УДК 546.7 *https://doi.org/10.35567/19994508-2025-3-64-73*

Региональные предельно допустимые концентрации молибдена для водных объектов бассейна реки Терек

С.Л. Алита, Ф.А. Атабиева

atabieva0812@mail.ru

Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Представлен статистический анализ многолетних данных по уровню содержания соединений молибдена – одного из приоритетных загрязняющих веществ двойного генезиса в воде рек бассейна Терека, обоснована разработка региональных предельно допустимых концентраций ($ПДК_{рег}$) по его соединениям. Актуальность исследования объясняется тем, что не всегда концентрации химических веществ в воде поверхностных водных объектов, сформировавшиеся под влиянием природных факторов, соответствуют требованиям гигиенических или рыбохозяйственных нормативов. Разработка и принятие региональных ПДК в таких ситуациях имеет большое значение для улучшения эффективности водоохранных мероприятий. **Методы.** Измерения концентраций растворенных форм соединений молибдена (Mo) проведены с помощью атомно-абсорбционного метода с использованием спектрометра с электротермической атомизацией «МГА-915М». Для расчета регионального ПДК применялись методики, основанные на оценках непараметрических статистических показателей, позволяющие эффективно учитывать объем рассматриваемых статистических выборок и их изменчивость. **Результаты.** Проведен статистический анализ уровня содержания молибдена в реках бассейна Терека – Баксан, Куркужин, Лескен, Малка, Нальчик, Терек, Урвань, Урух, Чегем, Черек, Шалушка – за период 2022–2024 гг. Рассчитанные региональные ПДК для молибдена превышают санитарно-гигиенические и рыбохозяйственные нормативы. Рекомендуется рассчитывать нормативы допустимого сброса для соединений молибдена в водных объектах бассейна р. Терек с учетом разработанных $ПДК_{рег}$ по молибдену.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бассейн реки Терек, соединения молибдена, статистический анализ, региональные показатели, метод Уилкоксона – Манна – Уитни.

Для цитирования: Алита С.Л., Атабиева Ф.А. Региональные предельно допустимые концентрации молибдена для водных объектов бассейна реки Терек // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2025. № 3. С. 64–73. https://doi.org/10.35567/19994508-2025-3-64-73, EDN: MBYCA

Regional maximal permissible molybdenum concentrations for water bodies in the Terek River basin

Sergey L. Alita, Fatimat A. Atabieva

atabieva0812@mail.ru

High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia

ABSTRACT

Relevance. The objective of the study is statistical analysis of long-term data on the content of molybdenum compounds, one of the priority pollutants of dual genesis, in the water of the rivers of

© Алита С.Л., Атабиева Ф.А., 2025

the Terek River basin and development of regional maximum permissible concentrations (MPC_{reg}) for its compounds. The relevance of the research is explained by the fact that concentrations of chemicals in the water of surface water bodies formed under the influence of natural factors do not always meet the requirements of hygienic or fishery standards. Therefore, the development and adoption of regional MPCs in such situations is of great importance for improving the effectiveness of water protection measures. The object of the study is the rivers of the Terek River basin, that is the Baksan, the Kurkuzhin, the Lesken, the Malka, the Nalchik, the Terek, the Urvan, the Urukh, the Chegem, the Cherek, and Shalushka. **Methods.** Measurement of concentrations of dissolved forms of molybdenum compounds (Mo) was carried out using the atomic absorption method using a spectrometer with electrothermal atomization "MGA-915M". **Results.** A statistical analysis of the molybdenum content in the specified rivers for 2022-2024 was carried out. To calculate the regional MAC, methods were used based on estimates of non-parametric statistical indicators, which allow one to effectively take into account the volume of the statistical samples under consideration and their variability. To calculate the MAC_{reg}, various methods developed by S.A. Patin, D.G. Zamolodchikov, A.P. Lepikhin et al. and RD 52.24.622-2019, developed by the Hydrochemical Institute, were used. The regional MACs for molybdenum calculated using the specified methods exceed the sanitary and hygienic and fishery standards. It is recommended to calculate the permissible discharge standards for molybdenum compounds in the water bodies under consideration taking into account the developed MACreg for molybdenum.

