

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 550.42:504.4.054

ПРИРОДНОЕ И АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОЛИБДЕНОМ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА
И ЕГО БИОИНДИКАЦИЯ

© 2018 г. Т.В. Реутова, Ф.Р. Дреева, Н.В. Реутова

Федеральный научный центр “Кабардино-Балкарский научный центр РАН”,
ул. Балкарова, 2, г. Нальчик, КБР, 360010 Россия
E-mail: reutova371@mail.ru

Поступила в редакцию 20.04.2017 г.

После исправления 21.09.2017 г.

В регионе Центрального Кавказа находятся: крупное месторождение молибдена, предприятия по добыче и обогащению руды (в г. Тырныауз), ее переработке (в г. Нальчик) и получению металла (в г. Владикавказ). Цель исследований – сопоставление природных и антропогенных уровней содержания молибдена в водах и определение его распространения методами биоиндикации. Учитывая геологические особенности региона, обследованы водотоки горной зоны, включая основные водные артерии, берущие начало на ледниках, их притоки преимущественно ледникового и притоки подземного типа питания, проанализированы листья и ветви ивы и облепихи в долинах этих рек. В качестве индикаторного объекта выбрана облепиха (*Hippophae rhamnoides caucasica Rousi*), поскольку она избирательно накапливала Мо до 200 мкг/г на территории хвостохранилищ. В большинстве вод средние концентрации Мо не достигали 1.5 мкг/л. При антропогенном загрязнении р. Баксан средние значения увеличились до 5.7÷8.3 мкг/л, максимальные превышали средние вдвое. Выявлено несколько областей, не связанных с месторождением, в которых водные объекты подземного питания содержали Мо в повышенных концентрациях: южный склон Эльбруса, верховье рек Адылсу и Черек, обширная (более 50 км) зона под Скалистым хребтом. Их расположение указывает на связь с современной минерацией (склоны Эльбруса), а также окислением и рассеянием Мо-содержащих минералов более старых рудных поясов. Диапазоны концентраций молибдена (минимальная÷максимальная) в водных объектах с его повышенным природным содержанием и в антропогенно загрязненных речных водах частично перекрываются, иногда и средние концентрации имеют близкие значения. По изменению концентрации в растениях облепихи прослеживается водный путь миграции молибдена.

Ключевые слова: загрязнение, молибден, природные воды, биоиндикация, Центральный Кавказ.

DOI: 10.7868/S0869780318020059

Молибден относится к редким элементам, но проявляет высокую биологическую активность. На его содержание в водах водоемов рыбохозяйственного назначения установлена крайне низкая ПДК – 1 мкг/л. Особое значение молибдена для исследуемого региона обусловлено тем, что в Кабардино-Балкарской Республике (КБР) в среднем течении р. Баксан находится крупное месторождение шеелита и молибденита. Добыча и первичное обогащение вольфрамово-молибденовой руды осуществлялись в г. Тырныауз. Объекты Тырныаузского горно-обогатительного комбината (ТГОК), включая карьеры, отвалы вскрышных пород, шахты, промплощадки, хвостохранилища обогатительной фабрики и пульпопровод между ними, располагаются на левом берегу р. Баксан с 40-го по 60-й километр

от ее истока. Дальнейшая очистка и разделение вольфрама и молибдена производятся в г. Нальчик (ООО “Гидрометаллург”), а получение металлического молибдена – в г. Владикавказ (ОАО “Победит”). В отличие от ТГОК, прекратившего производственную деятельность, остальные предприятия работают и в настоящее время на привозном сырье.

Изучению уровней содержания молибдена и его распространению в водах и других природных объектах, подверженных техногенному воздействию, посвящен целый ряд работ [1–3, 7, 9]. Природное содержание элемента в речных водах, как правило, оценивается только в фоновом пункте, располагающемся несколько выше по течению реки от источника загрязнения. Северный

Кавказ (особенно его наиболее поднятая часть Центральный Кавказ) представляет собой сложное геологически активное образование, однако изучению природного уровня содержания элемента в водах этого региона не уделялось достаточного внимания. Некоторые сведения можно почерпнуть из результатов работ, проводившихся в Высокогорном геофизическом институте [6]. В этой работе приводятся данные 10-летнего (2005–2014) мониторинга содержания тяжелых металлов, в том числе Мо, в период зимней межени и летних дождевых паводков на 5-ти реках преимущественно подземного питания и 7-ми ледниковых реках на территории от р. Подкумок до р. Терек. Пробы отбирали на каждой реке в 2-х створах, расположенных при выходе малых рек на равнину и в устьевой зоне, и еще на 2-х дополнительных замыкающих створах: на р. Малка после впадения основных водных артерий, протекающих по Кабардино-Балкарии, и на р. Терек после слияния с Малкой.

Комплексное обследование новообразованных техногенных экосистем (хвостохранилищ ТГОК), проведенное в 2003–2004 гг. с целью установления глубины экологических нарушений, во время которого исследовали растительные объекты разных жизненных форм и таксономических отделов на содержание молибдена, показало, что все растения с хвостохранилищ отличались повышенными концентрациями молибдена [9]. Если для цветковых растений из фонового ландшафта концентрации Мо в пересчете на сухое вещество составляли 0.08–1.13 мкг/г, то для взятых с хвостохранилищ растительных объектов – от 6.15 до 68.04 мкг/г. Самые высокие концентрации были характерны для облепихи; их значения достигали 412 мкг/г (ветви) и 982 мкг/г (листья). Таким образом, был выявлен вид с высокой степенью избирательного биопоглощения этого элемента.

