

СТАТЬИ

УДК 502.51

DOI 10.17513/use.38098

**ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ И МИГРАЦИИ МЕДИ
В ВОДЕ РЕК ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА****Атабиева Ф.А., Отарова А.С.***ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: atabieva0812@mail.ru*

Уровень содержания тяжелых металлов, являющихся веществами двойного генезиса, отражает особенности химического состава воды рек водосборных бассейнов. Поэтому знание концентраций тяжелых металлов в определенных водосборных бассейнах имеет большое значение при экологическом нормировании, так как отражает региональные особенности уровня содержания их в воде. В статье представлены данные по уровню содержания и миграции соединений меди в воде рек Центрального Кавказа (Малка, Баксан, Чегем, Урух, Терек, Нальчик, Куркужин, Лескен, Шалушка, Урвань). Измерения минерализации воды указанных рек проводились в среднем и нижнем течении с использованием портативного кондуктометра HANNA HI 991300. В стационарных условиях во всех отобранных пробах атомно-абсорбционным методом с использованием спектрометра с электротермической атомизацией «МГА-915М» определены концентрации растворенных форм соединений меди. Данные получены в ходе полевых исследований, проведенных в 2022 г. На основании полученных данных по минерализации воды рек и концентрации растворенных форм меди определены коэффициенты водной миграции. В воде рек с преобладанием ледникового питания значения коэффициента водной миграции изменяются в пределах от 0,20 до 0,58. Диапазон изменчивости коэффициента водной миграции в воде рек с преобладанием грунтового питания колеблется от 0,13 до 0,54. Вниз по течению коэффициент водной миграции уменьшается, что, очевидно, связано с изменением концентрации соединений меди и величины минерализации.

Ключевые слова: реки Центрального Кавказа, соединения меди, минерализация, коэффициент водной миграции

**INVESTIGATION OF THE LEVEL OF COPPER CONTENT AND MIGRATION
IN THE WATER OF THE RIVERS OF THE CENTRAL CAUCASUS****Atabieva F.A., Otarova A.S.***High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: atabieva0812@mail.ru*

The level of heavy metals, which are substances of dual genesis, reflects the peculiarities of the chemical composition of the water of the rivers of the catchment basins. Therefore, knowledge of the concentrations of heavy metals in certain catchment areas is of great importance in environmental regulation, as it reflects the regional characteristics of the level of their content in water. The article presents data on the level of content and migration of copper compounds in the water of the rivers of the Central Caucasus (Malka, Baksan, Chegem, Uruk, Terek, Nalchik, Kurkuzhin Lesken, Shalushka, Urvan). Measurements of the salinity of the water of these rivers were carried out in the middle and lower reaches using a portable conductometer HANNA HI 991300. In stationary conditions, concentrations of dissolved forms of copper compounds were determined in all samples taken by atomic absorption method using an electrothermal atomization spectrometer "MGA-915M". The data were obtained during field studies conducted in 2022. Based on the data obtained on the mineralization of river water and the concentration of dissolved forms of copper, the coefficients of water migration were determined. In the water of rivers with a predominance of glacial nutrition, the values of the coefficient of water migration vary from 0.20 to 0.58. The range of variability of the coefficient of water migration in the water of rivers with a predominance of ground nutrition ranges from 0.13 to 0.54. Downstream, the coefficient of water migration decreases, which is obviously due to changes in the concentration of copper compounds and the amount of mineralization.

Keywords: rivers of the Central Caucasus, copper compounds, mineralization, coefficient of water migration

В поверхностных водных объектах наиболее распространенными тяжелыми металлами являются Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, Pb и их соли [1]. Уровень содержания тяжелых металлов, являющихся веществами двойного генезиса, отражает особенности химического состава воды рек водосборных бассейнов [2].

