

УДК 504.064.36:543

DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-8-16-28

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ЧЕГЕМСКОГО УЩЕЛЬЯ

MICROELEMENTS IN THE SURFACE WATERS OF THE CHEGEM GORGE



X. -М. М. Газзев,
Кабардино-Балкарский
высокогорный
государственный
заповедник, Кабардино-
Балкарская Республика,
п. Кашхатау
eleonora_agoeva@mail.ru



А. Б. Итмиев,
Кабардино-Балкарский
государственный
аграрный университет
им. В. М. Коккова,
Кабардино-Балкарская
Республика, г. Нальчик
eleonora_agoeva@mail.ru



М. А. Газзев,
Кабардино-Балкарский
государственный
Высокогорный заповедник,
Кабардино-Балкарская
Республика,
п. Кашхатау
eleonora_agoeva@mail.ru



Э. А. Агоева,
Кабардино-Балкарский
высокогорный
государственный
заповедник, Кабардино-
Балкарская Республика,
п. Кашхатау
eleonora_agoeva@mail.ru

X. -M. M. Gazyayev,
Kabardino-Balkar Mining
National Nature Reserve,
Kabardino-Balkarian
Republic, Kaskhkhatay
village

A. Itmiev,
Kabardino-Balkarian
State Agrarian University
named after V. M. Kokova,
Kabardino-Balkarian
Republic, Nalchik

M. Gazyayev,
Kabardino-Balkaria
Mining National Nature
Reserve, Kabardino-
Balkarian Republic,
Kaskhkhatay village

E. Agoeva,
Kabardino-Balkar Mining
National Nature Reserve,
Kabardino-Balkarian
Republic, Kaskhkhatay
village

Отмечено, что микроэлементный состав высокогорных водосборов Кавказа отличается повышенным содержанием микроэлементов, причиной чего является распространённость в их бассейнах рудопесных пород весьма разнообразного литологического состава и возраста, от древнейших (докембрийских) до новейших (четвертичных). Объектом исследований в 2015 г. стала р. Чегем ледникового происхождения в период зимней межени и летнего половодья. Проведённые исследования актуальны, так как р. Чегем является одним из водных объектов р. Терек, относящейся к речному бассейну Каспийского моря. Исходной фоновой точкой отбора проб послужил левый исток р. Чегем — р. Башиль-Лузусу, на высоте 1800 м над у. м., а замыкающий створ находился на 47 км нижнего течения — у с. Хунтосырт. Изучен состав поверхностных вод на содержание микроэлементов Zn, Mn, Cu, Ag, Ni, Cr, Pb, Cd. Исследования состава вод проводились методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией. Определён список главенствующих микроэлементов, к которым относятся Zn, Mn, Cu, Ni.

Выявлено, что загрязнение речных вод микроэлементами в верховье р. Чегем имеет природный геохимический и геоморфологический фон, что связано с их вымыванием из горных пород. Содержание микроэлементов в водах реки характеризуется пространственно-временной изменчивостью. Установлено, что для зимней межени микроэлементная нагрузка на реку выше, в отличие от летнего половодья, что связано со сменой источников питания с подземного более минерализованного на ледниковое.

Определено, что по экологическим классам качества поверхностных вод суши исследуемые воды классифицированы как чистые и очень чистые. Также выявлены фоновые концентрации определяемых микроэлементов, дальнейшее использование которых позволит разработать региональные предельно допустимые концентрации ($ПДК_{\text{рег}}$)

Ключевые слова: высокогорье Кавказа; ледниковая река; водный режим; макро- и микроэлементы; геология; геохимический фон; геоморфологический фон; предельно допустимые концентрации; загрязнение; Чегемское ущелье

The authors have noted that the microelement composition of the high-mountainous watersheds of the Caucasus is characterized by a high content of trace elements, the reason for which is the abundance of ore-bearing rocks of very diverse lithologic composition and age, from the oldest (Precambrian) to the newest (Quaternary) rocks in their basins. The object of research in 2015 was the river of glacial origin — Chegem, during the winter intergeneration and summer high water. The conducted researches are actual, as the river Chegem is one of the water objects of the river Terek, which belongs to the river basin of the Caspian Sea. The initial background sampling point was the left source of the Chegem river Bashil-Auzusu, which is located at an altitude of 1800 m above sea level, and the closing flank was 47 km downstream — near the village of Khushtosyrt. The composition of surface waters for the content of trace elements Zn, Mn, Cu, Ag, Ni, Cr, Pb, Cd was studied. The water composition studies were carried out by atomic absorption spectrometry with electrothermal atomization, during which a list of the main microelements was determined, including Zn, Mn, Cu, Ni.

It was revealed that the pollution of river waters with microelements in the upper reaches of the river Chegem has natural geochemical and geomorphological background, which is associated with the washing out of rocks. The content of microelements in the waters of the river is characterized by spatio-temporal variability. It was revealed that for the winter intergeneration the microelement load on the river is higher, in contrast to the summer flood, which is connected with the change of power sources from the underground more mineralized to the glacial one.

It is determined that according to ecological classes of surface water quality of land the investigated waters are classified as clean and very clean. Also, background concentrations of trace elements detected, the further use of which will allow the development of regional maximum permissible concentrations (MPC_{reg})

Key words: highlands of the Caucasus; glacial river; water regime; macro- and microelements; geology; geochemical background; geomorphological background; maximum permissible concentrations; pollution; Chegem gorge

Введение. Ввиду того, что в природе вода является универсальным растворителем, она связывает между собой все части биосферы, создавая условия для миграции химических соединений.

Изучению водной миграции химических элементов в геохимии придается большое значение, т. к. главной чертой всех циклических процессов миграции в географической оболочке (от глобальных до ограниченных элементарным ландшафтом) является их незамкнутость. Поэтому элементы, освободившиеся из одного цикла посредством водной миграции, могут связывать серию элементарных ландшафтов, расположенных на последовательно понижающихся уровнях рельефа. При этом процессы внутри ландшафтной миграции химических элементов на наиболее возвышенных участках рельефа совершаются сравнительно независимо от окружающей местности, поэтому такие элементарные ландшафты называются автономными. Вынесенные из них химические элементы включаются в циклические процессы, протекающие в нижерасположенных ландшафтах, которые называются геохимически подчиненными. Таким

образом, экологически значимые и ценные свойства ландшафта и его природный потенциал (потенциалы устойчивости, ресурсный и экологический) имеют большое значение для экологической оценки территории.