Проведенное авторами первоначальное обследование рек в горной части Кабардино-Балкарии показало, что природное содержание молибдена в некоторых водотоках сравнимо с техногенно обусловленным [8]. Исходя из этого, была поставлена задача подробнее изучить территорию, чтобы выявить не только антропогенные, но и природные уровни содержания молибдена в речных водах, и оценить гидрохимический фон территории, а также проверить возможность использования облепихи в качестве индикаторного объекта при изучении подверженности территории загрязнению молибденом. Использование растительных объектов для этих целей имеет ряд преимуществ,

один из которых – простота пробоотбора (срезают 1–3-летние облиственные побеги по несколько с 5–10 растений в каждом пункте), что позволяет быстро провести обследование больших территорий, в том числе со сложным рельефом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Территория исследования – горная часть Кабардино-Балкарии, начиная от приледниковой зоны (первые километры от языков ледников) до предгорно-низкогорной (80–100 км от истока основных рек). Пробы отбирали в теплые периоды 2013–2016 гг. и определяли в них растворенный Мо методом атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭМС) с электротермической атомизацией. Пункты наблюдений выбирали таким образом, чтобы были представлены большие и малые реки, истоки которых находятся на ледниках (далее ледниковые реки), водотоки высокогорной зоны, не имеющие непосредственной связи с ледниками, и реки среднегорной зоны преимущественно подземного питания (далее неледниковые реки). Опорные пункты по течению главных водных артерий располагались перед впадением основных притоков. Дополнительно обследовали ущелья крупных притоков по тому же принципу. Также были обследованы озеро на хвостохранилище ТГОК в Баксанском ущелье и глубокое карстовое озеро в Черекском ущелье. Карта-схема расположения пунктов отбора проб приведена на рис. 1.

Вдоль р. Баксан от верховья (22-й км) до устья (168-й км) и ее притока в верхнем течении (р. Адыл-су) были отобраны листья и ветви облепихи (*Hippophae rhamnoides caucasica Rousi*) и объекта сравнения – представителей рода ива (*Salix*). Ивы были выбраны в качестве объекта сравнения, поскольку они распространены повсеместно и в основном занимают ту же экологическую нишу, что и облепиха. Пробы были озолены и проанализированы методом АЭМС на содержание Мо. Кроме того, пробы были взяты к юго-востоку от р. Баксан в Чегемском ущелье, в долинах рек Черек и Терек.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Водные объекты распределены по содержанию молибдена на 6 градаций (см. рис. 1). Средние концентрации за период наблюдений показаны в виде диаграмм на рис. 2.

Более чем в половине проб средние концентрации молибдена находятся на уровне 1.0 ± 0.5 мкг/л (вторая градация на рис. 1). В бассейне р. Чегем

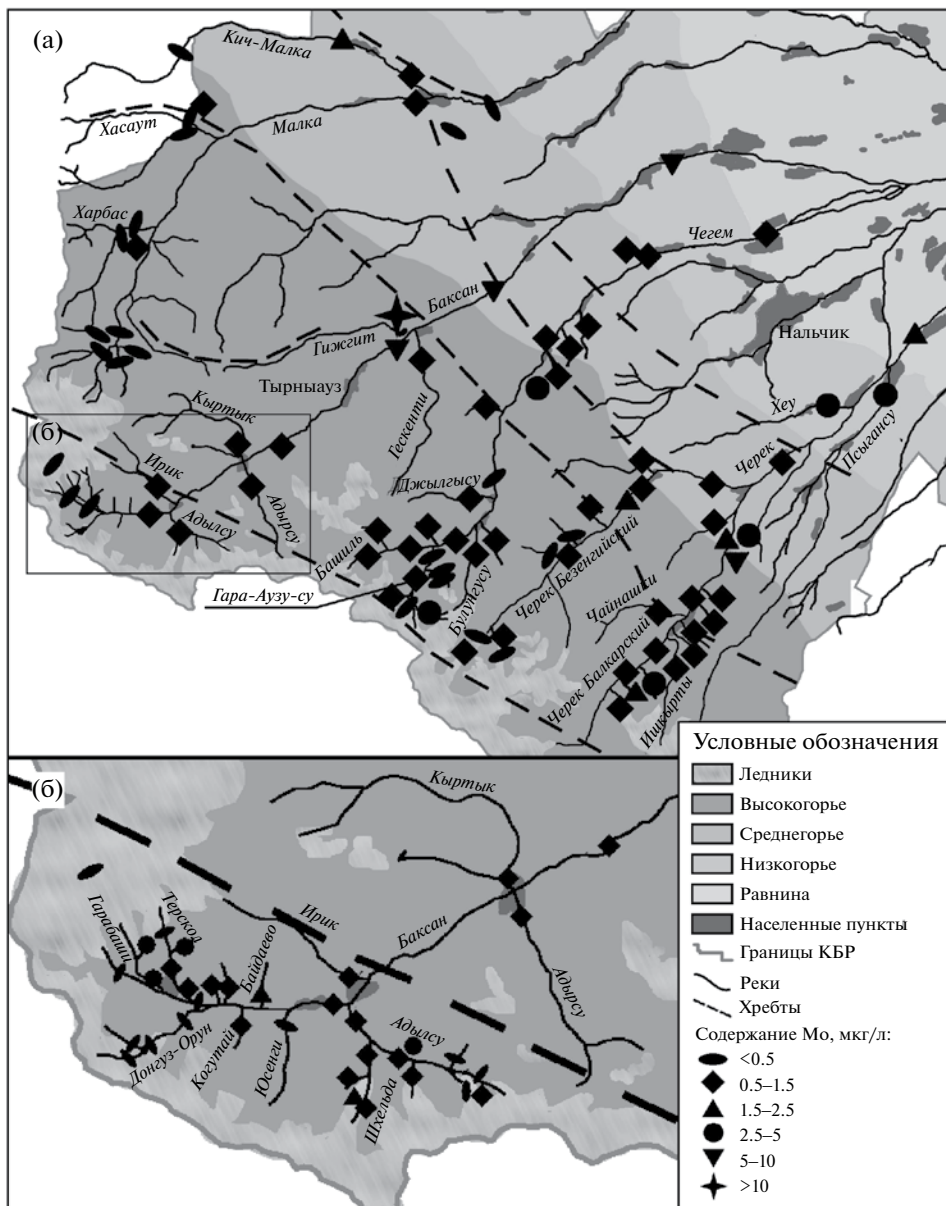


Рис. 1. Распределение молибдена в водных объектах на территории исследования.

около 70% общего числа объектов входят в этот диапазон. Это воды притоков (кроме р. Гара-аузу-су, которую раньше считали правым истоком Чегема) и основном русле (за исключением единственной пробы на 29-м километре). В бассейне Малки в эту градацию попадают всего 5 пунктов (20% проб), заметно отличающихся друг от друга. Три из них находятся на нижней границе диапазона, т.е. фактически не отличаются от самой низкой 1-й градации, а две – максимальные по бассейну реки, приближаются к верхней границе. Они относятся к неледниковой р. Кич-Малка и зафиксированы на последних 20 км её течения.

