ее нижнем течении [14], а также для горных рек, дренирующих базальты восточного Сихотэ-Алиня [15], Канады [20].

Барий в речные воды поступает преимущественно из природных источников. Высвобождающийся при выветривании он малоподвижен, поскольку легко осаждается в виде сульфатных и карбонатных солей, как крупный катион  $Ba^{2+}$  легко сорбируется глинистыми частицами и гидроксидами Fe и Mn. Средние концентрации Ba в воде малых рек в бассейне р. Анюй в основном менее 10 мкг/л, сравнимы со средними значениями для вод Амура (8,0...18,2 мкг/л) [18]. В районе рудопроявления олова «Мопау» содержание Ba в воде рр. Таунга и Могуча несколько выше – до 18 мкг/л. Временные колебания концентраций незначительные. Повышение содержания иногда отмечалось в период весеннего половодья в мае и со снижением уровней воды в ноябре.

Цинк попадает в природные воды при разрушении и растворении горных пород и минералов [5]. Цинк – энергичный водный мигрант. Большая часть цинка мигрирует в составе взвешенных частиц, во взвесах преобладает сорбированная форма. Концентрация растворенных форм Zn в малозагрязненных поверхностных водах суши в большинстве случаев находится в пределах от долей до единиц, редко десятков, микрограммов на литр. Небольшие количества отмечены во взвеси горных рек [5]. В гумидной зоне до-

минируют растворенные формы с высоким процентом незакомплексованных ионов  $Zn^{2+}$  [21].

Концентрации Zn в растворенной форме в воде малых рек бассейна р. Анюй варьировали от единиц (1,6 минимальное значение) до десятков (73,4 – максимальное) микрограммов на литр и сопоставимы со средними значениями в воде р. Амур в период открытого русла [18]. Средние концентрации изменялись в пределах 20–30 мкг/л, за исключением рр. Богбасу (5,6) и Бол. Эртукули (2,2 мкг/л). Низкие значения в последних двух водотоках могут быть обусловлены небольшим количеством образцов (n=2).

Широкая амплитуда колебания содержания Zn в большей степени характерна для рек горной части бассейна р. Анюй. Максимальные концентрации отмечались в отдельные годы в мае – до 52,4 мкг/л в воде руч. Забытый, чаще в дождевые паводки летом: в воде руч. Горелый-2 до 50,1, руч. Встречный до 47,8, р. Мал. Эртукули до 73,4 мкг/л. Минимальные значения были перед ледоставом в ноябре (табл. 3). Росту содержания Zn в условиях повышенной водности могло способствовать повышение содержания тонкодисперсного вещества в растворенной фракции за счет миграции в условно растворенной форме (фильтрат 0,45 мкм).

В водотоках равнинной заболоченной области концентрации Zn (11,0...13,4 средние и 15,3...18,6 мкг/л максимальные значения) в воде рр. Мухе, Эльмана ниже по сравнению с речными водами горных районов. Очевидно, в речных водах бассейна р. Анюй Zn мигрирует преимущественно в ионной форме и в форме его минеральных комплексов. Повышенные содержания, как и в горных реках, отмечались в весеннее половодье в мае и дождевые паводки, минимальные – в ноябре (табл. 3).

Разрушение горных пород – основной источник появления меди в природных водах. Наибольшее распространение характерно для соединений  $Cu^{2+}$ , имеющих высокую растворимость. Медь образует прочные комплексы со многими органическими веществами, причем их устойчивость намного выше, чем с другими металлами со степенью окисления +2. Полученные на основе расчетных методов результаты свидетельствуют, что при образовании в воде комплексов Cu с неорганическими и органическими лигандами преобладают комплексы с органическими соединениями, среди которых доминируют фульватные (87–98 %), неорганические комплексы Cu появляются лишь при pH>9,0 в небольшом количестве (до 40 %) [22].

Среднее содержание растворенных форм Cu в воде рек бассейна р. Анюй изменялось в основном в пределах 1–3 мкг/л. Максимальное значение (24,6 мкг/л) отмечалось в воде р. Таунга в районе рудопроявления «Мопау». Геологические особенности горных районов бассейна р. Анюй могли обусловить дополнительное поступление Cu в речные воды.