Степень чистоты поверхностных вод — это важнейший показатель качества среды обитания. Среди загрязнителей биосферы, представляющих наибольший интерес для различных служб контроля ее качества являются микроэлементы, что в значительной мере связано с биологической активностью многих из них.

Физиологическое воздействие микроэлементов на организм человека и животных различно, т. к. одни крайне необходимы для человека и других живых организмов (биогенные элементы), а другие вызывают противоположный эффект и, попадая в живой организм, приводят к его отравлению или гибели (ксенобиотики). Таким образом, специалистами по охране окружающей среды выделена приоритетная группа микроэлементов-токсикантов как наиболее опасных для здоровья человека и животных. В неё входят кадмий, медь, мышьяк, никель, ртуть, свинец, цинк и хром, из которых

ртуть, свинец и кадмий являются наиболее токсичными.

Известно, что высокогорные водосборы снежно-ледникового питания не подвержены прямому антропогенному влиянию, и формирование макро- и микроэлементного состава вод происходит естественным образом, т. е. путем их вымывания из горных пород, что обуславливает пространственно-временное различие в составе вод [3–5].

В геологическом строении Центрального Кавказа принимают участие породы весьма разнообразного литологического состава и возраста от древнейших (докембрийских) до новейших (четвертичных). Главный Кавказский хребет (ГКХ) сложен кристаллическими сланцами и гнейсами

нижнего и среднего палеозоя и гранитами. Боковой хребет сложен юрскими отложениями глинистых сланцев с прослойками песчаника и сланцев [1; 6].

На северном склоне Центрального Кавказа в пределах ГКХ и Бокового хребтов, на высоте 2050 м над у. м. формируются два истока р. Чегем – р. Башиль-Аузусу (западная часть) и р. Гара-Аузусу (восточная часть). Образуя далее высокогорную часть, р. Чегем первые 7 км своего русла проложила по территории Кабардино-Балкарского высокогорного государственно-заповедника (КБГВЗ). Морфометрические данные р. Чегем представлены в табл. 1 [10; 14].

Таблица 1 / Table 1

Морфометрические данные р. Чегем / Morphometric data of the river Chegem

Длина, км / Length, km	Средний уклон реки, ‰ / Mean slope of the river, ‰	Средняя высота водосбора, м / Average height of catchment, m	Площадь водосбора бассейна, км ² / Basin catchment area, km ²	Протяжённость, км, в пределах ООПТ * / Length, km, within SPNT*	Площадь, га, в пределах ООПТ * / Area, ha, within SPNT*
103	28	2250	931	8,0	7200

*Особо охраняемая природная территория – Кабардино-Балкарский высокогорный государственный заповедник (КБГВЗ) / *Specially preserved natural territory (SPNT).

Характерной особенностью горной области Большого Кавказа является современное оледенение, распределение которого крайне не равномерно. Наибольшая площадь оледенения приходится на Центральную часть, являющуюся самой высокой на Большом Кавказе, из которой на северный склон приходится 70,0 % оледенения, а на южный – 30,0 %, что объясняется орографическими особенностями и метелевым переносом снега западными ветрами за барьер Водораздельного хребта. Многие вершины Водораздельного и Бокового хребтов поднимаются более чем на 5 000 м над у. м. абсолютной высоты (Эльбрус, Шхара, Дых-Тау, Коштан-Тау, Казбек, Джанги-Тау) и являются очагами оледенения. Около 15 вершин превосходят высшую гору Западной Европы Монблан

(4810 м над у. м). Вершины Эльбруса и Казбека представляют конусы потухших вулканов, насаженные на массивы Бокового хребта.

Влияние ледников на природные процессы, особенно на режим стока рек, климатические условия, растительность распространяется по всей территории Северного Кавказа. Климат Кавказа весьма разнообразен, что объясняется, прежде всего, влиянием рельефа. Кавказ расположен на границе умеренного и субтропического климатических поясов, и существующие между ними различия усиливаются горами Большого Кавказа, затрудняющими перенос холодных воздушных масс с севера в Закавказье и тёплых – с юга в Предкавказье. Северный Кавказ относится к умеренному поясу, Закавказье – к субтро-

пическому. Вместе с тем рельеф местности обуславливает и высотную зональность климата. Распределение среднего годового стока на территории Кавказа соответствует распределению годовых сумм атмосферных осадков. Сток увеличивается по мере увеличения высоты местности и в направлении с востока на запад [8; 10; 12; 14]. По данным Б. Д. Зайкова, водный режим р. Чегем паводкового типа, что и объясняет неравномерность в распределении стока реки в течение года. Так, наивысший уровень воды в реке наблюдается в теплый период года, а минимальный – соответствует осенне-зимнему времени года [7]. Таким образом, климатические условия над водосборной сетью и водный режим рек взаимосвязаны, в результате чего наблюдается различие в химическом составе вод в разные фазы водного режима рек, что и подтверждают данные исследования.

Однако огромное влияние на высокогорные водосборы оказывается со стороны изменения климата на планете, которое выражается в повышении такого параметра, как температура приземного слоя атмосферы. В результате данного процесса происходит сокращение объёмов криосферы [2; 3; 15]. Например, площадь оледенения на северном склоне Большого Кавказа сократилась на 41,7 %, на южном – на 32,1 %. На фоне данного процесса пресная вода переходит в разряд стратегически важного ресурса, качество которой не всегда соответствует принятым нормам.

Особенно велика роль климата, являющегося одной из главных причин и движущих

сил процессов выветривания горных пород и минералов.

Материалы и методы исследования. В 2015 г. сотрудниками заповедника проведены исследования микроэлементного состава речных вод Чегемского ущелья на содержание Zn, Mn, Cu, Ag, Ni, Cr, Pb, Cd. *Объектом исследования* стала высокогорная река с подземным и ледниково-снежным и питанием – р. Чегем, в период зимней межени и летнего половодья. Также представлены данные по макросоставу вод р. Чегем. Перетекая по разным геоморфологическим зонам – из высокогорной в равнинную – воды р. Чегем впадают в Каспийское море, снабжая, таким образом, поверхностными водами всю западную часть Кабардино-Балкарской Республики. Следовательно, знание состава вод с точки зрения содержания приоритетных загрязняющих веществ, к которым относятся микроэлементы, является также актуальным с точки зрения влияния на окружающую среду в целом и здоровье человека.