KEYWORDS: rivers of the Terek River basin, Malka, Chegem, Baksan, molybdenum compounds, statistical analysis, regional indicators, Wilcoxon-Mann-Whitney method.

For citation: Alita S.L., Atabieva F.A. Regional maximal permissible molybdenum concentrations for water bodies in the Terek River basin. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2025. No. 3. P. 64–73. https://doi.org/10.35567/19994508-2025-3-64-73, EDN: MBYCA

ВВЕДЕНИЕ

Тяжелые металлы в водных объектах, концентрации которых превышают ПДК, – это загрязняющие вещества, большинство из которых относятся к 1-му классу опасности. Тяжелые металлы в природных водах не разрушаются, могут менять формы и перераспределяться между составляющими компонентами водного объекта [1, 2]. Источниками загрязнения водных объектов тяжелыми металлами могут быть горнодобывающие предприятия, металлургические комбинаты, гальванические и электротехнические предприятия, полигоны захоронения бытовых и промышленных отходов. Нельзя игнорировать и естественное природное загрязнение водных объектов выветриваемыми горными породами и различными эрозионными процессами на водосборах рек.

В большинстве зарубежных работ загрязнение воды рек тяжелыми металлами объясняется поступлением в них загрязняющих веществ вместе со сточными водами от сбрасываемых в реки без предварительной очистки промышленных стоков и поверхностных стоков сельхозугодий [3–10]. Но если истоки рек расположены в высокогорье и частично они протекают по горной местности, где отсутствуют антропогенные факторы, можно предположить, что уровень содержания соединений тяжелых металлов будет зависеть от склоновых процессов и степени выветривания горных пород и минералов, т. е. загрязнение будет происходить за счет природных факторов. В этой ситуации показатели концентраций некоторых тяжелых металлов могут быть выше общепринятых значений ПДК.

В настоящее время в качестве критериев нормирования качества природных вод суши применяются одинаковые для всей территории России нормативы. Они зависят только от вида водопользования и не учитывают региональные особенности химического состава природных вод, зависящих от климатических, гидрологических, физических, биологических и других процессов, протекающих на водосборной площади. В конечном итоге это приводит к неточной классификации качества воды [11–14]. При оценке качества поверхностных вод одним из показателей является удельный комбинаторный индекс загрязненности (УКИЗВ). Расчет УКИЗВ [15] начинается с определения значения коэффициента комплексности загрязненности воды (К) по формуле:

$$K = \frac{n^*}{n} * 100\ \%, \quad (1)$$

где n^* – количество показателей качества воды, значение которых превышает соответствующие им ПДК;

n – общее число показателей качества воды.

Чем больше показателей превышают соответствующие им ПДК, тем хуже класс качества воды. Если же принять региональные ПДК (в нашем случае для молибдена), то количество показателей, превышающих ПДК, уменьшается и, согласно УКИЗВ, класс, характеризующий качество воды при постоянстве других показателей, меняется в лучшую сторону. Региональные нормативы для веществ двойного генезиса также используются при расчетах нормативов допустимого воздействия.

Целью проведенного исследования являются статистический анализ многолетних данных по уровню содержания соединений молибдена – одного из приоритетных загрязняющих веществ двойного генезиса – в водах рек бассейна Терека и разработка региональных предельно допустимых концентраций ($ПДК_{рег}$) по его соединениям.

Для расчетов $ПДК_{рег}$ использованы различные методы, разработанные С.А. Патиным [15], Д.Г. Замолодчиковым [16], А.П. Лепихиным с соавторами [17], и РД 52.24.622–2019[1].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Истоки исследуемых рек (Баксан, Куркужин, Лескен, Малка, Нальчик, Терек, Урвань, Урух, Чегем, Черек, Шалушка) расположены в ледниках Главного Кавказского, Бокового, Скалистого и Мелового хребтов. Картосхема пунктов отбора приведена на рисунке. Отбор проб воды проводили на каждой реке в двух постоянных створах.