Повышение содержания и максимальные концентрации во всех водотоках отмечались в год с обильным выпадением атмосферных осадков (2013 г.) и последующую весну, в мае 2014 г. Слабощелочная pH

речных вод, возможно, способствует образованию неорганических комплексов Си.

Повышенное содержание Си характерно для рек равнинной заболоченной части бассейна. В воде р. Эльман средняя концентрация Си составила 5,21, максимальная – 9,27 мкг/л. Слабоокислая (6,0) и нейтральная (7,0) среда воды этих водотоков, наряду с высоким содержанием ОВ, увеличивают геохимическую подвижность тяжелых металлов за счет образования комплексов с ОВ, в основном фульватных.

Кадмий – рассеянный элемент, в основном содержится в большом числе минералов, прежде всего в сульфидах Zn, Си, Fe и др., после выщелачивания которых Cd появляется в природных водах. Миграция растворенных форм Cd осуществляется в основном в виде органоминеральных и минеральных комплексов, взвешенных – в виде сорбированных соединений.

Растворенный Cd в воде малых рек бассейна р. Анной составлял сотые мкг/л. Повышенные концентрации отмечались лишь в воде руч. Горелый-2 (до 0,47 мкг/л) и руч. Горелый-1 в августе и ноябре 2012 г. (до 1,04 мкг/л), т. е. были эпизодическими.

Никель относится к числу малораспространенных элементов, в природных водах появляется в микроскопических количествах в результате выветривания горных пород. В поверхностных водах соединения Ni могут находиться в растворенном, взвешенном и коллоидном состояниях. Наиболее распространены соединения Ni в степени окисления +2, соединения Ni<sup>3+</sup> образуются обычно в щелочной среде. Растворенные формы соединений Ni представляют комплексные ионы. В присутствии органических лигандов доминирует комплексообразование Ni с ними, причем наиболее существенный вклад вносят фульватные комплексы [23]. Несмотря на определенную роль в миграции Ni в виде растворенных форм, большая его часть переносится речными водами во взвеси.

Содержание растворенных форм Ni в воде рек бассейна р. Анной находится на уровне десятых долей микрограммов на литр. Повышенные до 1 мкг/л концентрации отмечались в реках, дренирующих рудопроявление «Мопан» и в воде рек равнинной заболоченной части бассейна. Повышенное содержание Ni по поперечному профилю р. Амур у Хабаровска преобладает в левобережной части с повышенным содержанием ОВ и высокой цветностью воды [18]. Для временных колебаний концентраций растворенного Ni характерно снижение иногда до значений <0,1 мкг/л в весеннее половодье в мае и повышение (максимальное значение 4,39 мкг/л в воде р. Куптурку) в условиях низкой водности в октябре–ноябре.

Кобальт в природных водах встречается реже, чем Ni, что можно объяснить меньшей его миграционной способностью и низким содержанием в горных породах [21]. Будучи слабым водным мигрантом, Со легко переходит в осадки, сорбируется гидроокисями марганца, глинами и другими высокодисперсными минералами. В растворенной форме Со мигрирует в основном с комплексными соединениями, в том числе с ОВ природных вод. Соотношение форм определяется составом, температурой и величиной рН водной среды.

Содержание растворенных форм Со в воде рек бассейна р. Анной низкое – в горных реках концентрации часто находятся ниже предела обнаружения или составляют сотые доли микрограммов на литр. Незначительное повышение содержания отмечалось в воде рек заболоченной части бассейна (табл. 3) за счет миграции в составе комплексов с ОВ.

Свинец – малораспространенный элемент, встречается в сульфидных рудах, растворение которых является одним из источников его появления в речных водах. Для Pb, как и для Al, Fe и Mn, характерно преобладание миграции во взвеси. В растворенной форме находится в виде минеральных и органоминеральных комплексов.

В воде рек бассейна Анной содержание растворенных форм Pb составляет сотые доли микрограмм на литр. В нижней части бассейна его концентрация в дождевые паводки повышалась до десятых долей микрограммов на литр, очевидно, из-за усиления роли тонкодисперсного вещества в растворенной фракции за счет миграции в условно растворенной форме (фильтрат 0,45 мкм).