Целью исследования является сравнение пространственно-временной изменчивости концентраций микроэлементов в водах р. Чегем в высокогорной и горной ее частях. Исходной фоновой точкой послужил левый исток р. Чегем – р. Башиль-Аузусу, замыкающий створ находится на 47 км нижнего течения, у с. Хуштосырт (табл. 2). Исследования позволили выявить фоновые концентрации определяемых микроэлементов. Проведение долгосрочного мониторинга позволит в дальнейшем разработать региональные предельно допустимые концентрации (ПДК_{пер}).

Таблица 2 / Table 2

Пункты отбора проб / Sampling points

Пункт отбора / Selection point	Водный объект / Water object	Расстояние, км / высота над уровнем моря, м / Distance, km / height above sea level, m	Местоположение пункта отбора / Location: point of selection
1	р. Башиль-Аузусу	0 / 1800	Левый исток р. Чегем
2	р. Чегем	6,0 / 1600	После слияния двух истоков р. Чегем
3	р. Чегем	47 / 900	Нижнее течение, с. Хуштосырт

Ввиду того, что подход, основанный на санитарно-гигиенических требованиях к качеству окружающей среды, является главным, нами проведена экологическая оценка района исследования с точки зрения превышения предельно допустимой концентрации (ПДК) по существующим

нормам и критериям для поверхностных и питьевых вод. Результаты исследований представлены в табл. 3 и на рис. 1-2. Измерения концентраций микроэлементов проводились методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией [13].

Таблица 3 / Table 3

Содержание микроэлементов в водах р. Черем / Content of microelements in the waters of the river Chegem

Микроэлемент / Microelement	Пункт отбора / Sampling points	*ФВР / w. Ph.	Содержание, мкг/л / Concentration, mkg / l	Кларк вес, % [6] / Clark degree, % [6]	Среднее фоновое содержание по Беляковой и Бродскому [1] / Average background content for Belyakova and Brodsky [1]	Фоновое содержание в подземных водах по Резнику [1] / Background content in ground water according to Reznik [1]	Соержание по сан. норме, мг/л* / Contents according to Health Standards, mg/l *	ПДК.в., мг/л** / MACs.w., mg/l **
Mn	1	ЗМ*	5,41	1,0·10 ⁻¹	1,0·10 ⁻² 3,3·10 ⁻²	n·10 ⁻⁴	0,10	0,01
		ЛП*	29,05					
	2	ЗМ	3,36					
		ЛП	2,41					
	3	ЗМ	6,74					
		ЛП	16,31					
Zn	1	ЗМ	77,37	1,0- 2,0·10 ⁻²				0,01
		ЛП	18,87					
	2	ЗМ	25,24					
		ЛП	7,10					
	3	ЗМ	26,91					
		ЛП	8,01					
Cu	1	ЗМ	7,88	4,7·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³ 3,8·10 ⁻³	n·10 ⁻⁴		0,001
		ЛП	1,37					
	2	ЗМ	6,22					
		ЛП	1,86					
	3	ЗМ	3,35					
		ЛП	6,32					
Ag	1	ЗМ	0,55	7,3·10 ⁻⁶	3,0·10 ⁻⁴ 2,6·10 ⁻⁵	n·10 ⁻⁴		0,001
		ЛП	0,36					
	2	ЗМ	0,97					
		ЛП	0,84					
	3	ЗМ	0					
		ЛП	0,14					
Pb	1	ЗМ	1,44	1,6·10 ⁻³ 5,0·10 ⁻⁴	2,4·10 ⁻³	n·10 ⁻⁴	0,03	0,006
		ЛП	1,20					
	2	ЗМ	0					
		ЛП	1,51					
	3	ЗМ	0					
		ЛП	1,43					

Окончание табл. 3

Ni	1	ЗМ	1,38	5,8·10 ⁻³	4,0·10 ⁻³ 1,6·10 ⁻³	n·10 ⁻⁴	0,02	0,010
		ЛП	1,55					
	2	ЗМ	2,10					
		ЛП	1,89					
	3	ЗМ	1,66					
		ЛП	1,42					
Cr	1	ЗМ	3,25	8,3·10 ⁻³	1,3·10 ⁻³ 4,0·10 ⁻⁴	n·10 ⁻⁴	0,05	0,020
		ЛП	1,03					
	2	ЗМ	0,98					
		ЛП	1,38					
	3	ЗМ	0,94					
		ЛП	0,55					
Cd	1	ЗМ	0,070	1,3·10 ⁻⁵	3,0·10 ⁻⁵	n·10 ⁻⁴	0,001	0,001
		ЛП	0,082					
	2	ЗМ	0,066					
		ЛП	0,064					
	3	ЗМ	0,164					
		ЛП	0,136					

*ФВР – фаза водного режима / water phase; ЗМ – зимняя межень / winter low water; ЛП – летнее половодье / summer high water.

ПДК_{н.в.} – предельно допустимая концентрация в поверхностных водах / MPC – maximum permissible concentration in surface waters.

*СанПиН 2. 1.4. 1175-02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников (взамен СанПиН 2. 1.4. 544-96) / SanPiN 2. 1.4. 1175-02. Hygienic requirements for water quality of non-centralized water supply. Sanitary protection of sources (instead of SanPiN 2. 1.4. 544-96).

**СанПиН 2. 1.5.980-00. «Гигиенические требования к охране поверхностных вод санитарные правила и нормы». 2000. 13 с. / SanPin 2. 1.5.980-00. Hygienic requirements for protection of surface water sanitary rules and norms. 2000. 13 p.