Знание этих особенностей имеет большое значение при экологическом нормировании, так как отражает региональные особенности уровня содержания их в воде. Истоки исследуемых рек Малка, Баксан, Чегем, Урух, Терек расположены в ледни-

ках Главного Кавказского и Бокового хребтов. Истоки рек Нальчик, Куркужин, Лескен, Шалушка, Урвань – на северных склонах Пастбищного и Лесистого хребтов [3]. На Главном Кавказском и Боковом хребтах почвообразующими породами чаще всего выступают продукты выветривания гранитоидов. В Скалистом и Меловом хребтах чаще всего представлены известняки [4]. Территория характеризуется высотной поясностью, которая способствует процессам выветривания и выщелачивания. В результате выщелачивания поверхностными

и подземными водами пород водосборных бассейнов происходит формирование определенного химического состава воды рек, часто с уровнем содержания соединений металлов, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК).

На уровень содержания растворимых форм тяжелых металлов и миграционные процессы в природных водах оказывают влияние такие факторы, как сезонность [5, 6], минерализация воды, температурный режим, кислотно-основные условия (рН) [7, 8].

Целью исследования является формирование представления о региональных особенностях уровня содержания соединений меди и интенсивности их миграции в воде рек Центрального Кавказа.

Результаты этих исследований могут быть основой для сравнительного анализа и прогнозирования поведения соединений меди в водотоках, подверженных антропогенному воздействию.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются р. Терек, Урух, Малка, Баксан, Черек, Чегем,

Нальчик, Куркужин, Лескен, Шалушка и Урвань. В Терек впадают р. Малка (Балык-Су), Урух, Лескен в 409, 453, 448 км от устья по левому берегу соответственно. Река Баксан (Азау) впадает в Малку в 26 км от устья по правому берегу. Реки Черек, Чегем впадают в Баксан в 6,1 и 33 км от устья по правому берегу соответственно [9]. У истоков в летний период р. Баксан, Малка, Терек, Чегем, Черек, Урух (рис. 1) имеют ледниковое питание, вниз по течению тип питания меняется. Пастбищный и Лесистый хребты значительно ниже Главного Кавказского хребта и не имеют современного оледенения. Поэтому в р. Нальчик, Лескен, Шалушка, Урвань, Куркужин, расположенных на северных склонах Пастбищного (Мелового) и Лесистого хребтов (рис. 1), преобладает подземное и грунтовое питание. Отбор проб воды проводится ежегодно сотрудниками испытательного лабораторного центра Высокогорного геофизического института при проведении полевых работ вдоль северного склона центральной части Большого Кавказа в постоянных створах (табл. 1).