Створ I для каждой реки располагался в предгорной зоне (среднее течение), а створ II – в равнинной части (нижнее течение). Отборы проб воды проведены семь раз (в зимнюю межень, во время половодья – на подъеме, пике и спаде; в период летней межени – при наименьшем расходе и прохождении дождевого паводка и осенью).

[1] РД 52.24.622–2019. Порядок проведения расчета условных фоновых концентраций химических веществ в воде водных объектов для установления нормативов допустимых сбросов сточных вод. Ростов-на-Дону, 2019. 95 с.

Отобраны и проанализированы пробы воды 11 рек в 22 постоянных створах. Каждый год брали по 154 пробы воды, за рассматриваемый период (2022–2024 гг.) – 462 пробы. При отборе проб фиксировали время, температуру воздуха и воды, прозрачность воды, минерализацию. Пробы отбирали в полиэтиленовые емкости и хранили в холодильнике при температуре от +2 до +5 °С. В период забора проб воды в зимнюю межень (февраль) температура воды рек варьировала от +2,4 °С до +10,1 °С. Летом (июль) она изменялась от +11,5 °С до +24,9 °С.

Для определения концентраций растворенных форм молибдена пробы воды фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. Полученный фильтрат консервировали азотной кислотой из расчета 0,1 мл на 100 мл пробы воды.

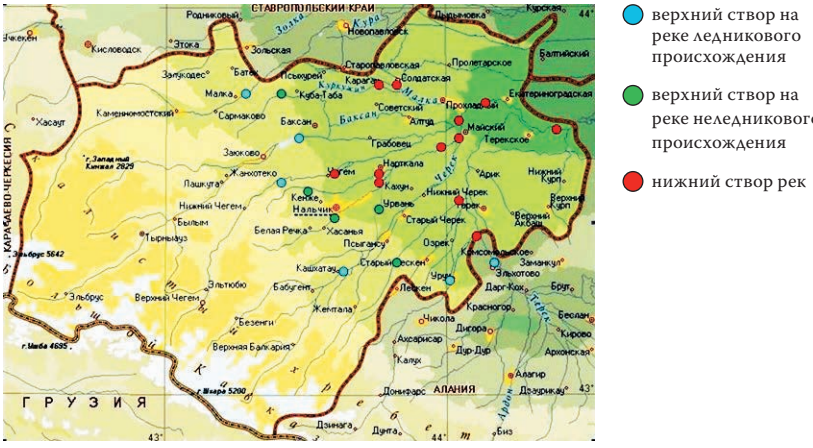


Рисунок. Картосхема пунктов отбора.
Fig. The map diagram of the sampling points.

Измерения проводились с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией «МГА-915М»[2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Территория Северного Кавказа, как отмечено в [18], загрязнена соединениями никеля, цинка, меди, хрома, олова, свинца, а отдельные ландшафты – и соединениями молибдена, вольфрама, марганца, стронция. В естественных условиях ионы металлов поступают в поверхностные воды в основном за счет выветривания, выщелачивания, растворения минералов и пород, слагающих водосборный бассейн. При антропогенном загрязнении соединения тяжелых металлов выносятся в водоемы со сточными водами обогатительных фабрик, металлургических заводов, предприятий химической промышленности и шахтными водами. На исследуемой территории таких предприятий нет, за

[2] 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 с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией «МГА–915». М., 2009. 36 с.

исключением давно законсервированного Тырныаузского горно-обогатительного комбината по добыче и обогащению вольфрамо-молибденовых руд. Тырныаузский горно-обогатительный комбинат и «хвостохранилище» расположены в Баксанском ущелье, по которому протекает р. Баксан, в воде которой зафиксированы максимальные значения молибдена.

Молибден, по результатам многолетних исследований (2020–2024 гг.), является одним из приоритетных загрязняющих веществ двойного генезиса. Результаты получены при выполнении государственной темы «Анализ загрязнения рек Центрального Кавказа тяжелыми металлами и неорганическими соединениями азота по результатам ежегодных наблюдений» в аккредитованной лаборатории ФГБУ «ВГИ» (аттестат аккредитации RA.RU.21АИ34). Для проведения статистической обработки гидрохимической информации выборки проб, взятых в среднем и нижнем течении каждой реки, проверялись на однородность методом Уилкоксона – Манна – Уитни, также в них была произведена фильтрация величин с экстремально низкими и экстремально высокими значениями. Результаты этой проверки представлены в табл. 1.