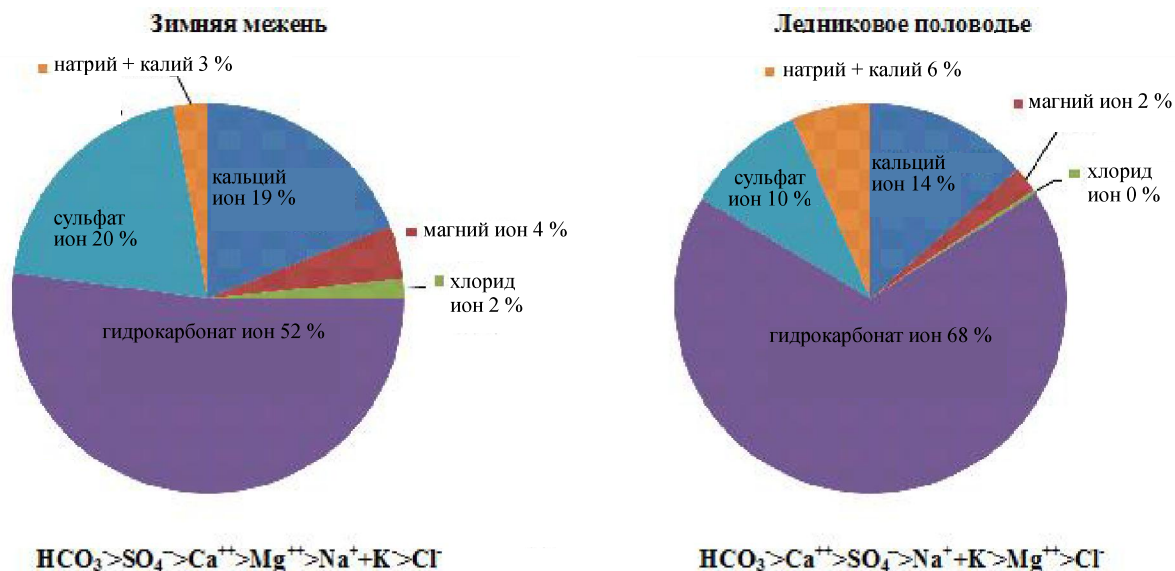
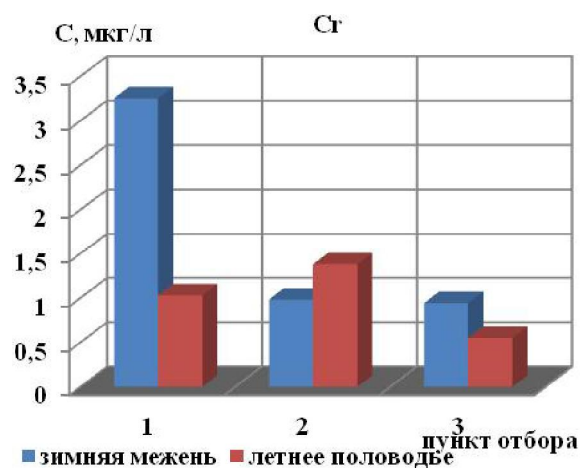
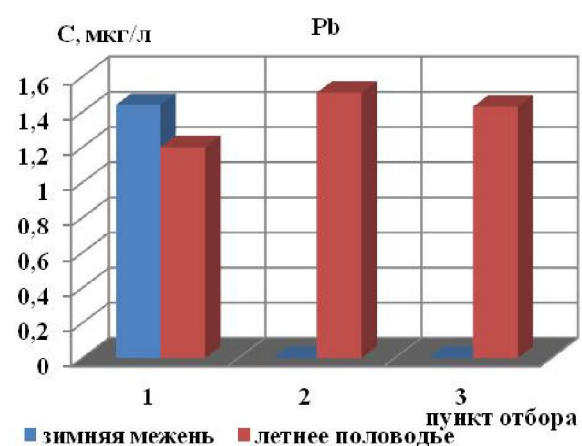
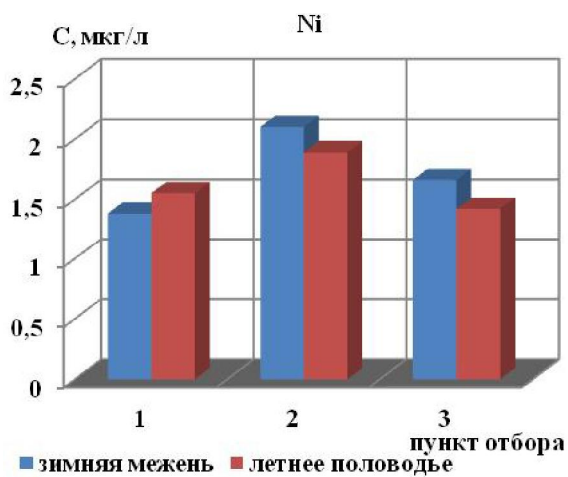
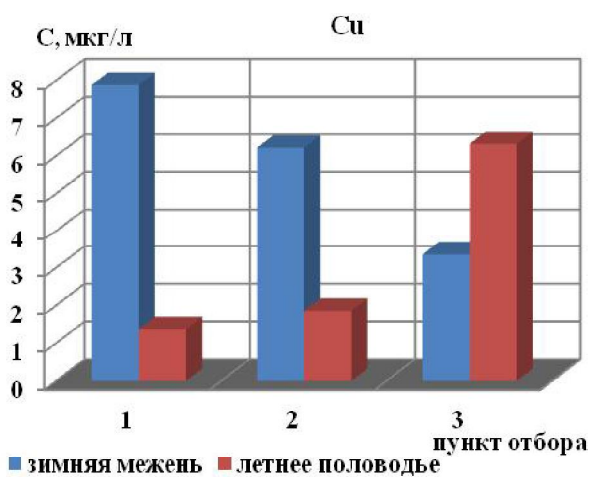
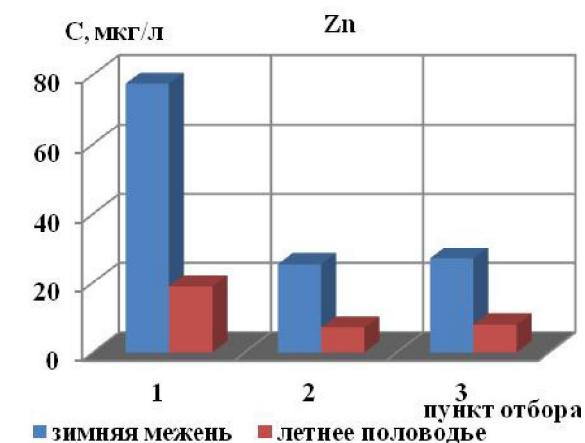
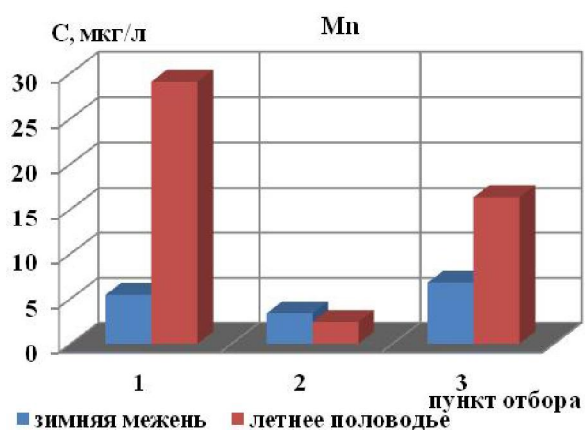