Длина реки составляет около 62 км, а на 22-м километре от истока средняя концентрация Мо равна 0.32 мкг/л, причем часть данных в ряду наблюдений в этом створе ниже предела определения (ПО). Все остальные водные объекты на водосборе верхнего течения р. Малка содержат меньшие количества молибдена, а в половине из них Мо не является постоянной примесью. Таким образом, р. Малка отличается весьма низким природным содержанием молибдена.

Концентрации нижнего диапазона в пределах от 0 до 0.5 мкг/л встречались в водотоках из-под ледников, на первых километрах ледниковых рек

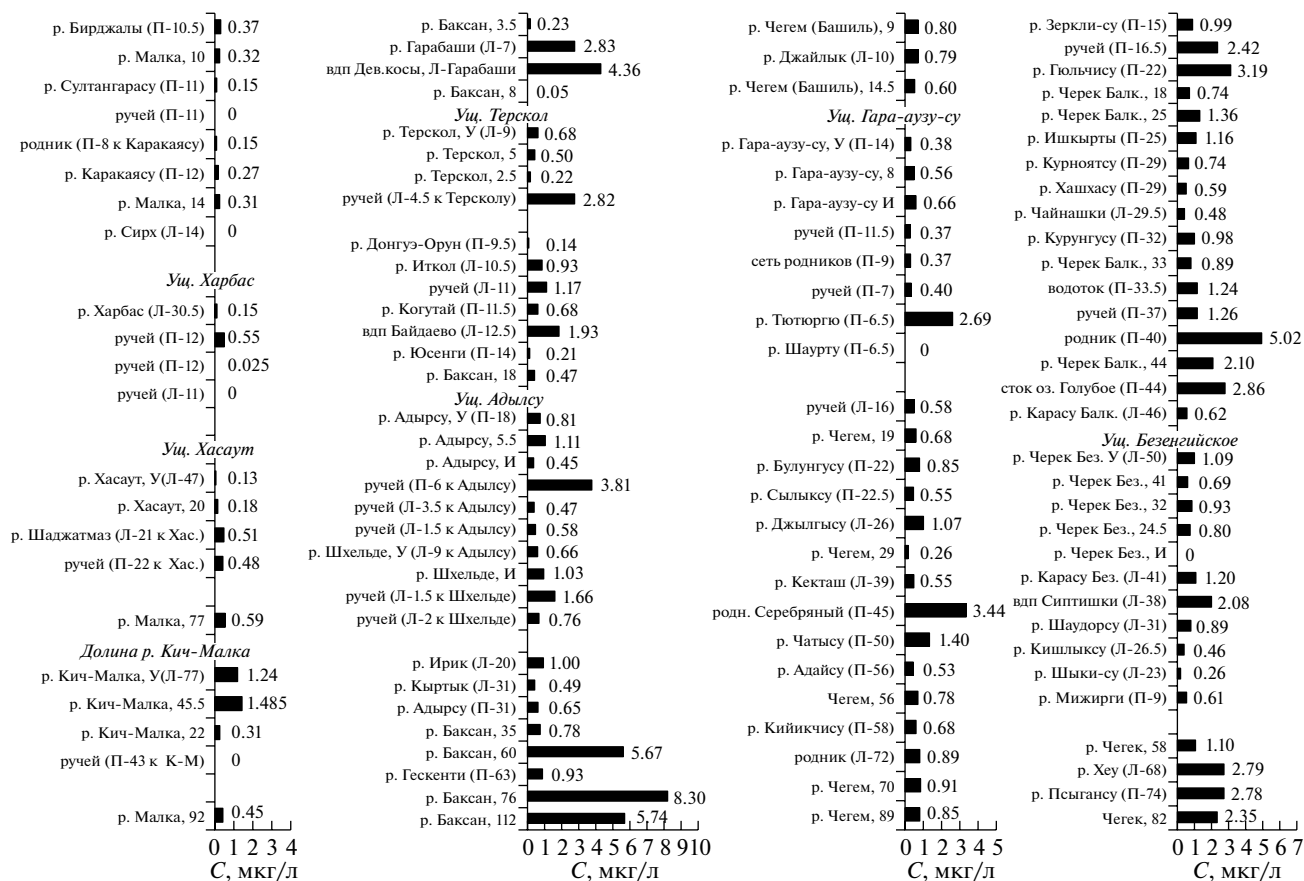


Рис. 2. Уровни содержания молибдена в природных водах бассейнов основных рек Кабардино-Балкарской республики.

(в бассейне Чегема только в ущелье Гара-аузу-су), а также почти во всем Малкинском ущелье, о чем упоминалось выше. В высокогорной зоне бассейна р. Черек Безенгийский в эту группу кроме ледниковых рек в зоне истока попали два его левых неледниковых притока. Число объектов в 1-й градации составило 28% от общего количества проб с водосбора Баксана, 25% на водосборе Чегема и 16% в бассейне Черка.

Концентрации, превышающие выделенные авторами типичные значения, отмечались в Баксанском ущелье в границах Национального парка «Приэльбрусье» в ряде неледниковых ручьев, берущих начало на абсолютных высотах около 3 тыс. м. Три из них стекают с южного склона Эльбруса: 1) водопад в с. Байдаево (ср./макс.— 1.93/ 2.86 мкг/л); 2) приток р. Терскол (ср./макс.— 2.82/3.94 мкг/л); 3) водопад Девичьи косы — приток р. Гарабаши (ср./макс.— 4.36/5.76 мкг/л). Сама ледниковая р. Гарабаши тоже попадает в градацию 2.5–5.0 мкг/л Мо за счет вод этого притока. Четко прослеживается рост концентраций по мере приближения источников к магматической камере

под восточной вершиной Эльбруса, где, согласно данным А.Г. Гурбанова с соавторами, происходит активный процесс дегазации с выносом ряда микроэлементов, в том числе и молибдена [4]. Между с. Байдаево и долиной р. Терскол по правому борту Баксанского ущелья имеются еще два коротких ручья, но средние концентрации в них около 1 мкг/л, хотя максимальная достигала 1.99 мкг/л. Следующие два водотока с высокими концентрациями приурочены к верховьям р. Адылсу. Здесь в водах неледникового притока Адылсу средняя концентрация составила 3.81 мкг/л, а максимальная 6.82 мкг/л. В верхней части соседнего Шхельдинского ущелья воды родника содержали в среднем 1.66 мкг/л молибдена при максимуме 2.57 мкг/л.