Основной источник поступления Cr в речную сеть – выщелачивание горных пород, меньше из почв при разложении ОВ. Снижение содержания происходит за счет потребления водными организмами. В речных водах мигрирует в растворенной и взвешенной формах, причем переносится преимущественно во взвеси, сорбируясь на глинах и гидроокиси Fe [23]. В незагрязненных реках содержание растворенного Cr обычно колеблется от десятых долей до нескольких мкг/л. В бассейне р. Анной содержание растворенных форм Cr изменялось в небольших пределах, в основном было ниже предела обнаружения. Повышенные до 0,43–0,71 мкг/л концентрации отмечались во всех водотоках во время интенсивных дождей в конце июля 2014 г., что могло быть связано с увеличением количества тонкодисперсного вещества в растворенной фракции за счет миграции в условно растворенной форме (фильтрат 0,45 мкм).

Мышьяк – рассеянный элемент, в речную сеть поступает при выщелачивании горных пород в районах рудопроявлений и месторождений полиметаллов. Мигрирует в речных водах в растворенной и взвешенной формах. В растворенной форме соединения As встречаются в степени окисления As<sup>3+</sup> и As<sup>5+</sup>, главным образом в виде анионов.

Атмосферные осадки являются первым звеном в круговороте и накоплении As в поверхностных водах. По данным [24] содержание As в дождевых водах юга Дальнего Востока составляло 0,13...1,7 мкг/л, ниже было в снеговых водах (0,03...1,8 мкг/л).

Невысокие концентрации As (0,16...0,38 мкг/л средние значения) с узким интервалом колебания характерны для вод малых рек горной части бассейна р. Анной. Незначительное повышение содержания As иногда отмечалось в мае. Низкие концентрации As (0,11...0,22 мкг/л) наблюдались в воде рек заболоченных водосборов. В более крупных притоках (Куптурку, Гобилли и Богбасу) содержание As было выше – в пределах 1 мкг/л.

Мо содержится в небольших количествах, основным источником появления в воде рек является выщелачивание горных пород, содержащих Мо. Снижение содержания может быть обусловлено сорбцией на взвеси, выпадением в осадок трудно растворимых соединений и потреблением организмами.

В речных водах бассейна р. Анной концентрации растворенных форм Мо составляют десятые доли микрограммов на литр (средние значения). Интервал колебания – от значений ниже предела обнаружения в малых реках горной части бассейна до 1,25 мкг/л (максимальное значение) в воде р. Куптурку. Незначительное повышение содержания Мо отмечалось в горных реках в условиях низких уровней воды в ноябре, в реках нижней части бассейна концентрации Мо иногда возрастали весной в мае.

Сурьма поступает в водотоки за счет выщелачивания минералов Sb, находится в растворенной и взвешенной формах. Характерные для речных вод окислительно-восстановительные условия обуславливают существование как  $Sb^{3+}$ , так и  $Sb^{5+}$ . В воде рек бассейна р. Анной концентрации растворенных форм Sb находятся ниже предела обнаружения кроме руч. Горелый-2, Забытый и Завальный с пирогенной деградацией почв на водосборах после пожаров. В воде этих водотоков концентрации составляли сотые доли микрограммов на литр (табл. 3).

Ванадий – рассеянный элемент, в свободном виде в природе не встречается, максимальным содержанием характеризуются магматические породы. В поверхностных водах в окислительных условиях мигрирует в форме  $V^{5+}$ , образуя устойчивые анионные комплексы. Большое значение в миграции V принадлежит растворенным комплексным соединениям с ОВ, в основном с гумусовыми кислотами. Для речных вод бассейна р. Анной характерны низкие, сотые доли микрограммов на литр, концентрации соединений V. Повышение средних значений концентраций V до десятых долей микрограммов в литре наблюдалось в воде рек нижней заболоченной части бассейна. До трети растворенного V [13] переносится в виде тонкодисперсного вещества, возможно, связанного с коллоидными окислами Fe, как было отмечено в воде карельских рек с высоким содержанием железа [6].

Селен – рассеянный элемент, встречается в малых количествах, в магматических породах содержание редко превышает 0,05 мг/кг, в осадочных породах связан с глинистой фракцией [25]. В воде рек концентрации Se варьируют от десятых долей до нескольких микрограммов в литре, в окислительных условиях он находится в виде селенита или селената, формула которых определяется значением pH и наличием солей некоторых металлов, таких как железо. Селениты, образующиеся при окислительных процессах, стабильны, могут мигрировать до тех пор, пока не будут

адсорбированы минеральными или органическими частицами [25].