Рис. 1. Вклад главных ионов в величину минерализации р. Чегем / Fig. 1. Contribution of the main ions into the mineralization size



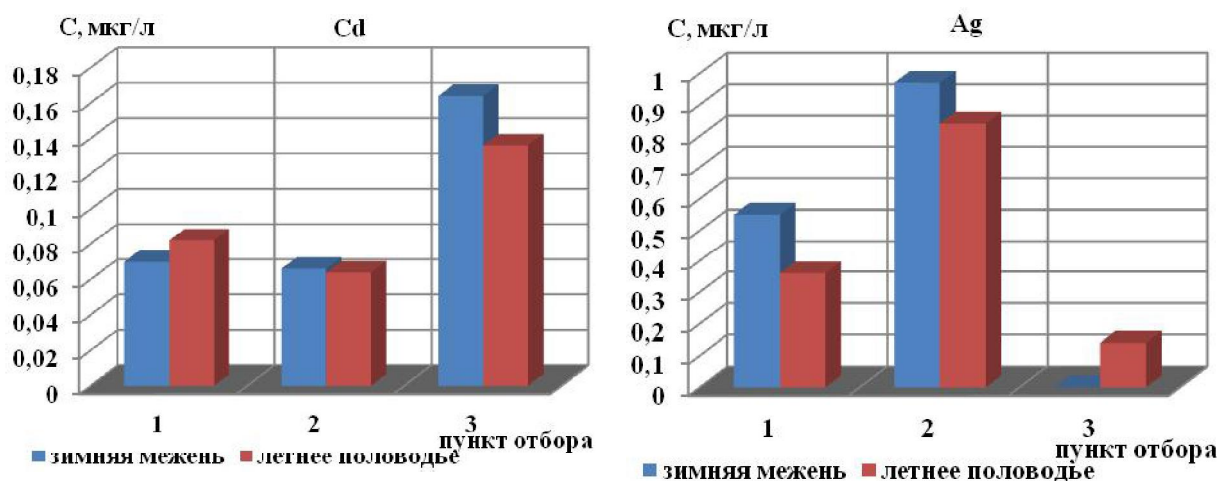


Рис. 2. Уровни содержания микроэлементов в водах р. Чегем /
 Fig. 2. Levels of microelements in the waters of the river Chegem

Ледники Большого Кавказа играют важную роль в питании рек равнинных областей, для которых характерно половодье в теплую часть года, и являются источниками питания рек западной части Кабардино-Балкарской Республики. Река Чегем является левым притоком р. Терек и впадает в Каспийское море. С начала 80-х гг. XX в. и по настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к повышению суммарного содержания микроэлементов в Азовском и Каспийском морях. Таким образом, знание состава вод высокогорных водосборов является актуальным ввиду того, что определение макро- и микросостава вод позволяет проводить природоохранные мероприятия окружающей среды и здоровья населения. Также знание состава вод в разные фазы водного режима рек и времени года необходимо для оценки возможности их использования для различных целей народного хозяйства.

Результаты исследования и их обсуждение. Величина pH в исследуемых водах носит щелочной характер, увеличиваясь от истока к устью в пределах 8,05...8,45 ед. pH в период зимней межени и 7,82...8,44 ед. pH – в период летнего половодья. Приблизённые значения величины pH исследуемой реки позволяют говорить о ледниковом питании реки. Увеличение величины pH связано с насыщением

исследуемых вод макро- и микроэлементами при перетекании по разным геоморфологическим зонам, что приводит и к повышению величины минерализации.

Согласно классификации О. А. Алёкина, исследуемые воды гидрокарбонатно-кальциевые (рис. 1). Для них характерны минимальные значения величины минерализации, напрямую зависящие от фазы водного режима реки и изменяющиеся в пространственно-временном направлении. Так, величина минерализации имеет тенденцию к убыванию в период летнего половодья, т. е. с ростом расходов воды, когда основным видом питания рек являются высокогорные снега и ледники, которые разбавляют водоток, и увеличением в период зимней межени, связанным с малым расходом воды на реке и питанием подземными, более минерализованными водами. Минерализация воды в меженный период является тем пределом, которого могут достигнуть воды реки в самый неблагоприятный для своего качества период.

Так, величина минерализации увеличивается от истока к устью: в зимнюю межень – 74,62...210,07 мг/л, а в половодье – 51,92...120,02 мг/л. Как видно, величина минерализации у замыкающего створа в зимнюю межень почти в два раза выше, чем в половодье, что связано, как отмечалось ранее, с переходом реки на подземное

питание и степень насыщения вод макро- и микроэлементами по мере перетекания из высокогорной в горную зоны.

Согласно рис. 1, на котором отображён вклад главных ионов в величину минерализации и тип вод р. Чегем, при сохранении гидрокарбонатно-кальциевого состава речной воды в зимнюю межень и ледниковое половодье соотношение между главными ионами изменяется вслед за сменой преобладающих источников питания реки и остаётся достаточно постоянным, немного подрастая в зимнюю межень. Доля гидрокарбонат-ионов в зимнюю межень составляет 52 %, в половодье — 68 %, кальций-ионов — 19 и 14 % соответственно. Минимальное значение характерно для хлорид-ионов и колеблется от 0 до 2 %.

Также в исследуемых водах р. Чегем определены все три формы минерального азота: NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , содержание которых много ниже ПДК_{п.в.}, и по экологическому классу качества поверхностных вод относятся к первому классу (очень чистые) [9]. Схематично закономерность соотношения соединений азота в водах р. Чегем можно выразить следующим образом: $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_2^-$.