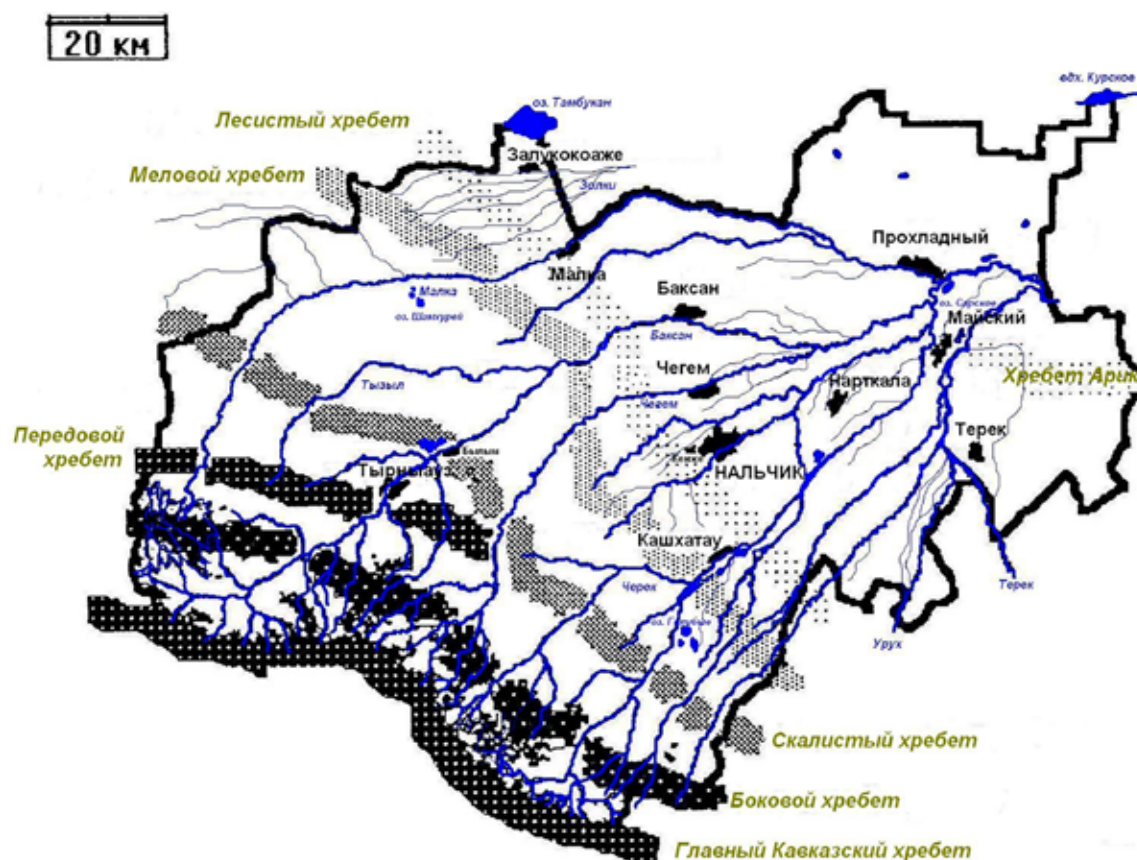


Рис. 1. Карта-схема хребтов северного склона Центрального Кавказа

Таблица 1

Пункты отбора проб воды рек
Центрального Кавказа, 2022 год

Водный объект	Расстояние от истока, км	Пункт отбора
1	2	3
Р. Малка	88	С. Малка
	190	Г. Прохладный
Р. Куркужин	40	С. Куба-Таба
	64	С. Карагач
Р. Баксан	100	С. Исламей
	169	Г. Прохладный
Р. Чегем	68	С. Лечинкай
	87	Г. Чегем-2
Р. Шалушка	20	С. Шалушка
	34	Пост ДПС, сады
Р. Нальчик	30	Г. Нальчик
	43	С. Нартан
Р. Урвань	15	Ост. «27 км ж.-д.»
	44	С. Ново-Ивановское
Р. Черек	54	Г. Кашхатау
	112	П. Октябрьский
Р. Лескен	38	С. Лескен
	61	Ст. Александровская
Р. Урух	76	С. Урух
	105	Ст. Александровская
Р. Терек	151	С. Эльхотово
	230	С. Хамидие

Створ I для каждой реки располагается в предгорной зоне (среднее течение), а створ II – в равнинной части (нижнее течение). Высота водосборов в среднем те-

чении составляет 700 м над уровнем моря, в нижнем течении – 200 м. В 2022 г. отборы проб воды проведены 7 раз (в зимнюю межень, во время половодья – на подъеме, пике и спаде; при прохождении дождевого паводка и осенью) [3].

При отборе проб воды фиксируются температура воздуха, воды, прозрачность, водородный показатель и минерализация. Концентрацию растворенных форм соединений меди определяли атомно-абсорбционным спектрометром «МГА-915М» по методике «ПНД Ф 14.1:2.253-09. Измерение минерализации, электропроводности и водородного показателя проводили с использованием портативного кондуктометра HANNA (HI 991300).

Результаты исследования и их обсуждение

Соединения меди относятся к веществам двойного генезиса, т.е. содержащиеся в воде за счет как естественных, так и антропогенных факторов.