Содержание Se в воде малых рек Манома, Бол. Эртукули и др. в среднем изменялось от предела обнаружения до 0,23 мкг/л в р. Могуча. В районе рудопроявления «Мопау» содержание Se в воде рек было выше – 0,18...0,30 (средние значения), 0,43 мкг/дм<sup>3</sup> – максимальная концентрация. Меньше (0,12...0,17 мкг/л) содержалось Se в рр. Куптурку, Гобилли и Богбасу. Максимальные концентрации отмечались в большей степени в весеннее половодье в мае. В остальных водотоках концентрации Se были низкие – сотые доли микрограммов на литр, в отдельных реках ниже предела обнаружения (табл. 3).

#### Заключение

Природные и климатические условия района исследования обуславливают в основном невысокие уровни концентраций растворенных форм микроэлементов.

Повышенные содержания Fe, Mn, Ba, Zn, Cu, Ni, Se характерны для малых рек района рудопроявления олова «Мопау». Низкие концентрации растворенных форм металлов, сотые доли микрограммов на литр, наблюдались для Cd, Co, Pb, V (в горной части бассейна), в реках равнинной части бассейна содержание этих металлов было выше, очевидно, за счет усиления роли тонкодисперсного вещества в растворенной фракции. Десятые доли микрограммов на литр составляли концентрации Ni, As, Mo. Концентрации Sb и Cr в реках в бассейне р. Анной чаще были ниже предела обнаружения.

Широкая амплитуда колебания характерна для содержания Al и Zn. Временная изменчивость и пространственная неоднородность распределения содержания Al и Zn, очевидно, определялись значительной ролью тонкодисперсного вещества в растворенной фракции за счет миграции в условно растворенной форме, а также составом пород водосборной площади и степенью выветренности алюмосиликатных минералов. Отмечается влияние пирогенной деградации почвенного покрова в результате пожаров на сток отдельных микроэлементов Al, Zn, в отдельных случаях Cd.

Изменение ландшафтной структуры водосбора р. Анной и усиление роли заболоченных таежных ландшафтов в равнинной части бассейна обуславливают увеличение содержания ОВ, которые повышают геохимическую подвижность Fe, Mn, Cu, Ni, в меньшей степени Al, Co, V за счет миграции в составе комплексных соединений.

Учитывая, что химический состав вод малых рек в бассейне р. Анной формируется на малоосвоенной территории, полученные значения концентраций микроэлементов являются характеристикой природного геохимического регионального фона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – Т. 18. – Вып. 2. – 592 с.
2. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Многолетняя динамика химического состава вод таежных рек на гаях северного Си-

- хотэ-Алиня // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2017. – Т. 28. – № 2. – С. 56–70. DOI: 10.21513/0207-2564-2017-2-56-70
3. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Микроэлементы в поверхностных водах суши и особенности их водной миграции // Доклады академии наук. – 2005. – Т. 405. – № 3. – С. 395–400.