Согласно табл. 3 и рис. 2, наблюдается пространственно-временное изменение концентраций микроэлементов в водах р. Чегем.

Цинк широко распространен в природе. Поступление цинка, как и других микроэлементов, в природные воды связано с протекающими процессами выветривания горных пород и минералов, и его содержание зависит от значений pH вод, т. е. чем оно ниже, тем выше концентрация цинка.

Цинк занимает первое место по своему содержанию в исследуемых водах зимней межени. Его концентрация от истока к устью изменяется от 77,37 до 26,91 мкг/л, т. е. отмечается снижение содержания в 2,9 раза. В половодье также наблюдается снижение концентрации по ходу реки в 2,35 раза — 18,87...8,01 мкг/л. Временное изменение содержания цинка характеризуется его повышенным содержанием в межень по сравнению с половодьем в 3,8 раза,

что связано с переходом реки на подземный тип питания. Таким образом, при значении ПДК_{п.в.}, равном 10, выявлены превышения. Так, в межень максимальные превышения ПДК_{п.в.} составляли 7,4, а в половодье — 1,9 раз.

Марганец. Основным источником его поступления являются железомарганцевые руды. Содержание марганца в растворённой форме определяется количеством взвешенных веществ. Особенно чётко эта связь прослеживается для рек, в которых количество взвешенных веществ увеличивается в период половодья, что и подтверждают данные исследования. Среди взвешенных форм марганца чаще встречаются трудно-растворимые оксиды: карбонаты, силикаты [1; 6; 8].

Марганец занимает второе место по своему содержанию в исследуемых водах летнего половодья. Пространственное изменение концентраций марганца в межень характеризуется увеличением в 1,25 раза в зимнюю межень и снижением в 1,78 раза в половодье. Временное изменение содержания марганца характеризуется его повышенным значением в половодье по сравнению с меженью в 3,1 раза. При значении ПДК_{п.в.}, равном 10, дважды отмечаются превышения в межень и половодье в 2,9 и 1,6 раз соответственно.

Медь. Количество меди в водах лимитируется величиной pH. Поэтому в водах, имеющих нейтральную или близкую к нейтральной реакцию, содержание меди выражается весьма малыми величинами. Повышенные и высокие её содержания наблюдаются лишь в близости меднорудных месторождений [Там же].

Медь в исследуемых водах занимает третье место по своему содержанию в летнее половодье. Концентрация меди от истока к устью изменяется от 7,88 до 3,35 мкг/л, т. е. снижается в 2,35 раза. В половодье наблюдается иная картина, т. е. увеличение концентрации вниз по ходу реки в 4,6 раза — 1,37...6,32 мкг/л. Суммарное содержание меди в межень и половодье составляет 17,45 и 9,55 мкг/л соответственно, т. е. содержание меди в

зимнюю межень в 1,8 раза выше, чем в половодье. При значении ПДК_{п.в.}, равном 10, дважды отмечаются превышения в межень и половодье в 2,9 и 1,6 раз соответственно.

Никель — малораспространённый элемент. В природе встречается в соединениях с мышьяком или серой в виде минералов: купферникель, железоникелевый колчедан, мышьяково-никелевый блеск. Среди факторов, определяющих пространственное распространение никеля, большое значение имеет состав пород и почв, химико-биологические процессы, динамика водных масс [1; 6; 8]. Содержание никеля во взвешенных формах значительно возрастает с увеличением мутности воды. Существенную роль при этом играют мелкозернистые глинистые частицы (пелитовая фракция взвесей), которые переносят около 29 % никеля из общего содержания взвешенных форм, равного 43 %.

В исследуемых водах никель по своему содержанию (как в межень, так и в половодье) занимает четвёртое место, суммарное содержание которого составляет 5,14 и 4,86 мкг/л соответственно. Пространственное изменение содержания характеризуется повышением в 1,2 раза в межень и снижением в 1,1 раза в половодье. Превышений ПДК_{п.в.} не выявлено.

Хром — основное соединение хрома — хромистый железняк. Одним из факторов, лимитирующих растворимость хрома в поверхностных водах суши, является хромит (FeCr_2O_4). Удаление хрома из воды происходит также вследствие адсорбции Cr^{3+} на поверхности взвешенных частиц [Там же].

Изменение содержания в пространстве характеризуется снижением как в межень, так и в половодье от 3,25 до 0,94 мкг/л и от 1,03 до 0,55 мкг/л соответственно, т. е. в межень и половодье концентрация хрома по ходу реки снижается в 3,46 и 1,87 раз соответственно. Временное изменение содержания хрома характеризуется повышенным его значением в межень по сравнению с половодьем и составляет 5,17 и 2,96 мкг/л соответственно. Превышений ПДК_{п.в.} не отмечено.

Свинец относится к числу малораспространённых элементов. В природе встречается в виде эндо- и экзогенных минералов. В природе свинец концентрируется в сульфидных породах, встречается в виде галенита, англезита и других минералов. Свинец обнаруживает положительную корреляцию с мутностью рек и при понижении величины рН от 7,60 до 6,80 ед. рН концентрация Pb увеличивается в 2,74 раза [Там же].

Содержание свинца в исследуемых водах отличается неоднозначным поведением. Так, однократно отмечена концентрация свинца у истока в межень, равная 1,44 мкг/л. В половодье во всех пунктах отбора выявлены концентрации, изменяющиеся от 1,20 до 1,43 мкг/л, т. е. наблюдается увеличение концентрации в пространстве в 1,2 раза. Временное изменение концентрации свинца характеризуется увеличением в половодье в 2,87 раза по сравнению с меженью. Превышений ПДК_{п.в.} не отмечено.

Серебро занимает предпоследнее место в списке определённых микроэлементов в период летнего половодья. Пространственное изменение содержания серебра в период зимней межени характеризуется понижением от 0,55 до 0 мкг/л, немного увеличивается на 6 км до 0,97 мкг/л. В период половодья содержание серебра снижается от истока к устью от 0,36 до 0,14 мкг/л. Концентрация серебра во втором пункте отбора составляет 0,84 мкг/л. Временное изменение содержания серебра в межень составляет 1,52 мкг/л, а в половодье — 1,34 мкг/л. Превышений ПДК_{п.в.} не отмечено.