Результаты расчета квартилей в распределениях концентраций Mo представлены в табл. 2.

Первый и третий квартили (табл. 2) используются для расчетов $ПДК_{рег}$ в формулах Д.Г. Замолодчикова и А.П. Лепихина. Если бы концентрации молибдена в пробах подчинялись нормальному закону распределения, то значения второго квартиля совпадали бы со значениями выборочных средних из табл. 1. Несовпадение указанных значений косвенно свидетельствует о том, что закон распределения концентраций молибдена в воде рек отличается от нормального. В своей работе мы использовали методику, описанную в [17], в которой оперируют точечными показателями, чтобы уйти от особенностей распределения отдельных показателей химического состава воды водных объектов, и за основу приняты квартили определенного порядка с учетом погрешностей их оценки. В расчетах в качестве показателя качества воды используется квартиль порядка 0,75. Предложенное в [19] основное уравнение по оценке фоновой концентрации является частным случаем соотношения в формуле (4).

Далее был проведен сравнительный анализ результатов расчета регионального ПДК молибдена по формулам:

$$\text{С.А. Патина: } ПДК_{рег} = C_{ср} + 2\sigma, \quad (2)$$

$$\text{Д.Г. Замолодчикова: } ПДК_{рег} = ВК + 1{,}5\,(ВК - НК), \quad (3)$$

$$\text{А.П. Лепихина: } ПДК_{рег} = ВК - 2{,}15\,\sigma/\sqrt{N}, \quad (4)$$

где $C_{ср}$ – средняя концентрация в выборке, мкг/дм^3;

σ – стандартное отклонение;

ВК и НК – верхний и нижний квартили распределения проб;

N – объем выборки.

Данные расчетов представлены в табл. 3. В пятом столбце табл. 3 приведены значения фоновой концентрации молибдена в воде рек бассейна Терека, рассчитанные по методике РД 52.24.622–2019.

Таблица 1. Результаты проверки выборок на однородность
Table 1. Results of checking samples for uniformity