Как в воде рек с преимущественно ледниковым питанием (рис. 2), так и в воде рек с преобладанием грунтового питания (рис. 3) концентрации меди достигают максимума в марте и мае. Концентрации, отмеченные в феврале и июле, значительно ниже осенне-весенних значений.

Следует отметить, что выше створов I для рек с преобладанием ледникового питания отсутствуют промышленные и сельскохозяйственные предприятия и небольшие населенные пункты единичны, за исключением пункта р. Баксан – с. Исламей. В верховьях реки расположены Тырныаузский горно-обогагательный комбинат (давно консервирован) и хвостохранилище.

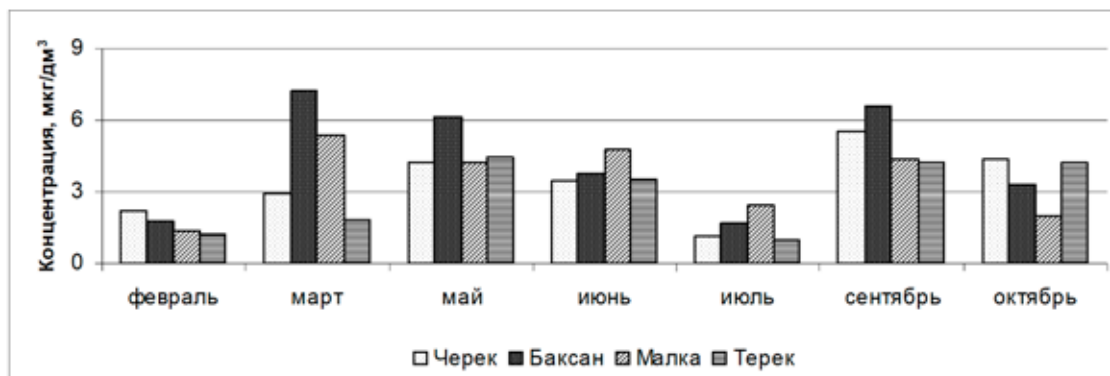


Рис. 2. Концентрация меди в реках с преимущественно ледниковым питанием в среднем течении

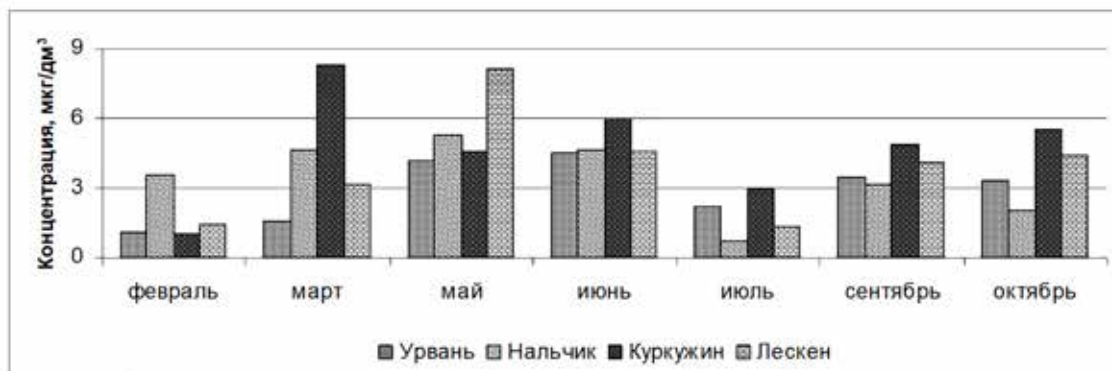


Рис. 3. Концентрация меди в реках с преимущественно грунтовым питанием в среднем течении

В основном промышленных источников загрязнения не имеется, сельскохозяйственные предприятия отсутствуют, населенные пункты единичны, но концентрации меди во всех пунктах отбора превышают ПДК для рыбохозяйственных водоемов (табл. 2), что свидетельствует о природном происхождении меди в воде исследуемых рек.