Наибольшие концентрации для речных вод в регионе исследования отмечаются в р. Баксан ниже г. Тырнауз. При этом рост наблюдается уже на 60-м км от истока, т.е. выше хвостохранилища. Здесь в реку поступают загрязнения от г. Тырнауз, его заброшенных промышленных объектов и городской территории, ранее

(в 1950–1960-е годы) подверженной воздействию добычи руды открытым способом. В нижнем створе на р. Баксан (112-й км), отстоящем приблизительно на 60 км от Тырнауза, уровень концентраций такой же, как непосредственно ниже города. Наибольшие значения средней концентрации, как и максимальной, относились к пункту наблюдений на 76-м км реки, что ниже хвостохранилища. Несмотря на высокую межгодовую изменчивость (коэффициенты вариации 0.5–0.9), в профилях концентраций по течению Баксана ежегодно отмечается значительный рост на 60-м км, максимум на 76-м, а на 112-м км концентрация выходит на уровень 60-го. Содержание Мо антропогенного происхождения в р. Баксан за период 2013–2016 гг. до хвостохранилища находилось в интервале 3.3–9.1 мкг/л; в 10–12 км от него ниже по течению составляло 4.0–16.7 мкг/л; к выходу на равнину – от 2.9 до 10.6 мкг/л. По данным Западно-Каспийского бассейнового водного управления за 2010–2014 гг., содержание Мо в фоновом пункте на р. Баксан составило около 1 ПДК (1 мкг/л), ниже хвостохранилищ ТГОК оно повысилось примерно до 11 ПДК, а к устью уменьшилось до 3 ПДК [3]. В этой же работе приводятся сведения еще об одном водном объекте, подверженном антропогенному загрязнению молибденом, – р. Камбилеевка, приток р. Терек. Эта речка протекает к востоку от г. Владикавказ и получает воду малого притока, огибающего окраины города со стороны промзоны и принимающего стоки предприятий. Величина измеренной концентрации Мо в ее водах составила 12.8 ПДК, ниже по течению р. Камбилеевка снизилась до 3.7 ПДК, в устьевой зоне уже не превышала 1 ПДК, тогда как в фоновом пункте на этой реке было отмечено 0.4 ПДК.

В долине Баксана имеется техногенный водный объект – остаточное озеро в верхней части хвостохранилища, в которое поступали отходы обогатительной фабрики в виде жидкой пульпы. В настоящее время озеро в основном питается атмосферными осадками и постепенно приобретает черты природного водоема, в нем развивается биота. Концентрации молибдена в нем, варьировали от 17 до 64 мкг/л, при среднем значении равном 40 мкг/л. Дренажные воды, прошедшие тело хвостохранилища и образовавшие маловодный ручеек в его подошве, содержали 14 мкг/л и более молибдена, что тысячекратно превышает все концентрации, выявленные в речных водах региона [9].

В соседнем Чегемском ущелье, где в большинстве рек содержание Мо типичное, в сторону больших концентраций отличались всего два

водных объекта. Один из них – малая ледниковая р. Тютюрюг в зоне формирования р. Гараузу-су, содержащая 2.63 мкг/л Мо и заметно отличающаяся от других водных потоков этой зоны, в которых этот элемент практически отсутствовал. Второй объект это известный питьевой родник “Серебряный” в районе Чегемских водопадов, часто посещаемой достопримечательности Северного Кавказа. Здесь максимальная концентрация составила 3.27 мкг/л, среднее значение равнялось 2.34 мкг/л.

Бассейн же р. Черек – самой восточной из обследованных рек, включает целый ряд водотоков с повышенным содержанием молибдена (в среднем от 2 до 5 мкг/л). Их общее число такое же, как в бассейне Баксана. Если же учитывать только повышенные природные концентрации, то на водосборе Черка таких объектов выявляется больше (24% от числа пунктов наблюдений). Это неледниковые реки и ручьи за исключением одной р. Псыгансу длиной около 60 км. Они расположены следующим образом: 1) два поверхностных водотока (правые притоки Черка Балкарского), стекающие с северных склонов Бокового хребта; 2) родник и сток карстового оз. Нижнее Голубое (глубиной 280 м), по-видимому, имеющих глубинное происхождение и находящихся в теснине, которую пробил р. Черек в Скалистом хребте; 3) небольшой водопад (Сиптишки) в теснине Безенгийского ущелья при пересечении Скалистого хребта р. Черек Безенгийский; 4) два относительно больших притока (правый – р. Хеу, и левый – р. Псыгансу), впадающих в Черек в зоне низкогорного Лесистого хребта, но берущих начало один на Скалистом, другой – на Боковом хребте (см. рис. 1).

Согласно [6], почти все средние и большинство максимальных концентраций, измеренных в водных объектах, не достигали величины 1 мкг/л ни в меженный, ни в паводковый период. На территории наблюдений выделены два объекта – отмеченная и авторами мощная р. Баксан и маловодная р. Куркужин, водосбор которой находится в междуречье Малки и Баксана в среднегорной и низкогорной зоне. Уровень содержания Мо в р. Куркужин ниже, чем в Баксане, но среди неледниковых рек она в наибольшей степени загрязнена этим металлом. Максимальные концентрации в этой реке, как в зимний, так и в летний период от 1.5 до 3 раз превышают ПДК. В этом исследовании также отмечено, что загрязненные молибденом воды Баксана превышают средние концентрации в нижних створах на р. Малка зимой от 0.16 до 0.40 мкг/л, а летом от 0.26 до 1.33 мкг/л. Максимальная концентрация Мо

Концентрации молибдена в пробах растительных объектов (мкг/г сухого вещества) и их соотношение (k)