Река	Размер выборки	Значения, мкг/дм^3	Хср., СКО
Чегем	38 однородная	3,11; 2,32; 1,50; 0,72; 0,77; 1,41; 2,05; 0,91; 0,23; 0,35; 0,10; 1,39; 2,55; 4,13; 3,65; 2,00; 1,20; 2,49; 2,57; 3,71; 1,15; 0,10; 0,10; 0,58; 3,27; 0,10; 1,12; 2,58; 1,29; 1,88; 3,15; 2,48; 0,79; 3,09; 0,72; 1,25; 1,26; 0,73	1,65 1,15
Куркужин	41 однородная	4,71; 5,27; 2,95; 3,83; 2,65; 5,36; 4,07; 4,94; 5,71; 2,21; 4,06; 0,48; 0,61; 1,02; 2,61; 3,57; 0,75; 8,80; 4,20; 7,50; 5,02; 5,84; 3,78; 2,36; 4,87; 5,99; 4,89; 2,47; 2,63; 4,20; 6,61; 0,10; 3,82; 4,35; 2,84; 5,75; 6,00; 5,55; 3,50; 6,93; 3,70	4,06 1,96
Шалушка	39 однородная	1,65; 1,05; 1,33; 2,14; 0,82; 1,10; 1,24; 3,58; 1,11; 1,32; 2,49; 1,93; 0,81; 1,67; 0,75; 1,37; 1,00; 1,40; 7,59; 0,30; 2,04; 1,30; 1,94; 0,51; 0,10; 1,39; 0,19; 1,81; 2,90; 0,81; 1,24; 1,66; 2,38; 2,17; 5,17; 1,05; 3,65; 3,00; 0,47	1,75 1,41
Урух	37 однородная	2,61; 1,43; 2,19; 0,82; 0,10; 1,05; 0,72; 0,10; 0,10; 0,91; 0,86; 0,10; 0,85; 0,33; 1,99; 2,35; 0,99; 3,00; 0,19; 2,41; 2,71; 1,32; 0,18; 0,76; 1,11; 0,10; 0,48; 2,51; 0,10; 1,05; 0,10; 2,41; 0,60; 2,35; 0,45; 2,23; 3,08	1,21 0,98
Баксан	21 среднее течение	17,20; 18,60; 8,32; 16,00; 7,07; 6,37; 15,97; 13,50; 6,09; 7,30; 8,46; 8,18; 6,75; 15,45; 5,25; 11,13; 4,10; 3,95; 5,50; 8,30; 11,47	9,76 4,59
Черек	40 однородная	5,10; 4,63; 1,49; 3,79; 4,45; 0,47; 0,72; 3,09; 2,26; 2,02; 1,74; 1,44; 1,65; 2,42; 3,22; 1,70; 1,10; 2,90; 0,80; 1,93; 1,70; 8,27; 3,68; 0,10; 2,21; 4,67; 4,90; 2,15; 3,59; 1,99; 0,10; 3,06; 5,47; 2,40; 3,39; 2,53; 0,92; 3,75; 0,88; 1.91	2,61 1,68
Малка	21 нижнее течение	9,19; 9,43; 2,10; 4,05; 3,18; 4,18; 6,59; 3,20; 0,30; 1,78; 2,89; 3,77; 1,85; 5,45; 2,63; 3,44; 1,95; 3,75; 2,25; 5,55; 5,53	3,96 2,33
Терек	32 однородная	2,22; 4,30; 0,60; 1,25; 4,30; 1,41; 2,16; 0,99; 0,90; 1,72; 2,71; 3,58; 2,99; 3,75; 0,96; 1,93; 0,42; 0,18; 1,69; 2,35; 0,10; 3,00; 0,86; 3,43; 1,37; 3,07; 2,23; 2,55; 4,00; 3,50; 1,80; 0,26	2,08 1,26
Нальчик	37 однородная	1,32; 6,82; 1,14; 0,10; 3,49; 2,59; 1,67; 1,45; 3,00; 3,05; 3,17; 3,08; 1,11; 0,50; 4,49; 3,30; 1,50; 0,32; 2,75; 4,48; 1,25; 1,99; 0,74; 4,47; 3,60; 3,41; 1,72; 0,92; 0,10; 2,92; 5,09; 5,00; 3,20; 0,55; 2,80; 4,05; 0,58	2,48 1,63
Урвань	39 однородная	6,79; 3,55; 4,82; 14,96; 15,00; 5,71; 8,48; 2,72; 16,36; 5,63; 0,10; 1,35; 4,18; 0,71; 4,14; 1,10; 2,15; 1,89; 0,70; 10,95; 5,90; 2,68; 14,89; 11,31; 13,18; 8,14; 8,11; 4,77; 12,48; 5,15; 4,23; 2,58; 3,86; 3,81; 2,70; 0,72; 1,28; 4,86; 3,01	5,77 4,62
Лескен	19 нижнее течение	3,35; 4,00; 1,42; 0,10; 3,41; 2,84; 0,93; 2,35; 0,36; 2,51; 1,61; 0,10; 1,97; 0,10; 2,05; 0,62; 2,50; 2,70; 2,05	1,84 1,21

Примечание: ПДК$_{Mo}$ = 1 мкг/дм^3; в последнем столбце табл. 1 в каждой ячейке верхнее значение соответствует среднему значению по выборке, а нижнее – среднему квадратическому отклонению.