В воде рек с преобладанием ледникового питания (Малка, Чегем, Черек, Урух, Баксан и Терек) (табл. 2) вниз по течению наблюдается увеличение концентраций меди, за исключением р. Баксан и Терек, в воде которых концентрация уменьшается незначительно: от 3,43 до 3,27 мкг/дм³ и от 2,70 до 2,37 мкг/дм³ соответственно.

В воде рек с преобладанием грунтового питания (Нальчик, Лескен, Шалушка, Урвань, Куркужин) – уменьшение, за исключением р. Нальчик, где концентрация меди незначительно повысилась – от 3,04 до 3,48 мкг/дм³. Возможно, в воде ледниковых рек миграция меди происходит более интенсивно, чем в воде рек с преобладанием грунтового питания, в которых, очевидно, происходит осаждение взвешенного материала и аккумуляция его в донных отложениях. Для определения интенсивности водной миграции меди по уравнению Перельмана [10, с. 97] был рассчитан коэффициент водной миграции (K_M) (табл. 2 и 3).

Таблица 2

Средние значения концентраций меди, диапазоны изменчивости, минерализация и коэффициент миграции в воде рек с преобладанием ледникового питания в среднем и нижнем течении в 2022 году

Среднее течение				Нижнее течение			
X_{cp} , мг/дм ³	$X_{min}-X_{max}$, мкг/дм ³	M_{cp} , мг/дм ³	$K_{мигр}$	X_{cp} , мг/дм ³	$X_{min}-X_{max}$, мкг/дм ³	M_{cp} , мг/дм ³	$K_{мигр}$
р. Чегем							
0,00208	0,10–3,96	157,9	0,28	0,00327	0,75–5,72	156	0,45
р. Урух							
0,00275	0,95–5,23	101,4	0,58	0,00329	0,69–6,36	183	0,38
р. Баксан							
0,00343	1,27–6,14	239,6	0,30	0,00327	0,84–7,25	222,4	0,31
р. Черек							
0,00246	0,47–4,22	229,1	0,23	0,00334	1,15–5,55	250,6	0,29
р. Малка							
0,00287	1,08–4,36	303	0,20	0,00315	0,66–5,38	238,7	0,29
р. Терек							
0,00270	1,0–4,47	211	0,27	0,00237	0,63–4,24	231,1	0,22

Примечание: жирным шрифтом выделено превышение ПДК.

Таблица 3

Средние значения концентраций меди, диапазоны изменчивости, минерализация и коэффициент водной миграции в воде рек с преобладанием грунтового питания в среднем и нижнем течениях в 2022 году

Среднее течение				Нижнее течение			
$X_{\text{ср}}$, мг/дм ³	$X_{\text{min}}-X_{\text{max}}$, мкг/дм ³	$M_{\text{ср}}$, мг/дм ³	$K_{\text{мигр}}$	$X_{\text{ср}}$, мг/дм ³	$X_{\text{min}}-X_{\text{max}}$, мкг/дм ³	$M_{\text{ср}}$, мг/дм ³	$K_{\text{мигр}}$
р. Нальчик							
0,00304	0,70–4,66	210,83	0,31	0,00348	1,75–5,27	198,17	0,38
р. Урвань							
0,00271	1,12–4,48	312,14	0,18	0,00213	0,50–3,44	331,14	0,13
р. Лескен							
0,00356	0,84–8,14	154,14	0,50	0,00247	0,74–4,43	147,86	0,32
р. Шалушка							
0,0043	1,60–9,57	170,71	0,54	0,00253	0,99–3,82	139,86	0,38
р. Куркужин							
0,00437	1,04–8,30	323,5	0,29	0,0025	0,50–6,02	358	0,15

Примечание: жирным шрифтом выделено превышение ПДК.

В реках с преобладанием ледникового питания максимальный коэффициент водной миграции меди выявлен в воде р. Урух (0,58) в среднем течении. В воде рек с преобладанием грунтового питания максимальный коэффициент водной миграции наблюдается в р. Лескен и Шалушка – 0,50 и 0,54 соответственно, также в среднем течении.