Место отбора	Концентрация мкг/г					
	листья			ветви		
	облепиха	ива	k	облепиха	ива	k
Территория Баксанского ущелья выше хвостохранилищ						
Ущ. Адыл-су, в часть	1.61	0.39	4.1	1.50	<ПО	50.0
Ущ. Адыл-су, ср часть	0.10	0.13	0.8	0.1	<ПО	3.7
р. Баксан, 22-й км	0.53	0.26	2.0	0.12	<ПО	4.0
р. Баксан, 27-й км	0.15			0.19		
р. Баксан, 40-й км	3.51	3.45	1.0	2.51	0.32	7.8
р. Гижгит, до тоннеля	0.15	-		0.84	-	
Территория г. Тырнауз						
Жилой массив	86.71	2.73	25.1	4.70	0.26	18.1
Территория хвостохранилищ						
1-е	>220			25.51		
2-е, дренажный ручей	121.17			68.34		
2-е, н. терраса	53.77			6.58		
2-е, дамба ср. террасы	30.54			46.47		
2-е, ср. терраса	41.00			22.3		
2-е, в. терраса	200.72	31.12	6.4	125.3	4.48	28.0
р. Баксан 55-й км	208.6	5.34	39.1	15.43	2.52	6.1
Территория ниже хвостохранилищ вдоль р. Баксан						
р. Баксан, 80-й км	0.14	0.17	0.8	0.52	ПО	8.7
р. Баксан, 105-й км	5.99	5.17	1.2	8.9	0.31	26.7
р. Баксан, 135-й км – I	5.90	0.35	16.9	1.13	0.08	14.1
р. Баксан, 135-й км – II	31.29	5.17	5.9	2.38	0.23	10.3
р. Баксан, 135-й км – III	4.37	2.27	1.9	4.77	0.48	9.9
р. Баксан, 168-й км	2.41	0.16	15.1	2.08	<ПО	69.3
Территория к юго-востоку от р. Баксан						
р. Чегем, 38-й км	<ПО			<ПО	-	
р. Чегем, 58-й км	0.61	0.13	4.7	0.51	<ПО	17.0
р. Черек Безенгийский, 22 км	0.33	0.17	1.9	0.37	0.19	1.9
водораздел Хэу-Черек	0.41	0.08	5.1	0.35	<ПО	11.7
р. Черек, 56-й км	0.97	0.57	1.7	1.23	0.06	20.1
р. Черек, 110-й км	0.07	0.25	0.3	<ПО	<ПО	1.0
р. Терек, 195-й км	0.30	0.14	2.1	0.37	<ПО	12.3

в замыкающем створе поднималась до 4.58 мкг/л. Река Шалущка, протекающая вблизи предприятия по производству вольфрамового и молибденового концентратов (ООО «Гидрометаллург» в г. Нальчик), не может считаться загрязненной молибденом. Средние концентрации в ней ниже ПДК, но явно прослеживается разница между речной водой выше города и ниже. Средние концентрации на этом отрезке увеличивались вдвое, как в межень, так и в паводок. Летом 2008 г. в нижнем створе Шалущки зарегистрирована концентрация равная 4.1 мкг/л.

Обращает на себя внимание тот факт, что наибольшие значения как средних, так

и максимальных концентраций в каждом из трех основных ущелий (Чегемском, Безенгийском и Черекском) относятся к небольшим выходам подземных вод (родникам), находящимся под осевой частью Скалистого Хребта. К ним можно добавить сток Голубого озера, речки Чатысу и Хеу, смещенные к северным склонам этого хребта и также отличающиеся повышенным содержанием молибдена. Таким образом, полученные результаты указывают на обширную зону распространения Мо под Скалистым хребтом, скорее всего связанную с древними вулканическими породами. Высокие концентрации

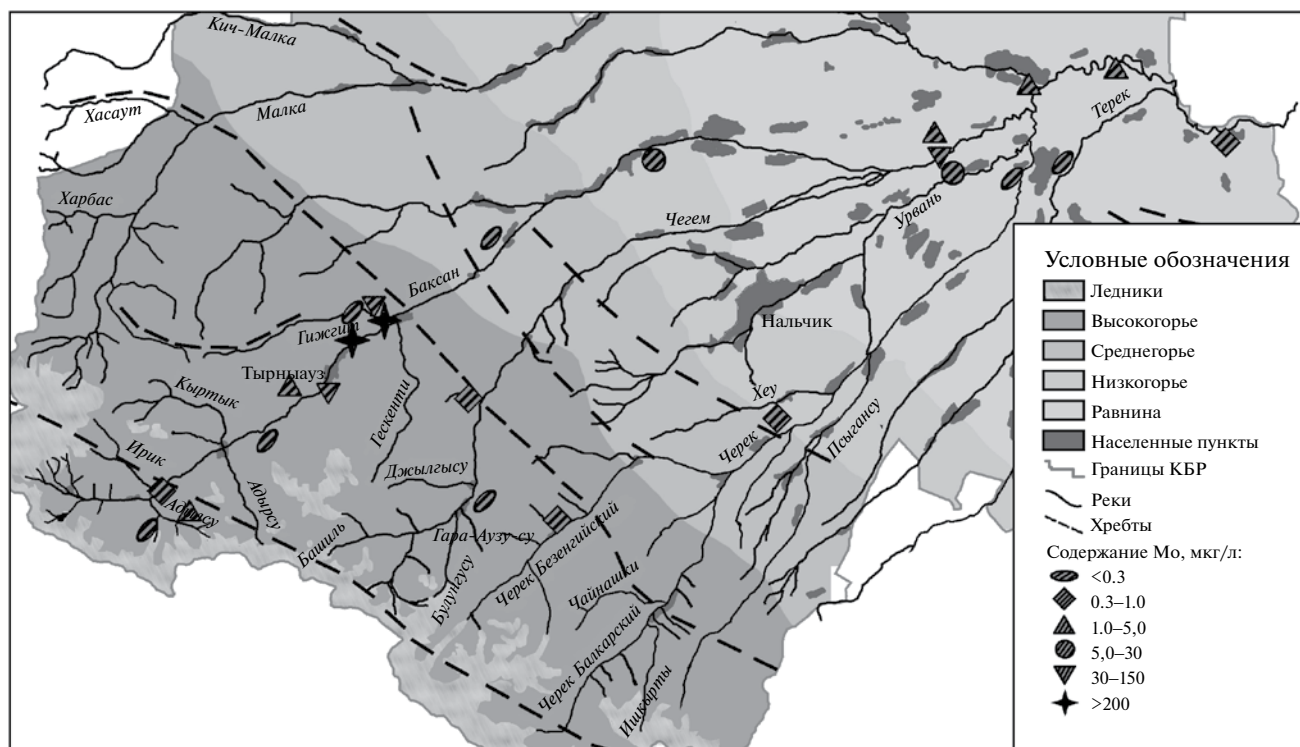


Рис. 3. Содержание молибдена в листьях облепихи и лоха.