4. Hydrochemistry of Fe and Mn in small boreal streams: the role of seasonality, landscape type and scale / L. Björkvald, I. Buffam, H. Laudon, C.M. Mörth // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 2008. – V. 72. – P. 2789–2804.
5. Никаноров А.М. Гидрохимия. – Ростов-на-Дону: «НОК», 2008. – 462 с.
6. Pokrovsky O.S., Schott J. Iron colloids/organic matter associated transport of major and trace elements in small boreal rivers and their estuaries (NW Russia) / *Chemical Geology.* – 2002. – V. 190. – № 1–4. – P. 141–179.
7. Trace element transport in western Siberian across a permafrost gradient / O.S. Pokrovsky, R.M. Manasypov, S.V. Loiko, I.A. Krickov, S.G. Kopysov, L.G. Kolesnichenko, S.V. Volobuev, S.N. Kirpotin // *Biogeosciences.* – 2016. – V. 13. – P. 1877–1900. DOI: 10.5194/bg-13-1877-2016
8. Major and trace elements in suspended matter of western Siberian rivers: first assessment across permafrost zones and landscape parameters of watersheds / I.V. Krickov, A.G. Lim, R.M. Manasypov, S.V. Loiko, S.N. Vorobyev, O.S. Pokrovsky, V.P. Shevchenko, O.M. Dara, V.V. Gordeev // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 2020. – V. 269. – P. 429–450. DOI: 10.1016/j.gca.2019.11.005
9. Aquatic environment and anthropogenic factor effects on distribution of trace elements in surface waters of European Russia and western Siberia / T.I. Moiseenko, M.I. Dinu, N.A. Gashkina, T.A. Kremleva // *Environmental Research Letters.* – 2019. – V. 14. – № 6. – 065010.
10. Biogeochemical processes of iron and related elements in terrestrial ecosystem of Amur river / H. Shibata, M. Yoh, B. Ohji, Y. Guo, F. Shi, T. Cai, X. Xu, D. Wang, B. Yan, V.V. Shamov // *Rep. Amur Okhotsk Proj.* – 2007. – № 4. – P. 75–93.
11. Concentration and species of dissolved iron in waters in Sanjiang plain, China / B. Yan, B. Zhang, M. Yon, X. Pan // *Rep. Amur Okhotsk Proj.* – 2010. – № 6. – P. 183–194.
12. Seasonal variations of dissolved iron concentration in active layer and rivers in permafrost areas, Russian Far East / Yu. Tashiro, M. Yoh, T. Shiraiwa, T. Onishi, V. Shesterkin, V. Kim // *Water (Switzerland).* – 2020. – V. 12. – 2579. DOI: 10.3390/w12092579
13. Chudaeva V.A., Shesterkin V.P., Chudaev O.V. Trace elements in surface water in Amur River Basin // *Water Resources.* – 2011. – V. 38. – № 5. – P. 650–661.
14. Гидрохимический сток речных вод юга Хабаровского края в период летнего паводка / Г.Ю. Павлова, Е.А. Вах, П.Я. Тищенко, В.И. Петухов // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.* – 2020. – Т. 331. – № 3. – С. 61–71. DOI: 10.18799/24131830/2020/3/2532
15. Шестеркин В.П. Гидрохимия рек природного заказника «Тумнинский» // *Водное хозяйство России.* – 2018. – № 3. – С. 4–15.
16. Гордеев В.В. Геохимия системы река–море. – М.: ИП Матушкина И.И., 2012. – 452 с.
17. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in rivers waters // *Treasure on Geochemistry.* – Amsterdam: Elsevier Pergamon, 2004. – V. 5. – P. 225–272.
18. Space and time variations of the concentrations dissolved forms of microelements in Amur river water / N.M. Shesterkina, V.P. Shesterkin, V.S. Talovskaya, T.D. Ri // *Water Resources.* – 2020. – V. 47. – № 4. – P. 629–640. DOI: 10.1134/S0097807820020177
19. Гордеев В.В. Реки Российской Арктики: потоки осадочного материала с континента в океан // *Новые идеи в океанологии. Геология.* – М.: Наука, 2004. – Т. 2. – С. 113–167.
20. Trace metal geochemistry of remote rivers in the Canadian Arctic Archipelago / M. Colombo, K.A. Brown, K.J. Orians, J. de Vera, B.A. Bergquist // *Chemical Geology.* – 2019. – V. 525. – P. 479–491. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2019.08.006
21. Посохов Е.В. Общая гидрогеохимия. – Л.: Недра. 1975. – 207 с.
22. Гончарова Т.О., Колосов И.В., Каплин В.Т. О формах нахождения металлов в поверхностных водах // *Гидрохимические материалы.* – 1980. – Т. 77. – С. 16–26.
23. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Изд-во «Мир», 1989. – 439 с.
24. Chudaeva V.A., Yurchenko S.G., Chudaev O.V. Chemical composition of precipitation in the southern part of the Russian Far East // *Water Resources.* – 2008. – V. 35. – № 1. – P. 58–70. DOI: 10.1007/s11268-008-1007-9
25. Линник П.Н., Набиванец Б. И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 270 с.

Поступила 17.06.2022 г.

#### Информация об авторах

**Шестеркина Н.М.**, научный сотрудник лаборатории лаборатории гидроэкологии и биогеохимии Института водных и экологических проблем ДВО РАН.