Таблица 2. Значения квартилей в распределениях концентраций
Table 2. Quartile values in concentration distributions

Река	I квартиль	II квартиль (медиана)	III квартиль	Межквартильный диапазон
Чегем	0,73	1,34	2,52	1,80
Куркужин	2,65	4,07	5,36	2,71
Шалушка	1,00	1,37	2,14	1,14
Урух	0,33	0,91	2,23	1,90
Баксан	6,37	8,30	13,50	7,13
Черек	1,57	2,24	3,64	2,07
Малка	2,18	3,60	5,49	3,32
Терек	0,98	2,05	3,04	2,06
Нальчик	1,14	2,80	3,60	2,46
Урвань	2,58	4,23	8,14	5,56
Лескен	0,62	2,05	2,70	2,08

Таблица 3. Значения региональных ПДК молибдена (Mo) для рек бассейна Терека, мкг/дм^3
Table 3. Values of regional MPC of molybdenum (Mo) for the rivers of the Terek basin

Река	$ПДК_{рег}$ по (2)	$ПДК_{рег}$ по (3)	$ПДК_{рег}$ по (4)	$C_{фон}$ по РД 52.24.622 – 2019
Чегем	3,95	5,21	2,12	1,97
Куркужин	7,98	9,43	4,70	4,57
Шалушка	4,57	3,85	1,66	2,13
Урух	3,17	5,08	1,88	1,62
Баксан	18,94	24,20	11,35	11,48
Черек	5,97	6,75	3,07	2,94
Малка	8,62	10,46	4,40	4,83
Терек	4,60	6,13	2,56	2,92
Нальчик	5,74	7,29	3,02	3,03
Урвань	15,01	16,48	6,55	7,17
Лескен	4,26	5,82	2,10	2,32

Очевидны значительные расхождения в результатах значений региональных ПДК молибдена (Mo) для рек бассейна Терека в зависимости от метода расчета (табл. 3). Учитывая, что предложенное в РД 52.24.622–2019 уравнение по оценке фоновой концентрации является частным случаем соотношения формулы (4), в качестве оптимального метода расчетов $ПДК_{рег}$ следует рассматривать метод А.П. Лепихина.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный статистический анализ полученных концентраций молибдена в воде рек Баксан, Куркужин, Лескен, Малка, Нальчик, Терек, Урвань, Урух, Чегем, Черек, Шалушка за период 2022–2024 гг. показывает, что статистические распределения молибдена существенно отличаются от нормального. Поэтому были использованы различные методы расчетов региональных ПДК

на основе оценок непараметрических статистических показателей. На наш взгляд, метод расчета, предложенный А.П. Лепихиным с соавторами, позволяет, в отличие от других методических подходов, весьма эффективно учитывать объем рассматриваемых статистических выборок и их изменчивость. $ПДК_{рег}$ молибдена в исследованных реках, рассчитанные по этому методу, изменяются от 1,66 до 11,35 мкг/дм^3.

Согласно проведенным расчетам, для молибдена требуется введение региональных ПДК, что позволит использовать их при нормировании допустимых сбросов и улучшить эффективность водоохранных мероприятий.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no relevant conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.
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. Dwivedi A.K. Researches in water pollution: A review // International Research Journal of Natural and Applied Sciences. 2017. No. 4 (11). P. 118–142.
4. Komijani M., Shamabadi N.S., Shahin K., Eghbalpour F., Tahsili M.R. and Bahram M. Heavy metal pollution promotes antibiotic resistance potential in the aquatic environment. Environmental Pollution. 2021. 1:274:116569. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.116569.
5. Fernandez-Luqueno F., López-Valdez F., Gamero-Melo P., Luna-Suárez S., Aguilera-González E.N., Martínez A.I., Pérez-Velázquez I.R. Heavy metal pollution in drinking water – a global risk for human health // African Journal of Environmental Science and Technology. 2013. No. 7. P. 567–584.
6. Yalcin M.G., Aydin O., Elhatip H. Heavy metal contents and the water quality of Karasu Creek in Nigde, Turkey // Environment Monitoring Assessment. 2008, Feb. 137(1–3):169–78. DOI: 10.1007/s10661-007-9737-8.
7. Kumar V., Parihar R.D., Sharma A., Bakshi P., Singh Sidhu G.P., Bali A.S., Karaouzas I., Bhardwaj R., Thukral A.K., Gyasi-Agyei Y. and Rodrigo-Comino J. Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: a meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses // Chemosphere. 2019 Dec. 236:124364. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.124364.
8. Emmanuel P.O., Otitoju O. and Ikwebe J. Health risk assessment in relation to heavy metals in water sources in rural regions of South East Nigeria // International Journal of Physical Sciences. 2023. No. 9(6). P. 109–116. DOI:10.5897/IJPS2014.4125.
9. Nizami G., Rehman S. Assessment of heavy metals and their effects on quality of water of rivers of Uttar Pradesh, India: A review // Journal of Environmental Chemical Toxicology. 2018. No. 2 (2). P. 65–71.
10. Davies C.I., and Ekperusi A.O. Geospeciation, toxicological evaluation and hazard assessment of trace elements in superficial and deep sediments // Environment Science: Pollution Research International. 2020. No. 27(13):15565–15583. DOI: 10.1007/s11356-020-07784-7.
11. Возняк А.А., Лепихин А.П. Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример // Географический вестник, 2018. № 2 (45). С. 103–115. DOI: 10.17072/2079-7877-2018-2-103-115.
12. Тимофеева Л.А., Фрумин Г.Т. Проблема нормирования качества поверхностных вод // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. № 38. С. 215–229.