в некоторых водных объектах высокогорной зоны (притоки в верховьях Адылсу, правобережье Черек Балкарского, р. Тютюргю), вероятно, обусловлены влиянием минеральных ассоциаций Центрально-Кавказской минерагенической области с Sb-As-Mo специализацией, сформированной в верхнетретичную эпоху [5].

С целью исследования миграции молибдена было изучено его содержание в растениях, обитающих по берегам ряда обследованных рек и на хвостохранилищах горно-обогатительного комбината. Результаты анализа проб растений приведены в таблице. Для наглядного представления о пространственном распределении Мо на рис. 3 приведена карта-схема, на которой обозначены концентрации в листьях облепихи и нескольких пробах лоха.

Как видно из таблицы, диапазон концентраций на исследуемой территории, составил от 0.08 до > 220 мкг/г для облепихи, а для ивы от величин ниже ПО (0.06 мкг/г) до 31 мкг/г сухого вещества. В большей части проб облепихи концентрации не превышали 0.5 мкг/г. Эти концентрации можно считать фоновыми.

Для техногенных ландшафтов (тело хвостохранилища) характерны высокие (до 31 мкг/г) концентрации Мо в иве и крайне высокие в облепихе (200

мкг/г и более). Растения облепихи с надпойменной террасы р. Баксан, примыкающей к хвостохранилищу снизу, содержали Мо в столь же высокой концентрации, в 39 раз превышающей концентрацию в иве. А в облепихе, выросшей в ненарушенном ландшафте в 1.5–2-х км выше хвостохранилища на р. Гижгит, содержалось всего 0.15 мкг/г молибдена.

В жилом районе г. Тырныауз отмечена очень высокая концентрация Мо в листьях облепихи. Там же листья ивы содержали Мо в концентрации заметно выше фонового уровня, но в 25 раз ниже, чем в облепихе. Следует отметить, что непосредственно на территории города имелось хвостохранилище, размытое селевым паводком в 2000 г. В горной зоне выше Тырныауза были выявлены максимальные концентрации около 3.5 мкг/г, причем в обоих растениях. Они были обнаружены в пункте, расположенном близко к городу в районе частого схода селей, в которые вовлекается порода с отвалов рудника и карьера.

В пределах Национального парка “Приэльбрусье” содержание молибдена в растениях облепихи не превышало 0.5 мкг/г и было на одном уровне с его содержанием в иве. Исключение составил пункт в верхней части ущелья Адыл-су, где концентрация Мо в облепихе достигла 1.61 мкг/г и в 4 раза превысила его концентрацию в иве. Именно здесь

был обнаружен водоток с повышенной концентрацией Мо.

В зоне ниже хвостохранилищ в пойме р. Баксан повышенные концентрации молибдена в листьях облепихи прослеживаются и на расстоянии до 105-го км (около 6 мкг/г), и 135-го км (от 5 до 30 мкг/г). Повышенное содержание молибдена в растениях на 135-м км связано с тем, что этот пункт расположен в пределах наклонной равнины. Здесь воды реки во время паводков заливают пойменный лес, а также проникают из русла в грунтовые воды (в таблице пробы – р. Баксан, 135-й км пробы I и III) в отличие от горной зоны, где в основном грунтовые воды разгружаются в реку. Поэтому на 80-м км от истока (в 25 км от хвостохранилища) концентрация в облепихе, собранной на высоком берегу Баксана, составила лишь 0.14 мкг/г.

В устье Баксана концентрация снизилась, но все же в 5 раз превышала максимальные значения из фоновых участков. Параллельно отобранные в долине р. Баксан образцы листьев ивы содержали от 0.14 до 2.37 мкг/г, т.е. в 2–17 раз меньше, чем листья облепихи. Исключение составил один случай (на 105-м км), когда концентрации в иве и облепихе оказались на одном уровне и составили около 5 мкг/г. В этом пункте растения обоих видов росли у кромки воды и получали влагу исключительно из р. Баксан.

На территориях вне влияния Баксана почти все измеренные концентрации, как в облепихе, так и в иве, не превышали 0.5–0.6 мкг/г. В сухостепной зоне КБР облепиха встречается редко, а в некоторых местах полностью отсутствует. Но там произрастает близкий к ней вид – лох (*Elaeagnus angustifolia* L.). Образцы лоха были отобраны в устье р. Баксан (на 190-м км р. Малка после впадения в нее Баксана) и в долине р. Терек до и после впадения в нее р. Малка. Лох, так же как и облепиха, способен концентрировать Мо. Содержание его в растениях лоха, собранных в устьевой зоне Баксана, составило 2.93 мкг/г и в 18 раз превысило содержание в иве. В пункте на 190-м км р. Малка, где река часто выходит из берегов, концентрация молибдена в листьях лоха достигла 4.11 мкг/г, а в листьях ивы – 0.16 мкг/г. При этом, растения лоха из близко расположенного пункта в долине Терека до впадения в него Малки содержали 0.15 мкг/г молибдена. Ветви растений, как видно из таблицы, обычно содержат молибден в меньших концентрациях, но прослеживаются аналогичные тенденции в его содержании. Таким образом, в целях индикации загрязненности территории можно использовать и листья, и ветви, а, следовательно, проводить экологические обследования в любое время года.

ВЫВОДЫ

Типичные наиболее часто встречающиеся значения концентраций молибдена в поверхностных водах общего бассейна р. Малка с притоками Черек, Чегем, Баксан составляют около 1 мкг/л, что находится на уровне ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

Реки бассейна собственно Малки обеднены молибденом; бассейн р. Черек отличается большим количеством водных объектов с повышенным природным содержанием; в бассейне Баксана наряду с областью антропогенно загрязненных вод основного русла Баксана выявлено два природных очага поступления Мо в притоки зоны истока.

Расположение водотоков с природным повышенным содержанием молибдена указывает на связь с современной минералогией (склоны Эльбруса), а также окислением и рассеянием минералов более старых рудных поясов.