Кадмий — типичный рассеянный элемент. Его основной минерал — гринокит (CdS). Одним из источников его поступления является выщелачивание полиметаллических и медных руд. Взвешенные формы в миграции кадмия играют менее важную роль по сравнению со многими другими металлами. Доказано, что значительная часть кадмия способна адсорбироваться на поверхности глинистых частиц, причём количество адсорбированного металла возрастает с повышением рН [Там же].

По своему содержанию кадмий занимает последнее место в исследуемых водах как в межень, так и в половодье. Содержание кадмия в исследуемых водах характеризуется увеличением от истока к устью как в межень, так и в половодье в 2,34 и 1,66 раз соответственно. Суммарное содержание кадмия в межень составляет 0,3 мкг/л, а в половодье — 0,28 мкг/л.

Выводы. 1. Согласно проведенным исследованиям, содержание микроэлементов в водах р. Чегем характеризуется пространственно-временной неоднородностью и определяется влиянием разных типов питания в водном балансе.

2. Полученные данные указывают на то, что суммарная микроэлементная нагрузка на природные воды в период зимней межени составляет 176,02 мкг/л, летнего половодья — 104,9 мкг/л. Схематично ряд микроэлементов по средним значениям имеет следующий вид, мкг/л:

зимняя межень

$$\frac{Zn}{43.16} > \frac{Cu}{5.82} > \frac{Mn}{5.17} > \frac{Ni}{1.71} > \frac{Cr}{1.72} > \frac{Ag}{0.51} > \frac{Pb}{0.49} > \frac{Cd}{0.1}$$

летнее половодье

$$\frac{Mn}{16.0} > \frac{Zn}{11.3} > \frac{Cu}{3.18} > \frac{Ni}{1.62} > \frac{Pb}{1.38} > \frac{Cr}{0.99} > \frac{Ag}{0.45} > \frac{Cd}{0.093}$$

3. Экологические классы качества поверхностных вод суши характеризуют исследуемые воды в период зимней межени и летнего половодья по содержанию макро- и микроэлементов как чистые и очень чистые [9].

4. Установлено, что превышения ПДК_{п.в.} по микроэлементам в высокогорной и горной областях имеют природный геохимический и геоморфологический фон, что связано с их вымыванием из горных пород.

5. Интенсивность процессов выветривания горных пород напрямую зависит от температуры воздуха, при этом внутрисезонные колебания температуры приземного слоя атмосферы приводят к смене фаз водного режима высокогорных рек ледникового питания и тем самым влияют на содержание микроэлементов в водах.

При осуществлении мониторинга суперэкоотоксикантов, к которым относятся в том числе и некоторые микроэлементы, оценка загрязнения и разработка методических подходов для выяснения их влияния на природную среду и человека должны проводиться на международном уровне, т. к. для определения этих веществ в природных объектах и биотканях необходимы согласованные действия и высокая квалификация специалистов-аналитиков всего мира. При мониторинге суперэкоотоксикантов нельзя ограничиваться только констатацией фактов загрязнения, следует дать ответы на вопросы об источниках, составе загрязняющих веществ, путях попадания в окружающую среду, динамике изменения концентраций в организме человека, т. е. составить представление о степени экологической опасности и обстановки.

Список литературы

1. Беус А. А., Грабовская Л. И., Тихонова П. В. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1976. 248 с.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменении климата и последствиях на территории Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.voeikovmgo.ru/download/2014/od/od2.pdf> (дата обращения: 14.05.2018).
3. Газаев М. А., Агоева Э. А., Газаев Х.-М. М., Иттиев А. Б. Влияние изменения климата на гидролого-гидрохимический режим высокогорной реки Черек-Безенгийский // Проблемы региональной экологии. 2015. № 1. С. 36–43.
4. Газаев М. А., Агоева Э. А., Газаев М. М., Жинжакова Л. З. Исследование содержания микроэлементов в водах летнего паводка реки Черек-Безенгийский // Известия КБНЦ РАН. 2013. № 4. С. 82–86.
5. Газаев М. А., Агоева Э. А., Жинжакова Л. З., Иттиев А. Б. Исследование макрокомпонентного состава вод высокогорной реки Чегем // Вода: химия и экология. 2014. № 11. С. 115–122.
6. Геология СССР. Т. 9. Северный Кавказ. Гл. ред. А. В. Сидоренко. М.: Недра, 1968. 760 с.
7. Зайков Б. Д. Средний сток и его распределение в году на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1946. 148 с.
8. Линник П. Н., Набиванец Б. И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 270 с.

9. Нежиховский Р. А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 228 с.
10. Панов В. Д. Ледники бассейна реки Терек. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 296 с.
11. Панов В. Д. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8. Северный Кавказ. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 93 с.
12. ПНД Ф 14.1:2.253-09. Методика выполнения измерений массовых концентраций Al, Ba, Be, V, Fe, Cd, Co, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Sn, Pb, Se, Sr, Ti, Cr, Zn в природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектроскопии, «МГА-915». М., 2009.
13. Резников А. А., Муликовская Е. П., Соколов И. Ю. Методы анализа природных вод. М.: Недра, 1970. С. 448 с.
14. Climate change. 2013. The physical science basis. Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change / Ed. T. F. Stocker, Dahe Qin [etc.]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1552 p.
15. IPCC, 2014 c: change 2014: impact, adaptation and vulnerability. Part B: regional aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change / V. R. Barros, C. B. Field [etc.]. Cambridge: Cambridge University Press, 688 p.