В основном вниз по течению коэффициент водной миграции уменьшается, что может быть связано с изменениями концентрации соединений меди и величины минерализации. Чем ниже значение K_m , тем меньше интенсивность перемещения элемента в водном потоке. Изменчивость K_m в реках с преобладанием ледникового питания варьируется в диапазоне 0,20–0,58. В воде рек с преобладанием грунтового питания K_m изменяется от 0,13 до 0,54.

Данные по уровню содержания соединений меди, минерализации и коэффициента миграции в среднем и нижнем течениях рек представлены в табл. 2 и 3.

В воде рек с преобладанием ледникового питания значения коэффициента водной миграции изменяются в пределах от 0,20 до 0,58. Диапазон изменчивости коэффициента водной миграции в воде рек с преобладанием грунтового питания колеблется от 0,13 до 0,54.

Заключение

В воде всех исследованных рек концентрация соединений меди превышает зна-

чения ПДК_{рх}, что объясняется в основном влиянием природного фактора.

Анализ коэффициента водной миграции показывает, что в слабощелочных водах (рН от 7,1 до 8,4) изучаемой территории наиболее интенсивная миграция наблюдается в воде р. Урух, Шалушка и Лескен в среднем течении, где коэффициенты водной миграции равны 0,58; 0,54 и 0,50 соответственно. Согласно геохимической классификации водных мигрантов по Перельману соединения меди в воде исследуемых рек относятся к классу слабо подвижных. Результаты этих исследований могут быть основой для разработки нормативов качества воды с учетом региональных особенностей водосборов, но для этого необходимы данные за более длительный период, поэтому исследования уровня содержания тяжелых металлов в указанных реках продолжаются.

Список литературы

1. Mazhayskiy Yu., Chernikova O., Karpov A., Miseckaitė O. Influence of agrochemical rehabilitation on the heavy metal migration to the water // AGROFOR International Journal. 2017. Vol. 2, Is. 1. P. 83–90.
2. Янин Е.П., Кузьмич В.Н., Иваницкий О.М. Региональная природная неоднородность химического состава поверхностных вод суши и необходимость ее учета при оценках их экологического состояния и интенсивности техногенного загрязнения // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2016. № 6. С. 3–72.
3. Атабиева Ф.А., Отарова А.С. Содержание тяжелых металлов в воде рек Центрального Кавказа (бассейн реки Терек) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 3. С. 89–101. DOI: 10.35567/19994508_2023_3_6.

4. Фиапшев Б.Х. Почвы Кабардино-Балкарской АССР (генетические особенности, география и хозяйственное использование): автореф. ... дис. докт. биол. наук. Ростов-на-Дону, 1975. 54 с.
5. Ткаченко О.В., Ткаченко А.Н., Лычагин М.Ю. Содержание тяжелых металлов в водных объектах дельты Дона: сезонная и пространственная динамика // Геология, география и глобальная энергия. 2016. № 2 (61). С. 76–84.
6. Шестеркина Н.М., Шестеркин В.П., Таловская В.С., Ри Т.Д. Пространственно-временная изменчивость содержания растворенных форм микроэлементов в водах реки Амур // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 3. С. 336–347.
7. Давыдова О.А., Коровина Е.В., Ваганова Е.С. и др. Физико-химические аспекты миграционных процессов тяжелых металлов в природных водных системах // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2016. Т. 8, № 2. С. 40–50.
8. Александрова А.Б., Иванов Д.В., Маланин В.В., Шурмина Н.В., Галияхметова Л.К., Богданова О.А. Показатели накопления и миграции тяжелых металлов в бассейне равнинного водохранилища // Геология, география и глобальная энергия. 2020. № 4 (79). С. 126–133.
9. Государственный водный реестр. [Электронный ресурс]. URL: <https://textual.ru/gvr/>, свободный (дата обращения: 08.06.2023).
10. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М., 1999. 610 с.