На всех этапах добычи и переработки вольфрам-молибденовой руды прослеживается антропогенное загрязнение молибденом вод рек, протекающих в окрестностях предприятий. Оно проявлялось в наименьшей степени в г. Нальчик, в значительной – в городах Тырнауз и Владикавказ. При этом в последнем загрязнение носит локальный характер, а Баксан, являясь самой многоводной рекой верхней части бассейна Терека, несет загрязнение на большое расстояние.

Диапазоны концентраций (минимальная ÷ максимальная) в группе водных объектов с повышенным природным содержанием молибдена и в группе антропогенно загрязненных речных вод частично перекрываются, в некоторых случаях и средние концентрации имеют близкие значения.

Проведенные исследования подтвердили исключительную способность облепихи (*Hippophae rhamnoides caucasica* Rousi) и близкородственного вида лоха (*Elaeagnus angustifolia* L.) откликаться на загрязнение экосистем молибденом. Сравнение с ивой показало, что в незагрязненных зонах уровень содержания в растениях Мо примерно одинаков, а в зонах с разной степенью загрязнения концентрации Мо в облепихе быстро увеличиваются, достигая значений, не характерных ни для одного другого растения. По изменению концентраций в растениях облепихи прослеживается водный путь миграции молибдена от хвостохранилищ ТГОК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бортников Н.С., Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Карамурзов Б.С., Докучаев А.Я., Лексин А.Б., Газеев В.М., Шевченко А.В. Оценка воздействия захороненных промышленных отходов Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината на экологическую обстановку (почвенно-растительный слой) прилегающих территорий Приэльбрусья (Кабардино-Балкарская Республика, Россия) // Геоэкология. 2013. № 5. С. 405–416.
2. Винокуров С.Ф., Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Карамурзов Б.С., Газеев В.М., Лексин А.Б., Шевченко А.В., Долов С.М., Дударов З.И., Гурбанова О.А. Сезонные колебания концентраций макро- и микроэлементов и формы их миграции в поверхностных водотоках в районе деятельности Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината // Вестник Владикавказского научного центра. 2016. Т. 16. № 2. С. 55–63.
3. Гаджиев М.К., Зербалиев А.М., Омаргаджиева З.М. Экологическое состояние водных объектов Бассейна реки Терек // Бассейн реки Терек: проблемы регулирования, восстановления и реабилитации водных объектов Труды Всерос. научно-практ. конф. Отв. ред. Э.В. Запороженко. Пятигорск: ОАО «Севкавгипроводхоз», 2015. С. 41–49.
4. Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Карамурзов Б.С., Цуканова Л.Е., Лексин А.Б., Газеев В.М., Мохов А.В., Горностаева Т.А., Горбачева С.А., Жариков А.В., Шмонов В.М. Приповерхностные магматические камеры «спящего» вулкана Эльбрус (Россия): новый вид дегазации расплава, ее геохимические особенности и рудная минерализация // Вестник Владикавказского научного центра. 2009. Т. 9. № 2. С. 24–36.
5. Кайгородова Е.Н., Петров В.А. Мышьяковые и полиметаллические рудопроявления междуречья рек Чегем – Черек Балкарский (Кабардино-Балкария) // Разведка и охрана недр. 2016. № 2. С. 3–8.
6. Реутова Т.В., Воробьева Т.И., Гущина Л.П., Жинжакова Л.З., Чередник Е.А. Оценка уровня загрязнения рек Центрального Кавказа по результатам 10-летнего мониторинга // Бассейн реки Терек: проблемы регулирования, восстановления и реабилитации водных объектов. Труды Всерос. научно-практ. конф. Отв. ред. Э.В. Запороженко. Пятигорск: ОАО «Севкавгипроводхоз», 2015. С. 232–237.
7. Реутова Т.В., Воробьева Т.И., Гущина Л.П., Черняк М.М. О необходимости оценки подверженности рекреационных территорий техногенному влиянию на примере Национального парка Приэльбрусье // Метеоспектр. 2005. № 3. С. 93–98.
8. Реутова Т.В., Дреева Ф.Р., Реутова Н.В. Сопоставительный анализ основных водных артерий Кабардино-Балкарской республики по содержанию молибдена // Бассейн реки Терек: проблемы регулирования, восстановления и реабилитации водных объектов. Труды Всерос. научно-практ. конф. Отв.

ред. Э.В. Запороженко. Пятигорск: ОАО «Севкавгипроводхоз», 2015. С. 238–242.

9. Реутова Т.В., Реутова Н.В., Цепкова Н.Л. Сравнительная характеристика посттехногенного и фоновых ландшафтов в районе Северной депрессии Центрального Кавказа // Матер. V Междунар. конф. «Устойчивое развитие горных территорий: проблемы и перспективы интеграции науки и образования». Владикавказ: ИК «Терек», 2004. С. 262–264.

REFERENCES

1. Bortnikov, N.S., Gurbanov, A.G., Bogatikov, O.A., Karamurзов, B.S., Dokuchaev, A. Ya., Leksin, A.B., Gazeev, V.M., Shevchenko, A.V. *Otsenka vozdeistviya zakhoronennykh promyshlennykh otkhodov Tyrnyauzskogo vol'framomolibdenovogo kombinata na ekologicheskuyu obstanovku (pochvenno-rastitel'nyi sloi) priliegayushchikh territorii Priel'brus'ya (Kabardino-Balkarskaya Respublika, Rossiya)* [Influence of buried industrial waste from Tyrnyauz tungsten-molybdenum mining complex on the ecologic conditions (soil-plant layer) in the Elbrus area (Kabardian-Balkar Republic)]. *Geoekologiya*, 2013, no. 5, pp. 405–416 (in Russian).
2. Vinokurov, S.F., Gurbanov, A.G., Bogatikov, O.A., Karamurзов, B.S., Gazeev, V.M., Leksin, A.B., Shevchenko, A.V., Dolov, S.M., Dudarov, Z.I., Gurbanova, O.A. *Sezonnye kolebaniya kontsentratsii makro- i mikroelementov i formy ikh migratsii v poverkhnostnykh vodotokakh v raione deyatel'nosti Tyrnyauzskogo vol'framomolibdenovogo kombinata* [The seasonal variation of macro- and microelement concentration and forms of their migration in surface channels at the Tyrnyauz tungsten-molybdenum mining complex (Kabardian-Balkar Republic, Russia)]. *Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo tsentra*, 2016, vol.16, no. 2, pp. 55–63 (in Russian).
3. Gadzhiev, M.K., Zerbaliyev, A.M., Omargadzhieva, Z.M. [The ecological status of water bodies in the Terek river basins]. *Trudy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Bassein reki Terek: problemy regulirovaniya, vosstanovleniya i reabilitatsii vodnykh ob'ektov"* [Proc. of Russian scientific-practical conference "The basin of the Terek River: problems of regulation, reconstruction and rehabilitation of water bodies"], Makhachkala – Pyatigorsk, 2015, pp. 41–49 (in Russian).
4. Gurbanov, A.G., Bogatikov, O.A., Karamurзов, B.S., et al. *Pripoverkhnostnye magmaticheskie kamery «spyashchego» vulkana El'brus (Rossiya): novyi vid degazatsii rasplava, ee geokhimicheskie osobennosti i rudnaya mineralizatsiya* [Near-surface magmatic chamber of a dormant volcano Elbrus (Russia): a new type of degassing of the melt, its geochemical characteristics and ore mineralization]. *Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo tsentra*, 2009, vol.9, no. 2, pp. 24–36 (in Russian).
5. Kaigorodova, E.N., Petrov, V.A. *Mysh'jakovyie i polimetallicheskie rudoproyavleniya mezhdurech'ya rek Chegem – Cherek Balkarskii (Kabardino-Balkariya)*