13. Селезнёв В.А., Селезнёва А.В., Беспалова К.В. Разработка бассейновых нормативов качества воды (на примере водных объектов нижней Волги) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 2. С. 42–53. DOI: 10.35567/1999-4508-2013-2-42-53.
14. 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: 10.35567/19994508-2023-3-89-101.
15. Патин С.А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. М.: Пищевая промышленность, 1979. 304 с.
16. Замолодчиков Д.Г. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. Т. 15. 289 с.
17. Веницианов Е.В., Мирошниченко С.А., Лепихин А.П., Губернаторова Т.Н. Разработка и обоснование региональных показателей качества воды по содержанию тяжелых металлов для водных объектов бассейна Верхней Камы // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 3. С. 50–64. DOI: 10.35567/1999-4508-2015-3-50-64.
18. Дьяченко В.В. Геохимия и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа: автореф. дис. д-ра геогр. наук. Новороссийск, 2004. 326 с.
19. РД 52.24.622 – 2019 Порядок проведения расчета условных фоновых концентраций химических веществ в воде водных объектов для установления нормативов допустимых сбросов сточных вод. Ростов-на-Дону, 2019. 95 с.

REFERENCES

1. Kasimov N.S., Vlasov D.V. Clarkes of chemical elements as comparison standards in eco/geochemistry. *Bulletin of Moscow University*. Ser. 5. Geography. 2015. No. 2. P. 7–17.
2. Yanin E.P., Kuzmich V.N., Ivanitsky O.M. Regional natural heterogeneity of the chemical composition of surface waters on land and the need to take it into account when assessing their ecological state and the intensity of technogenic pollution. *Problems of the environment and natural resources*. 2016. No. 6. P. 3–72.
3. Dwivedi A.K., Researches in water pollution: A review. *International Research Journal of Natural and Applied Sciences*. 2017. 4 (11). P. 118–142.
4. Komijani M., Shamabadi N.S., Shahin K., Eghbalpour F., Tahsili M.R. and Bahram M. Heavy metal pollution promotes antibiotic resistance potential in the aquatic environment. *Environmental Pollution*. 2021. 1:274:116569. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.116569.
5. Fernandez-Luqueno F., López-Valdez F., Gamero-Melo P., Luna-Suárez S., Aguilera-González E.N., Martínez A.I., Pérez-Velázquez I.R.: Heavy metal pollution in drinking water – a global risk for human health. *African Journal of Environmental Science and Technology*. 2013. 7. P. 567–584.
6. Yalcin M.G., Aydin O., Elhatip H. Heavy metal contents and the water quality of Karasu Creek in Nigde, Turkey. *Environment Monitoring Assessment.* 2008, Feb. 137(1-3):169-78. DOI: 10.1007/s10661-007-9737-8.
7. Kumar V., Parihar R.D., Sharma A., Bakshi P., Singh Sidhu G.P., Bali A.S., Karaouzas I., Bhardwaj R., Thukral A.K., Gyasi-Agyei Y. and Rodrigo-Comino J. Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: a meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. *Chemosphere*. 2019, Dec. 236:124364. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.124364.
8. Emmanuel P.O., Otitoju O., and Ikwebe J. Health risk assessment in relation to heavy metals in water sources in rural regions of South East Nigeria. *International Journal of Physical Sciences*. 2023. 9 (6). P. 109–116. DOI: 10.5897/IJPS2014.4125.
9. Nizami G., Rehman S. Assessment of heavy metals and their effects on the quality of water of rivers of Uttar Pradesh, India: A review. *Journal of Environmental Chemical Toxicology.* 2018. 2 (2). P. 65–71.
10. Davies C.I. and Ekperusi A.O. Geospeciation, toxicological evaluation and hazard assessment of trace elements in superficial and deep sediments. *Environment Science: Pollution Research International*. 2020. 27(13):15565-15583. DOI: 10.1007/s11356-020-07784-7.
11. Voznyak A.A., Lepikhin A.P. Development of regional MPCs: necessity, methodology, example. *Geographical Bulletin.* 2018. 2 (45). P. 103–115. DOI: 10.17072/2079-7877-2018-2-103-115.
12. Timofeeva L.A., Frumin G.T. The problem of standardizing the quality of surface waters. *Scientific notes.* 2015. No. 38. P. 215–229.