**Шестеркин В.П.**, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, исполняющий обязанности заведующего лабораторией гидроэкологии и биогеохимии Института водных и экологических проблем ДВО РАН.

UDC 550.42

## TRACE ELEMENTS IN THE WATER OF SMALL RIVERS OF THE ANYU RIVER BASIN (WESTERN MACRO-SLOPE OF THE NORTHERN SIKHOTE-ALIN)

Nina M. Shesterkina<sup>1</sup>,  
shesterkina@ivep.as.khb.ru

Vladimir P. Shesterkin<sup>1</sup>,  
shesterkin@ivep.as.khb.ru

<sup>1</sup> Institute of Water and Environmental Problems, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
56, Dikopoltsev street, Khabarovsk, 680000, Russia.

**The relevance of the study lies in the need to assess the content of trace elements in the water of mountain-taiga rivers of the Amur region draining catchments with burnt areas after the catastrophic fires of 1998 and tin ore occurrences.**

**Objective:** to assess the content of trace elements in the water of small rivers of the Anyu River basin, to identify the factors determining their variability.

**Objects:** mountain-taiga watercourses in the Anyu River basin (right-bank tributary of the Lower Amur River).

**Methods:** filtration of water samples through membrane filters with a pore diameter of 0,45 μm by acidifying with nitric acid; determination of trace elements by inductively coupled plasma mass spectrometry at the ICP-MS Agilent 7500cx in the Center collective use at the IWEP RAS.

**Results.** The content of dissolved forms of trace elements in the water of taiga rivers of the Anyu River basin in 2011–2016 is characterized. The materials obtained allow us to estimate their values, temporal fluctuations and ratios in different sections of the basin. Increased concentrations of dissolved forms of Mn, Fe, Zn, Ba, Cu, Ni, Se associated with the geochemical features of the territory were found. It is shown that temporal fluctuations in the content are primarily determined by the hydrological situation in the watershed. The role of water-logged taiga landscapes in the plain part of the basin and the increase in the content of organic matter on increasing the geochemical mobility of Fe, Mn, Cu, Ni, to a lesser extent Co, Al, V due to migration as complex compounds with dissolved organic matter is noted.

### Key words:

Anyu river basin, northern Sikhote-Alin, taiga rivers, trace elements, spatial and temporal variability.