- [Arsenic and base metal ore occurrences of Chegem – Cherek Balkarsky interfluvial area (Kabardino-Balkarian Republic)]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2016, no. 2, pp. 3–8 (in Russian).
6. Reutova, T.V., Vorob'eva, T.I., Gushchina, L.P., Zhinzhakova, L.Z., Cherednik, E.A. [Assessment of pollution levels of rivers in Central Caucasus based on the results of 10-year monitoring]. *Trudy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Bassein reki Terek: problemy regulirovaniya, vosstanovleniya i reabilitatsii vodnykh ob'ektov"* [Proc. of Russian scientific-practical conference "The basin of the Terek River: the problems in regulation, reconstruction and rehabilitation of water bodies"]. Makhachkala – Pyatigorsk, 2015, pp. 232–237 (in Russian).
 7. Reutova, T.V., Vorob'eva, T.I., Gushchina, L.P., Chernyak, M.M. *O neobkhodimosti otsenki podverzhennosti rekreatsionnykh territorii tekhnogennomu vliyaniyu na primere Natsional'nogo parka Priel'brus'e* [On the need to assess the exposure of recreational areas to anthropogenic influence by the example of Elbrus National Park]. *Meteospektr*, 2005, no. 3, pp. 93–98 (in Russ.).
 8. Reutova, T.V., Dreeva, F.R., Reutova N.V. [Comparative analysis of main rivers of Kabardino-Balkaria on molybdenum content]. *Trudy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Bassein reki Terek: problemy regulirovaniya, vosstanovleniya i reabilitatsii vodnykh ob'ektov"* [Proc. of Russian scientific-practical conference "The basin of the Terek river: problems of regulation, reconstruction and rehabilitation of water objects"]. Makhachkala – Pyatigorsk, 2015, pp. 238–242 (in Russian).
 9. Reutova, T.V., Reutova, N.V., Tsepkova, N.L. [Comparative characteristics of post tectonic and background landscapes in the Northern depression of the Central Caucasus]. *Materialy V Mezhdunarodnoi konferentsii «Ustoichivoe razvitiye gornyykh territorii: problemy i perspektivy integratsii nauki i obrazovaniya»* [Materials of the 5th International conference "Sustainable development of mountain territories: problems and prospects of integration of science and education"]. Vladikavkaz, 2004, pp. 262–264 (in Russian).

NATURAL AND ANTHROPOGENIC MOLYBDENUM POLLUTION OF WATER BODIES IN THE CENTRAL CAUCASUS AND ITS BIOINDICATION

T.V. Reutova, F.R. Dreeva, N.V. Reutova

*Federal research center "Kabardino-Balkar scientific center of the Russian Academy of Sciences",
ul. Balkarova 2, Nal'chik, Kabardino-Balkaria Republic, 360010 Russia.
E-mail: reutova371@mail.ru*

In the region of Central Caucasus there is a large deposit of molybdenum. It was intensively developed for a long time. Mining and ore dressing was done in Tyznyauz. Further processing takes place in Nalchik, metal smelting from concentrate is in Vladikavkaz. Modern orogenesis and volcanism are still active in this region at present. The aim of the research was the investigation of natural and anthropogenic contents of molybdenum in water and assessing the possibility of indicating the spatial pollution with plants. The investigation was done in 2013–2016. It included the main rivers (Malka, Chegem, Cherek rivers and anthropogenically affected Baksan river) and their glacial and nonglacial (of underground recharge) tributaries in the mountain zone. Concentrations of Mo were determined by AAS method with electrothermal atomization. Besides, leaves and branches of widespread bushes willow (*Salix*) and sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides caucasica Rousi*) from river valleys were analyzed for Mo content. The latter served as an indicator because it selectively accumulated molybdenum up to 200 µg/g on the tailing dump.

Average concentrations in the most of water objects didn't exceed 1.5 µg/l. In anthropogenically polluted Baksan river the values increased to 5.7÷8.3 µg/l. The maximal concentrations were twice larger than the average ones. Some areas not related to mining, where water springs of underground alimentation contained high concentrations of Mo, were identified. They include the southern slope of Elbrus, the head of the Adylsu River, a vast zone (of over 50 km) beneath the Skalysty ridge and the right bank in the upper reaches of Cherek River. Their location indicates the relationship with the modern minerageny (Elbrus slopes), the ore oxidation and the dispersion of Mo from ancient ore belts. The variation in Mo concentration in the water bodies with its high natural content and in the group of anthropogenic polluted river water overlap partially. In some cases, the average concentrations have similar values. The waterway migration of molybdenum from the tailings can be traced according to its concentrations in plants of sea buckthorn. These plants also had elevated levels of Mo in anthropogenic polluted town Tyznyauz and natural polluted area in gorge Adylsu. The more was contamination level, the more were differences between two plants willow and sea buckthorn.

Key words: *pollution, molybdenum, natural waters, bioindication, the Central Caucasus.*