13. Seleznev V.A., Selezneva A.V., Bespalova K.V. Development of basin water quality standards (on the example of water bodies of the lower Volga). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2013. No. 2. P. 42–53. DOI: 10.35567/1999-4508-2013-2-42-53.
14. Atabieva F.A., Otarova A.S. Heavy Metal Content in River Water of the Central Caucasus (Terek River Basin). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management,* 2023. No. 3. P. 89–101. DOI: 10.35567/19994508-2023-3-89-101.
15. Patin S.A. Impact of Pollution on Biological Resources and Productivity of the World Ocean. Moscow: Food Industry, 1979. 304 p.
16. Zamolodchikov D.G. Problems of Environmental Monitoring and Modeling of Ecosystems. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993. Vol. 15. 289 p.
17. Venitsianov E.V., Miroshnichenko S.A., Lepikhin A.P., Gubernatorova T.N. Development and Substantiation of Regional Water Quality Indicators for Heavy Metal Content for Water Bodies of the Upper Kama Basin. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2015. No. 3. P. 50–64. DOI: 10.355567/19994508-2015-3-50-64.
18. Dyachenko V.V. Geochemistry and assessment of the state of landscapes of the North Caucasus: doctor of geographic sciences thesis: 25.00.23. Novorossiysk, 2004. 326 p.
19. Method of 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 wastewater by atomic absorption spectroscopy using atomicabsorption spectrometer with electrothermal atomization "MGA-915". Moscow. 2009. 36 p.

Сведения об авторах:

Алита Сергей Леонидович, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия, 360001, КБР, г. Нальчик, пр-т Ленина, д. 2; ORCID: 0000-0001-7424-5834; e-mail: alitasergei@eandex.ru

Атабиева Фатимат Адраевна, канд. хим. наук, руководитель испытательного лабораторного центра, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия, 360001, КБР, г. Нальчик, пр-т Ленина, 2; ORCID: 0000-0002-4452-0310; e-mail: atabieva0812@mail.ru

About the authors:

Sergey L. Alita, Candidate of Physical/mathematical Sciences, Senior Researcher, High Mountain Geophysical Institute, pr. Lenina, 2, Nalchik, 360001, Russia; ORCID:0000-0001-7424-5834; e-mail: alitasergei@eandex.ru

Fatimat A. Atabieva, Candidate of Chemical Sciences, Head, Testing Laboratory Center, High Mountain Geophysical Institute, pr. Lenina, 2, Nalchik, 360001, Russia; ORCID: 0000-0002-4452-0310; e-mail: atabieva0812@mail.ru

Поступила в редакцию / Received 18.04.2025.
Поступила после рецензирования / Revised 28.04.2025.
Принята к публикации / Accepted 02.06.2025.