References

1. Beus A. A., Grabovskaya L. I., Tikhonova N. V. *Geohimiya okruzhayushchey sredy* (Environmental Geochemistry). Moscow: Nedra, 1976. 248 p.
2. *Vtoroy otsenochny doklad Rosgidrometa ob izmenenii klimata i posledstviyah na territorii Rossiyskoy Federatsii* (The second assessment report of Roshydromet on climate change and consequences on the territory of the Russian Federation). Available at: <http://www.voicovmgo.ru/download/2014/od/od2.pdf> (Date of access: 14.05.2018).
3. Gazaev M. A., Agoeva E. A., Gazaev Kh.-M. M., Ittiev A. B. *Problemy regionalnoy ekologii* (Problems of regional ecology), 2015, no. 1, pp. 36–43.
4. Gazaev M. A., Agoeva E. A., Gazaev M. M., Zhinzhakova L. *Izvestiya KBNC RAN Problemy regionalnoy ekologii* (News of KBNTS RAS), 2013, no. 4, pp. 82–86.
5. Gazaev M. A., Agoeva E. A., Zhinzhakova L. Z., Ittiev A. B. *Voda: himiya i ekologiya* (Water: chemistry and ecology), 2014, no. 11, pp. 115–122.
6. *Geologiya SSSR. T. 9. Severny Kavkaz* (Geology of the USSR. Vol. 9. North Caucasus; Ed. A. V. Sidorenko. Moscow: Nedra, 1968. 760 p.
7. Zaikov B. D. *Sredniy stok i ego raspredelenie v godu na territorii SSSR* (Average runoff and its distribution per year in the USSR). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1946. 148 p.
8. Linnik P. N., Nabivanets B. I. *Formy migratsii metallov v presnykh poverhnostnykh vodakh* (Forms of metal migration in fresh surface waters). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986. 270 p.
9. Nezhikovskiy R. A. *Gidrologo-ekologicheskie osnovy vodnogo hozyaystva* (Hydrological and ecological foundations of water management). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990. 228 p.
10. Panov V. D. *Ledniki basseyna reki Terek* (Glaciers of the Terek River Basin). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971. 296 p.
11. Panov V. D. *Resursy poverhnostnykh vod SSSR. T. 8. Severny Kavkaz* (Surface water resources of the USSR. vol. 8. The North Caucasus). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973. 93 p.
12. *PND F 14.1:2.253-09. Metodika vypolneniya izmereniy massovykh kontsentratsiy Al, Ba, Be, V, Fe, Cd, Co, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Sn, Pb, Se, Sr, Ti, Cr, Zn v prirodnykh i stochnykh vodakh metodom atomno-absorbcionnoy spektroskopii "MGA-915"* (PND F 14.1: 2.253-09. Methods for measuring mass concentrations of Al, Ba, Be, V, Fe, Cd, Co, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Sn, Pb, Se, Sr, Ti, Cr, Zn in natural and waste waters using the method atomic absorption spectroscopy "MGA-915"). Moscow, 2009.
13. Reznikov A. A., Mulikovskaya E. P., Sokolov I. Yu. *Metody analiza prirodnykh vod* (Natural Water Analysis Methods). Moscow: Nedra, 1970. 448 p.
14. *Climate change. 2013. The physical science basis. Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (Climate change. 2013. The physical science basis. Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change) / Ed. T. F. Stocker, Dahe Qin [etc.]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1552 p.
15. *IPCC, 2014 c: change 2014: impact, adaptation and vulnerability. Part B: regional aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (IPCC, 2014 c: change 2014: impact, adaptation and vulnerability. Part B: regional aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change); V. R. Barros, C. B. Field [etc.]. Cambridge: Cambridge University Press, 688 p.

Коротко об авторах

Газаев Хаджи-Мурат Мухтарович, директор, Кабардино-Балкарский высокогорный государственный природный заповедник, п. Кашхатау, Кабардино-Балкарская Республика. Область научных интересов: гидрология высокогорий Кавказа
eleonora_agoeva@mail.ru

Иттиев Абдуллах Биякаевич, канд. хим. наук, доцент кафедры технологии продуктов общественного питания и химии, Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В. М. Кокова, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика. Область научных интересов: высокомолекулярные соединения, термостойкие полиимиды
eleonora_agoeva@mail.ru

Газаев Мухтар Алиевич, д-р хим. наук, профессор, Кабардино-Балкарский высокогорный государственный природный заповедник, п. Кашхатау, Кабардино-Балкарская Республика. Область научных интересов: гидрология высокогорий Кавказа, комплексная переработка лекарственного сырья, создание пищевых продуктов, обладающих диетическими и лечебными свойствами на основе лекарственного сырья высокогорья Кавказа; изучение вопросов геронтологии с точки зрения клеточной терапии
eleonora_agoeva@mail.ru

Агоева Элеонора Анатольевна, научный сотрудник, Кабардино-Балкарский высокогорный государственный природный заповедник, п. Кашхатау, Кабардино-Балкарская Республика. Область научных интересов: гидрология высокогорий Кавказа, комплексная переработка лекарственного сырья, создание пищевых продуктов, обладающих диетическими и лечебными свойствами на основе лекарственного сырья высокогорья Кавказа
eleonora_agoeva@mail.ru

Briefly about the authors

Hadzhi-Murat Gazeaev, director, Kabardino-Balkar Mining National Nature Reserve, Kaskhatau village, Kabardino-Balkarian Republic. Sphere of scientific interests: hydrology of the highlands of the Caucasus

Abdullah Ittiev, candidate of chemical sciences, associate professor, Technology of Food Products and Chemistry department, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokova, Nalchik, Russia. Sphere of scientific interests: high-molecular compounds, heat-resistant polyimides

Mukhtar Gazeaev, doctor of chemical sciences, professor, Kabardino-Balkaria Mining National Nature Reserve, Kaskhatau village, Kabardino-Balkarian Republic. Sphere of scientific interests: hydrology of high mountains of the Caucasus, complex processing of medicinal raw materials, creation of food products with dietary and medicinal properties based on medicinal raw materials from the highlands of the Caucasus; study of gerontology issues from the point of view of cell therapy

Eleonora Agoeva, senior researcher, Kabardino-Balkar Mining National Nature Reserve, Kaskhatau village, Kabardino-Balkarian Republic. Sphere of scientific interests: hydrology of high mountains of the Caucasus, complex processing of medicinal raw materials, creation of food products that have dietary and medicinal properties based on medical raw materials of the high mountains of the Caucasus

Образец цитирования

Газаев Х.-М. М., Иттиев А. Б., Газаев М. А., Агоева Э. А. Микроэлементы в поверхностных водах Чегемского ущелья // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2018. Т. 24. № 8. С. 16–28. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-8-16-28.

Gazeaev Kh.-M., Ittiev A., Gazeaev M., Agoeva E. Microelements in the surface waters of the Chegem gorge // Transbaikalian State University Journal, 2018, vol. 24, no. 8, pp. 16–28. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-8-16-28.

Статья поступила в редакцию: 03.05.2018 г.
Статья принята к публикации: 10.10.2018 г.