### REFERENCES

1. *Resursy poverhnostnykh vod SSSR* [Surface water resources of the USSR]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1970. Vol. 18, Iss. 2, 592 p.
2. Shesterkin V.P., Shesterkina N.M. Multi-year dynamics of the water chemical composition of the taiga rivers in the burned-out forest of the northern Sikhote Alin. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, 2017, vol. 28, no. 2, pp. 56–70. In Rus.
3. Moiseenko T.I., Gashkina N.A. Elements in the surface water and properties of its water migration. *Doklady akademii nauk*, 2005, vol. 405, no. 3, pp. 395–400. In Rus.
4. Björkvald L., Buffam I., Laudon H., Mörth C.M. Hydrochemistry of Fe and Mn in small boreal streams: the role of seasonality, landscape type and scale. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2008, vol. 72, pp. 2789–2804.
5. Nikanorov A.M. *Gidrokimiya* [Hydrochemistry]. Rostov-on-Don, NOK Publ., 2008. 462 p.
6. Pokrovsky O.S., Schott J. Iron colloids/organic matter associated transport of major and trace elements in small boreal rivers and their estuaries (NW Russia). *Chemical Geology*, 2002, vol. 190, no. 1–4, pp. 141–179.
7. Pokrovsky O.S., Manasypov R.M., Loiko S.V., Krickov I.A., Kopysov S.G., Kolesnichenko L.G., Volobyyev S.V., Kirpotin S.N. Trace element transport in western Siberian across a permafrost gradient. *Biogeosciences*, 2016, vol. 13, pp. 1877–1900.
8. Krickov I.V., Lim A.G., Manasypov R.M., Loiko S.V., Vorobyev S.N., Pokrovsky O.S., Shevchenko V.P., Dara O.M., Gordeev V.V. Major and trace elements in suspended matter of western Siberian rivers: first assessment across permafrost zones and landscape parameters of watersheds. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2020, vol. 269, pp. 429–450.
9. Moiseenko T.I., Dinu M.I., Gashkina N.A., Kremleva T.A. Aquatic environment and anthropogenic factor effects on distribution of trace elements in surface waters of European Russia and western Siberia. *Environmental Research Letters*, 2019, vol. 14, no. 6, 065010.
10. Shibata H., Yoh M., Ohji B., Guo Y., Shi F., Cai T., Xu X., Wang D., Yan B., Shamov V.V. Biogeochemical processes of iron and related elements in terrestrial ecosystem of Amur river. *Rep. Amur Okhotsk Pro.*, 2007, no. 4, pp. 75–93.
11. Yan B., Zhang B., Yon M., Pan X. Concentration and species of dissolved iron in waters in Sanjiang plain, China. *Rep. Amur Okhotsk Proj.*, 2010, no. 6, pp. 183–194.
12. Tashiro Yu., Yoh M., Shiraiwa T., Onishi T., Shesterkin V., Kim V. Seasonal variations of dissolved iron concentration in active layer and rivers in permafrost areas, Russian Far East. *Water (Switzerland)*, 2020, vol. 12, 2579.
13. Chudaeva V.A., Shesterkin V.P., Chudaev O.V. Trace elements in surface water in Amur River Basin. *Water Resources*, 2011, vol. 38, no. 5, pp. 650–661.
14. Pavlova G.Yu., Vah E.A., Tishchenko P.Ya., Petuhov V.I. Hydrochemical discharge of river waters of southern Khabarovsk region in the period of summer high water. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2020, vol. 331, no. 3, pp. 61–71. In Rus.
15. Shesterkin V.P. Hydrochemistry of the «Tuminskiy» nature reserve river. *Water sector of Russia: problems, technologies, management*, 2018, no. 3, pp. 4–15. Rus.
16. Gordeev V.V. *Geokhimiya sistemy reka-more* [Geochemistry of the river-sea system]. Moscow, Matushkina Publ., 2012. 452 p.
17. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. *Trace elements in rivers waters. Treasure on Geochemistry*. Amsterdam, Elsevier Pergamon, 2004. Vol. 5, pp. 225–272.
18. Shesterkina N.M., Shesterkin V.P., Talovskaya V.S., Ri T.D. Space and time variations of the concentrations dissolved forms of microelements in Amur river water. *Water Resources*, 2020, vol. 47, no. 4, pp. 629–640.
19. Gordeev V.V. Reki Rossiyskoy Arktiki: potoki osadochnogo materiala s kontinenta v okean [Rivers of the Russian Arctic: flows of sedimentary material from the continent to the ocean]. *Novye idei v okeanologii. Geologiya* [New ideas in oceanology. Geology]. Moscow, Nauka Publ., 2004. Vol. 2, pp. 113–167.

20. Colombo M., Brown K.A., Orians K.J., De Vera J., Bergquist B.A. Trace metal geochemistry of remote rivers in the Canadian Arctic Archipelago. *Chemical Geology*, 2019, vol. 525, pp. 479–491.
21. Posokhov E.V. *Obshchaya gidrogeokhimiya* [General hydrogeochemistry]. Leningrad, Nedra Publ., 1975. 207 p.
22. Goncharova T.O., Kolosov I.V., Kaplin V.T. O formakh nakhozhdeniya metallov v poverhnostnykh vodakh [On the forms of finding metals in surface waters]. *Gidrokhimicheskie materialy*, 1980, vol. 77, pp. 16–26.
23. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Trace elements in soils and plants]. Moscow, Peace Publ., 1989. 439 p.
24. Chudaeva V.A., Yurchenko S.G., Chudaev O.V. Chemical composition of precipitation in the southern part of the Russian Far East. *Water Resources*, 2008, vol. 35, no. 1, pp. 58–70.
25. Linnik P.N., Nabivanets B.I. *Formy migratsii metallov v presnykh poverkhnostnykh vodakh* [Forms of metal migration in fresh surface waters]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986. 270 p.

Received: 17 June 2022.

#### Information about the authors

**Nina M. Shesterkina**, researcher, Institute of Water and Environmental Problems, Far East Branch, Russian Academy of Sciences.

**Vladimir P. Shesterkin**, Cand. Sc., leading researcher, acting head of the Laboratory of Hydroecology and Biogeochemistry, Institute for Water and Environmental Problems of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences.