

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД Р. АРДОН, ЕГО СТЕПЕНЬ И МАСШТАБЫ ПРОЯВЛЕНИЯ, ОЦЕНЕННЫЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ПРОБ ВОДЫ ИЗ КОНТРОЛЬНЫХ ПУНКТОВ (РСО-А)

А.Г. Гурбанов¹, А.Б. Лолаев², А.Б. Лексин³, С.О. Дзедобоев⁴, В.М. Газеев⁵, А.Я. Докучаев⁶, Л.Е. Цуканова⁷, О.А. Гурбанова⁸, А.Х. Оганесян⁹, В.Э. Илаев¹⁰, М.Н. Баранова¹¹

Аннотация. В статье доказывается, что основным источником с максимальной степенью техногенного загрязнения вод р. Ардон является хвостохранилище с «защитным» озером и с аномально загрязненной водой, сливаемой из него по дренажной системе в р. Ардон, в то время как ее притоки (рр. Садонка, Архондон, Уналдон) имеют второстепенное значение в этом процессе. По данным опробования р. Ардон до г. Алагир, масштабы ее загрязнения пока оцениваются в 20 км (от хвостохранилища до г. Алагир) и 30 км (от устья р. Садонки до г. Алагир). Из-за отсутствия колодезей или скважин для питьевого водоснабжения в водоносных аллювиальных горизонтах в долине р. Ардон, на отрезке от хвостохранилища и ниже по ее течению до г. Алагир (расположен на равнине), до сих пор неизвестна степень их загрязнения за счет инфильтрации аномально загрязненных вод «защитного» (от ветровой эрозии) озера в подземную гидросферу, в которой могут накапливаться экологически опасные элементы. Выявленные вариации концентраций макро- и микроэлементов в водах «защитного» озера обусловлены тем, что на МГОФ, кроме руд ССЦК, могли перерабатываться кеки с завода «Электроцинк» и руды с других объектов, содержащие As, Bi, Sb, V, Cr, B, Mo, W в значительных количествах. Разные скорости течения р. Ардон в каньоне (2.3 м/сек на отрезке от хвостохранилища и до курорта Тамиск) и на равнине (1.6–1.5 м/сек в районе г. Алагир) могли привести к дифференцированному отложению тонкодисперсного материала хвостов в донных речных отложениях. Их мощность, а соответственно и загрязняющее воздействие на воду реки в каньоне, будет меньше, чем при выходе реки на предгорную равнину, что подтверждено результатами геохимических исследований.

Ключевые слова: хвостохранилище промышленных отходов флотации, Мизурская обогащательная фабрика, вода в «защитном» озере, аномальные концентрации элементов, главный техногенный источник загрязнения, экологически опасные элементы, вода реки Ардон.

ВВЕДЕНИЕ

Для решения поставленных задач важно было учитывать, что на протяжении 55 лет (до 1 января 1984 года) промышленные отходы («хвосты») Мизурской горно-обогатительной фабрики (МГОФ), с производительностью до 20 000 тонн руды в сутки от переработки руд, складировались в чаше временного хвостохранилища (в узкой боковой долине левого притока р. Ардон), расположенного над пос. Мизур. МГОФ в этот период времени работала в режиме зимнего хранения хвостов и ежегодного полного их сбрасывания в р. Ардон в паводковый период. Это, вместе с попаданием в реку шахтных и производственных стоков, привело к сильному

загрязнению речной воды и аллювиальных донных отложений **Pb, Zn, Cu, Cd, As, Ti, Sb, B, Si, Na, Al, Fe** и др. на всем ее протяжении до впадения в р. Терек и, возможно, далее, вплоть до Каспия, что могло привести к экологической катастрофе федерального уровня. Поэтому в 1984 г. в левом борту долины р. Ардон, в ее пойме в 500 м севернее сел. Унал, было построено новое Унальское хвостохранилище МГОФ.

В связи с тем, что Унальское хвостохранилище МГОФ оказывает интенсивное и постоянное негативное воздействие на экосистему Алагирского района в течение многих десятков лет [5; 6; 7; 8; 1; 2], были проведены комплексные исследования поверхностных водотоков в районе деятельности Са-

¹ Гурбанов Анатолий Георгиевич – к. г.-м. н., в. н. с. КНИО ВНЦ РАН, г. Владикавказ; в. н. с. лаборатории петрографии ИГЕМ РАН, г. Москва (gurbanov@igem.ru).

² Лолаев Алан Батразович – д. т. н., профессор, зав. каф. ФГБОУ СКГМИ (ГТУ), гл. н. с. КНИО ВНЦ РАН, г. Владикавказ (abl-2010@mail.ru).

³ Лексин Алексей Борисович – сотрудник лаборатории «Геоинформатики», ИГЕМ РАН, г. Москва (lexin@igem.ru).

⁴ Дзедобоев Станислав Олегович – аспирант ФГБОУ СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ (dzeboev.stas@mail.ru).

⁵ Газеев Виктор Магалумович – к. г.-м. н., с. н. с. КНИО ВНЦ РАН, г. Владикавказ; н. с. лаборатории петрографии ИГЕМ РАН, г. Москва (gazeev@igem.ru).

⁶ Докучаев Александр Яковлевич – к. г.-м. н., с. н. с. ИГЕМ РАН.

⁷ Цуканова Лада Евгеньевна – н. с. НИИ Физики ЮФУ, г. Ростов на Дону (gur_o@mail.ru).

⁸ Оганесян Алексан Хачатурович – к. т. н. доцент, «СКГМИ (государственный технологический университет)», г. Владикавказ, к. т. н., н. с.; ВНЦ РАН, Россия, г. Владикавказ (pushkin1984@rambler.ru).

⁹ Гурбанова Ольга Александровна – к. х. н., ассистент кафедры минералогии и кристаллохимии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва.

¹⁰ Илаев Виталий Эрикович – аспирант ФГБОУ СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ (ive.2015@yandex.ru).

¹¹ Баранова Мария Николаевна – старший лаборант лаборатория Геоинформатики ИГЕМ РАН, Россия, г. Москва (hibari@mail.ru).

донской свинцово-цинковой компании (ССЦК) и на прилегающих территориях в бассейне р. Ардон (с притоками) для геохимической характеристики отобранных проб воды. Были определены содержания макро- и микроэлементов в водах в контрольных пунктах р. Ардон – основной водной артерии, дренирующей (вместе с боковыми притоками) район деятельности ССЦК от ее верховий (район пос. Бурон) и до выхода на предгорную равнину (южная окраина г. Алагира).

Комплексные исследования проводились в июле 2015 г. Полученные результаты геохимических анализов позволили выявить в воде р. Ардон, при ее выходе на предгорную равнину, аномальные концентрации ряда макро- и микроэлементов (**Pb, Zn, As, Bi, Cu, S, Ti** и др.), характерных для руд Садонского рудного поля. Для выявления главных техногенных и природных источников загрязнения вод р. Ардон были отобраны и проанализированы пробы из: контрольных пунктов р. Ардон и ее основных притоков; «защитного» (от эоловой эрозии пляжной части) озера, расположенного на поверхности Унальского хвостохранилища; из пульпопровода. Хвостохранилище находится в густонаселенном районе в долине р. Ардон, в 500 м севернее сел. Унал и напротив сел. Зинцар. Его площадь около 60 000 м², а высота насыпной дамбы до 30 м. В нем захоронено 2.6 млн тонн промышленных отходов с содержаниями, по данным МГОФ (в мас. %): **Pb** – 0.21, **Zn** – 0.32, **Cu** – 0.1, **Fe** – 6.2, **Ti** – 0.18, **Mn** – 0.16 и **Ag** – 4.2 г/т. Важно отметить, что ложем хвостохранилища являются аллювиальные галечники и пески р. Ардон, через которые может осуществляться инфильтрация аномально загрязненных вод «защитного» озера в подземную гидросферу. Восточный борт хвостохранилища отделен от русла р. Ардон насыпной дамбой, укрепленной с низовой стороны железобетонной подпорной стеной, западный – близко (до 20 м) подходит к автотрассе «Транскам». Хвосты обогащения трубопроводным гидротранспортом подаются в чашу хранилища, в которой устроено водосборное сооружение шахтного типа с отводящим трубопроводом, по которому осуществляется сброс в р. Ардон осветленной части «воды» из поверхностного (до 0.2–0.3 м) слоя «защитного» озера.

При интенсивном орошении значительная часть (до 80–90 %) хвостов находится под зеркалом воды, что затрудняет как ветровую эрозию пляжной части, так и доступ кислорода в глубокие слои, это замедляет процессы окисления находящихся в хвостах сульфидов [1].

МЕТОДИКА ОТБОРА ПРОБ И МЕТОД ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленных задач была разработана схема опробования (рис. 1), включающая отбор проб воды как из контрольных пунктов в р. Ардон, расположенных выше (фоновая проба на южной окраине пос. Бурон) и ниже (включая выход

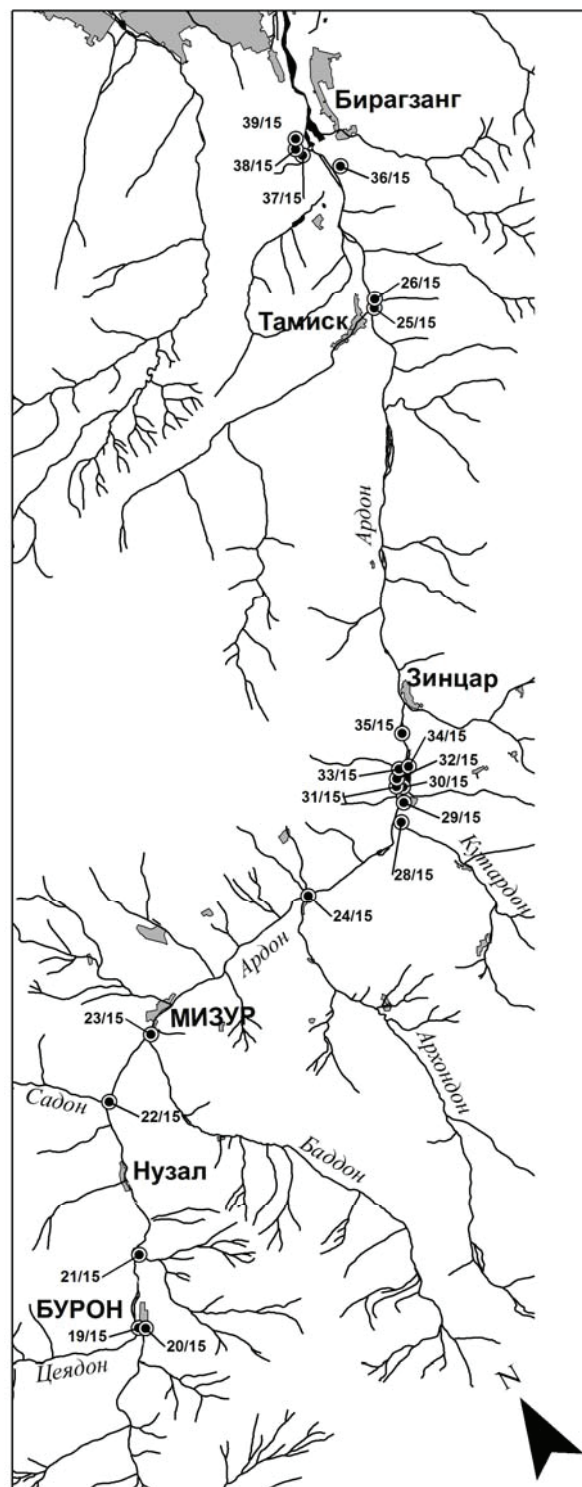


Рис. 1. Места расположения контрольных пунктов опробования вод р. Ардон и ее притоков

реки на предгорную равнину) по течению от Садонской группы месторождений и хвостохранилища, так и из устьев ее основных притоков, загрязненных стекающими в них шахтными водами. Следует отметить, что на рис. 1 показаны места отбора проб в 2015 году, однако отбор проб в 2010, 2013 и 2014 годах осуществлялся с помощью GPS-приемников

в тех же самых местах, что и в 2015 г. Такая схема опробования и анализ проб проводились для выявления основных источников загрязнения главной водной артерии района – р. Ардон и ее притоков. Кроме того, пробы воды отбирались и из «защитного озера» Унальского хвостохранилища. При опробовании учитывались погодные условия: приоритетным было продолжительное отсутствие дождей, так как дождевая вода довольно сильно разбавила бы (в неизвестной степени) речную воду и исказила бы истинные концентрации в ней макро- и микроэлементов.

Пробы воды отбирались в чистые 0.33 мл пластиковые бутылки и подкислялись 1 мл 10 % азотной кислоты и герметично закрывались.

Элементный анализ проб воды проведен атомно-эмиссионным (iCAP-6500, Thermo Scientific, США) и масс-спектральными методами с индуктивно связанной плазмой ICP-MS (X-7, Thermo Elemental, США) в Аналитическом сертификационном испытательном центре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН) с использованием стандартного образца питьевой воды «Trace Metals in Drinking Water» производства High-Purity Standards (США) [2]. При МС-измерениях пробы разбавляли в 20 раз.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОБ ВОДЫ ИЗ КОНТРОЛЬНЫХ ПУНКТОВ

Результаты аналитических исследований отобранных в контрольных пунктах в 2015 г. проб воды приведены в *таблице 1*.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОБ ВОДЫ

В пробах определялись концентрации широкого круга элементов (*таблица 1*). При анализе концентраций элементов выделены те из них, концентрации которых превышают ПДК для питьевой воды в разы, и поэтому они несут угрозу окружающей среде по различным классам опасности. Выделяют следующие классы опасности элементов: **1-й класс** (Tl, U, As, Be, Hg) – чрезвычайно опасные. Экологическая система необратимо нарушена. Период восстановления отсутствует. **2-й класс** (Cd, Sb, W, Bi, B, Na, Si, Cr, Co, Ni, Sr, Ba, Pb, Li, Cd, Sb, W, Bi) – высоко опасные. Экологическая система сильно нарушена. Период восстановления не менее 30 лет после полного устранения источника вредного воздействия. **3-й класс** (Mo, Mg, Al, Ti, V, Mn, Fe, Cu, Zn) – умеренно опасные. Экологическая система нарушена. Период восстановления не менее 10 лет после снижения вредного воздействия от существующего источника. **4-й класс** (S, K, Ca) – малоопасные. Экологическая система нарушена. Период восстановления не менее 3 лет.

Для выявления основных техногенных и природных источников загрязнения вод р. Ардон, а также степени и масштабов его проявления была взята фоновая проба (ФП) из р. Ардон на южной окраине пос. Бурон, в которой не было выявлено превышений ПДК ни по одному элементу, и находится это место за пределами Садонского рудного поля.

Для сравнительного анализа с ФП были опробованы боковые притоки р. Ардон, в долинах которых расположены полиметаллические месторождения Садонского рудного поля. Для получения суммарного результата по загрязнению вод этих боковых притоков самоизливающимися шахтными водами пробы отбирались в их устьях.

Определение степени, масштабов и основных источников загрязнения вод р. Ардон в целом на отрезке от пос. Бурон (ФП 20/15) до хвостохранилища (проба 29/15 – в 300 м перед хвостохранилищем, т. е. за счет боковых притоков) и на предгорной равнине на южной окраине г. Алагир (проба 36/15), т. е. суммарное загрязнение.

Содержание макро- и микроэлементов в фоновой пробе (ФП) 20 /15 (левый берег р. Ардон на южной окраине пос. Бурон) приведено в *таблице 1*. В пробе 29/15, при ее сравнении с ФП, установлены повышенные (в разы) содержания: Al, V, Fe, Co, U – в 1.5; P, Ti, Mo, Tl – в 1.4; Cr, Ni, Cu – в 1.6; Mn, Be, Zr, Cs, La, Ce, Th – в 1.3; Zn – в 4.5; As – в 10.2; Pb – в 3.8; Ag – в 2.2; Cd – в 4.4; Sn – в 2.5; Sb – в 2.3; Bi – в 1.9 раза. Эти данные показали, что в р. Ардон перед Унальским хвостохранилищем произошло загрязнение ее вод вышеуказанными элементами за счет техногенных источников – шахтных вод, стекающих в боковые притоки, но ПДК (для питьевой воды) превышены (в разы) только для Al – в 9.9, Fe – в 11, As – в 1.3. Степень загрязнения оценивается как низкая, а масштабы – в 10 км.

Для оценки степени и масштабов загрязнения воды р. Ардон природными и техногенными постоянными источниками проведен сравнительный анализ проб воды, отобранных в пос. Бурон (ФП 20/15) и в г. Алагир (проба 36/15) на предгорной равнине, а также от Унальского хвостохранилища (проба 35/15) до г. Алагир (проба 36/15).

От пос. Бурон до г. Алагир. Сравнительный анализ проб 36/15 и ФП 20/15 показал, что в р. Ардон на протяжении 48 км от пос. Бурон и до г. Алагир произошло загрязнение вод за счет воздействия хвостохранилища с «защитным» озером и боковых притоков р. Ардон, выразившееся в увеличении (в разы) концентраций: В – в 5.1; Na – в 271; Mg, V и Fe – в 1.5; Al – в 1.8; Si – в 4.7; P – в 15; S – в 32.4; K – в 15.9; Ca – в 2.2; Ti – в 1.3; Mn и Y – в 1.4; Co и Rb – в 1.9; Ni – в 4.5; Cu – в 3.4; Zn – в 19.6; As – в 549; Ba – в 1.7; Pb – в 7.6; Zr – в 12.7; Mo – в 22; Sn – в 156; Sb – в 358; Cs – в 1.6; La и Ce – в 1.7; W – в 27.8; Tl – в 1.8; Bi – в 45.4; U – в 1.8, но превышение (в разы) ПДК установлено для: Al – в 12.9; Fe – в 10.7; As – в 71; Sb – в 11.9. Приведенные данные показали среднюю степень загрязнения техногенными (хвостохранилище и шахтные воды)

Таблица 1
Содержание макро- и микроэлементов в пробах воды в контрольных пунктах р. Ардон (содержания в мкг/л, а с Li в нг/л)

Эл-нт	ПО, мкг/л	ПДК мг/л	Класс опасности	19/15	20/15	21/15	22/15	23/15	24/15	25/15	26/15	28/15	29/15
B	0.8	0.5	2	4.1	19.3	3.2	16.8	2.3	5.8	8.0	21.7	14.2	17.3
Na	9	200	2	1506	2771	1746	5608	1537	2645	1187	4293	4277	2897
Mg	4	50	3	3240	5930	3004	6256	2875	5158	4651	8369	5033	5857
Al	0.8	0.2 (0.5)	3	3091	1330	402	540	1980	5628	132	3394	137	1983
Si	8	10	2	7719	4593	3463	3825	4824	10909	2134	8112	4135	5585
P	12			135	50.0	< ПО	21.9	71.5	265	16.0	160	< ПО	68.2
S	35			4691	8056	14420	10615	9108	12172	2332	11790	17635	8848
K	2			1574	874	920	976	1135	2054	544	1402	636	1147
Ca	8			11319	25078	24789	27803	14522	17837	52629	34388	22542	25968
Ti	0.7	0.1	3	142	48.8	16.2	2.0	67.0	160	1.8	102	1.0	68.4
V	0.1	0.1	3	6.8	2.4	0.80	0.68	3.5	12.7	0.44	6.8	0.12	3.7
Cr	0.6	0.05	2	4.4	2.1	< 0.8	< 1.1	3.9	11.1	< ПО	6.1	< ПО	3.3
Mn	0.04	0.1	3	81.2	51.4	8.3	28.2	53.3	173	8.2	135	9.6	68.8
Fe	7	0.3	3	5028	2172	620	1081	3370	9979	216	6321	202	3300
Co	0.06	0.1	2	1.8	0.87	0.22	0.63	1.3	4.4	< ПО	2.4	0.36	1.3
Ni	0.2	0.02	2	3.9	1.9	0.35	1.3	4.0	11.7	< ПО	6.1	1.6	3.1
Cu	0.2	1	3	2.9	1.8	0.90	1.8	2.8	9.7	0.87	5.5	3.2	3.0
Zn	0.5	1	3	8.4	4.1	1.6	22.4	7.7	36.1	2.8	32.8	188	18.4
As	0.07	0.01	1	2.9	1.3	4.7	1.1	1.6	24.6	2.6	52.7	17.8	13.3
Sr	0.05	7	2	31.2	149	31.1	81.5	30.3	44.9	446	275	76.8	129
Ba	0.01	0.7	2	19.5	9.2	5.4	10.7	6.5	14.3	12.2	17.2	6.3	10.8
Pb	0.01	0.01	2	1.9	1.2	0.31	4.2	1.5	15.4	0.30	13.5	2.9	4.5
Li	5	0.03	2	1991	5602	756	4284	2466	7281	1418	7859	2759	4587
Be	5	0.0002	1	88.1	58.6	34.2	32.8	65.1	169	11.2	133	42.1	73.7
Rb	9			5423	2519	2610	1059	2746	7677	406	4921	490	3373
Y	3			1748	773	264	292	951	1915	92.9	1716	150	956
Zr	5			14.9	15.0	9.8	9.8	37.8	29.0	14.6	31.0	6.6	19.0

Продолжение таблицы 1

Эл- нт	ПО, нг/л	ПДК, мг/л	Класс опасности	19/15	20/15	21/15	22/15	23/15	24/15	25/15	26/15	28/15	29/15
Nb	3			58.3	61.7	40.3	3.1	54.5	63.0	<ПО	75.2	<ПО	59.4
Mo	9	0.07	3	458	247	2370	473	374	321	562	372	656	347
Ag	3			5.4	4.5	<ПО	7.3	4.8	50.7	<ПО	28.0	3.7	9.7
Cd	6	0.001	2	28.5	10.2	<ПО	86.0	7.7	101	8.0	114	670	44.5
In	4			<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<9	<ПО	<19	<ПО	<9
Sn	6			28.8	32.8	19.8	21.1	23.1	38.7	38.0	113	33.7	80.5
Sb	3	0.005	2	207	166	127	169	162	305	225	2615	1069	933
Te	4			<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<28	<ПО	<44	<31	<16
Cs	0.3			602	256	67.1	161	186	940	20.6	487	26.6	329
La	3			1671	606	231	192	1148	1358	146	1480	152	811
Ce	4			3582	1333	487	538	2476	3376	338	3270	420	1784
Pr	0.5			417	157.0	59.7	64.7	289.7	435.3	38.2	409	37.2	214
Nd	1			1697	680	249	311	1193	1969	162	1733	171	915
Sm	0.4			388	166	56.5	88.2	256	497	33.8	430	42.9	218
Eu	0.3			68.4	28.8	6.7	20.5	48.9	97.0	6.5	81.2	8.1	42.0
Gd	0.4			410	176	63.8	99.0	261	527	33.9	454	46.6	237
Tb	0.3			62.7	28.3	10.1	13.7	37.6	79.5	4.5	67.9	6.4	35.7
Dy	0.2			366	159	53.5	71.4	214	429	23.9	381	32.6	206
Ho	0.4			67.0	29.0	9.3	11.2	37.2	77.3	3.6	67.2	5.7	37.5
Er	0.3			196	84.0	25.0	25.5	102	207	10.0	181	14.2	107
Tm	0.2			24.9	11.2	3.8	3.1	13.1	25.4	1.0	23.3	1.4	13.3
Yb	0.3			141	58.5	18.5	15.3	68.7	142	6.7	130.1	8.8	75.4
Lu	0.3			21.6	10.2	3.2	2.0	9.3	20.0	0.78	18.8	1.1	10.9
Hf	0.4			3.0	1.4	0.7	1.0	2.5	4.6	1.0	3.6	<ПО	2.5
Ta	0.9			2.5	1.0	<ПО	<ПО	1.3	3.2	<ПО	3.1	<ПО	1.2
W	3	0.05	2	7.4	10.5	78.3	17.8	10.9	53.7	3.5	33.6	22.1	24.3
Re	0.5			1.4	<ПО	3.3	<ПО	1.0	<ПО	3.3	1.1	<ПО	1.2
Tl	0.4	0.0001	1	45.3	18.0	11.0	5.5	20.3	67.7	4.7	42.1	2.4	24.6
Bi	1.8	0.1	2	14.9	13.8	8.2	12.7	21.4	262	6.0	82.2	7.0	27.2
Th	2.1			867	397	292	70.2	471	1039	31.4	971	29.8	511
U	0.8	0.015	1	1456	517	9361	1979	605	490	358	805	632	780

Продолжение таблицы 1

Эл-нт	ПО, мкг/л	ПДК, мг/л	Класс опасности	30/15	31/15	32/15	33/15	34/15	35/15	36/15	30/15-1
B	0.8	0.50	2	175	278	276	277	274	18.3	99.4	177
Na	9	200	2	1110898	3310442	3142955	3152484	3096475	7389	751670	1106074
Mg	4	50	3	25246	177	171	7555	234	5743	8678	24589
Al	0.8	0.2 (0.5)	3	3194	6190	5775	5443	5533	2592	2336	30129
Si	8	10	2	62549	68700	69614	68703	67450	5635	21475	104517
P	12			949	2294	2377	3137	2222	263	792	< ПО
S	35		4	237097	872264	968669	994852	960940	10560	260718	224033
K	2		4	25350	55891	57086	57385	51814	1176	13963	22539
Ca	8		4	455732	17363	18341	863275	19389	25590	56709	150497
Ti	0.7	0.1	4	215	25.2	19.0	22.8	21.2	64.4	35.4	147
V	0.1	0.1	3	55.5	522	507	505	511	3.7	116	127
Cr	0.6	0.05	2	60.6	43.2	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	22.7	102
Mn	0.04	0.1	4	6323	38.6	26.5	33.5	21.6	71.5	42.7	7109
Fe	7	0.3	4	102410	706	520	1306	477	3205	1491	121703
Co	0.06	0.1	2	21.5	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	1.7	< ПО	23.5
Ni	0.2	0.02	3	54.1	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	8.5	8.5	64.3
Cu	0.2	1		12223	146	133	125	54.1	6.1	18.7	3924
Zn	0.5	1	3	240862	1504	1528	886	1073	80.5	594	238552
As	0.07	0.01	1	107113	458619	453513	459969	456441	714	107166	104365
Sr	0.05	7	2	3312	626	603	600	544	134	1043	2646
Ba	0.01	0.7	4	2527	182	175	158	138	15.6	44.7	306
Pb	0.01	0.01	2	30740	440	513	349	221	9.1	51.0	32020
Li	5	0.03	2	33778	20116	23805	29187	20897	5796	13817	32231
Be	5	0.0002	1	974	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	1694
Rb	9			37356	99650	96622	97075	96519	4680	25882	37335
Y	3			14283	99.3	66.2	140	< ПО	1098	675	17560
Zr	5			4800	827	376	485	344	191	279	373
Nb	3			918	314	258	261	258	86.4	97.3	74.3
Mo	9	0.07	3	129840	1041910	1012410	1023010	1021010	5471	241010	106070
Ag	3			3902	< ПО	208	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО
Cd	6	0.001	2	1788275	15599	13358	6294	6427	< ПО	328	1515384
In	4			1022791	11545	14253	8133	9075	< ПО	499	899791
Sn	6			4379831	633031	922431	887435	916835	5137	66011	356031
Sb	3	0.005	2	6139958	29279958	28379958	28839958	28019958	59498	7067958	5247958
Te	4			720513	87426	387585	73670	193479	< ПО	5035	307617
Cs	0.3			2188	1770	1693	1701	1570	410	664	2212

Продолжение таблицы 1

Эл- нт	ПО, нг/л	ПДК, мг/л	Класс опасности	30/15	31/15	32/15	33/15	34/15	35/15	36/15	30/15-1
La	3			13783	1954	1859	2005	1817	1050	1140	11605
Ce	4			26033	246	251	388	206	2299	1569	27573
Pr	0.5			3097	31.2	23.4	37.0	22.2	275	181	3809
Nd	1			12604	101	83.3	160	46.9	1072	746	16622
Sm	0.4			2928	26.2	23.8	9.4	16.5	249	183	3792
Eu	0.3			596	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	49.3	31.3	795
Gd	0.4			3056	25.5	21.7	39.8	28.6	248	183	3914
Tb	0.3			437	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	39.6	28.3	578
Dy	0.2			2685	19.7	16.0	28.3	11.1	213	149	3345
Ho	0.4			474	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	41.5	22.7	628
Er	0.3			1377	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	99.4	68.6	1843
Tm	0.2			186	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	15.8	10.0	228
Yb	0.3			1137	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	64.8	54.3	1512
Lu	0.3			155	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	8.7	7.6	218
Hf	0.4			150	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	8.4	29
Ta	0.9			< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО
W	3	0.05	2	13347	103448	105225	105848	106005	292	25345	475
Re	0.5			685	2429	2343	2419	2421	< ПО	558	244
Tl	0.4	0.0001	1	12399	134	96.0	97.3	100	32.1	20.9	7346
Bi	1.8	0.1	2	73150	996	778	518	771	626	718	18811
Th	2.1			1898	164	83.1	77.0	58.2	491	127	396
U	0.8	0.015	1	8382	2776	2707	2720	2651	916	1246	11610

Примечания. Привязка проб воды: 19/15 – устье р. Цейдон; 20/15 – (фронтальная проба) – правый берега р. Ардон на южной окраине пос. Бурон; 21/15 – устье р. Большой Лавосом (правый приток р. Ардон); 22/15 – устье р. Садонка (левый приток р. Ардон); 23/15 – устье р. Бабдон (правый приток р. Ардон); 24/15 – устье р. Ардон (правый приток р. Ардон); 25/15 – устье р. Тамиск (левый приток р. Ардон) у курорта Тамиск; 26/15 – р. Ардон (конец каньона) в 200 м выше по течению от устья р. Тамиск; 28/15 – устье р. Уналдон (правый приток р. Ардон); 29/15 – из р. Ардон в 300 м выше по течению от Унальского хвостохранилища; 30/15 – отстоявшаяся за сутки прозрачная «вода» из черной жижи из пульпопровода в южной части хвостохранилища; 30-1/15 – тоже самое, что в пробе 30/15, но взятая двумя днями позже; 31/15 – из южной части «защитного» озера, западный берег; 32/15 – из центральной части «защитного» озера, западный берег; 33/15 – из северной части «защитного» озера западный берег; 34/15 – из дренажной трубы, сливающей в р. Ардон «воду» из «защитного» озера; 35/15 – из р. Ардон (левый берег) в 1 км ниже по ее течению от хвостохранилища; 36/15 – из р. Ардон (правый берег) на южной окраине г. Алагур

и природными (U и Au-W рудопроявления в верховьях р. Архон-дон) источниками вод р. Ардон на предгорной равнине перед г. Алагир, а его масштаб оценивается в 48 км.

От Унальского хвостохранилища до г. Алагир. Сравнительный анализ проб 36/15 и 35/15 показал, что в воде р. Ардон на южной окраине г. Алагир, по сравнению с водой в 1 км ниже хвостохранилища, произошло снижение (в разы) концентраций: P – в 7.5; S – в 21; Fe – в 2.2; Ti – в 1.5; и увеличение (в разы) концентраций: B – в 5.4; Na – в 3.7; Si – в 2,1; Cu – в 3.2; Zn – в 7.4; As – в 150; Pb – в 5.6; Li – в 2.4; Rb – в 5.5; Mo – в 44; Cd – в 328; Sb – в 118.8; Te – в 503; W – в 87.2; U – в 1.4. Степень загрязнения оценивается как средняя, а ее масштаб – до 20 км.

ВЫЯВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД Р. АРДОН, ОЦЕНКА ИХ СТЕПЕНИ И МАСШТАБОВ СРЕДИ БОКОВЫХ ПРИТОКОВ И ВОДЫ «ЗАЩИТНОГО» ОЗЕРА

Проба 19/15, вода из устья р. Цей-дон. Установлены превышения (в разы) ПДК для: Al – в 19.5; Fe – в 16.7. По сравнению с ФП 20/15 в ней установлены повышенные (в разы) содержания: Al и Fe – в 2.3; Si – в 1.7; P, La и Ce – в 2.7; Ti – в 2.9; V – в 2.8; Cr, Co, Ni, Zn и Ba – в 2; Cu – в 1.5; As и Rb – в 2.2; Mo – в 1.9; Cd – в 2.8; Cs – в 2.4; Tl, Th, Ta и U – в 2.5. Следовательно, вода р. Цей-дон значительно (из-за большого дебита) загрязняла в 2015 г. воду в р. Ардон вышеуказанными элементами, а природными источниками загрязнения являются многочисленные рудопроявления в долине р. Цей-дон.

Проба 21/15, вода из устья р. Большой Лабогом (правый приток р. Ардон), характеризуется повышенными (в разы), по сравнению с ФП, концентрациями: As – в 3.6; Mo – в 9.6; W – в 7.5; Re – в 6.6; U – в 18.1. Превышения ПДК не установлены ни по одному элементу. Вода р. Большой Лабогом, из-за небольшого дебита, в малой степени загрязняет (природными источниками – из рудопроявлений) воду в р. Ардон этими элементами.

Проба 22/15, вода в устье р. Садонка, характеризуется повышенными (в разы), по сравнению с ФП, концентрациями: S – в 1.3; Zn – в 5.5; Pb – в 3.5; Be – в 1.8; Rb – в 2.4; Mo – в 1.9; Ag – в 1.6; Cd – в 8.4; W – в 1.7; U – в 3.8. Вода р. Садонки из-за своего дебита слабо загрязняет воду в р. Ардон вышеуказанными элементами. Загрязнение вод р. Садонки Pb, Zn, Cd, Sb, Tl, S, U обусловлено поступлением в них шахтных вод из штолен месторождений Верхний Згид и Садон, а U поступает из базальных конгломератов нижней юры.

Проба 23/15, вода в устье р. Бад-дон. Характерны повышенные (в разы), по сравнению с ФП, концентрации: Al, Co, V, Mo – в 1.5; P и Ti – в 1.4; Cr, Zn, La и Ce – в 1.9; Fe, Cu и Bi – в 1.6; Pb – в 1.3; Li – в 2.3; Zr – в 2.5; Ni – в 2.2. Превышение ПДК (в разы) для питьевой воды установлено только для: Al – в 9.5; Fe – в 11. Вода р. Бад-дон в слабой степени загрязняет воду р. Ардон экологически опасными

элементами из-за их низких концентраций.

Проба 24/15, вода в устье р. Архон-дон. Ей присущи повышенные (в разы), по сравнению с ФП, концентрации: Al – в 4.2; Si – в 2.4; P – в 5.8; S – в 1.5; Ti – в 3.3; V и Cr – в 5.3; Mn – в 3.4; Fe – в 4.5; Ni – в 6.2; Cu – в 5.4; Zn – в 8.8; As – в 18.9; Ba – в 1.6; Pb – в 12.8; Li, Mo – в 1.3; Be – в 2.9; Rb – в 3; Y – в 2.5; Zr – в 1.9; Ag – в 11.3; Cd – в 9.9; Cs – в 3.7; W и Co – в 5.1; Tl – в 3.8; Bi – в 18.9; Th – в 2.6, а превышение (в разы) ПДК установлено для: S – в 1.2; Ti – в 1.6; Mn – в 1.7; Fe – в 33.3; As – в 2.5. Вода р. Архон-дон постоянно и в существенной степени загрязняет воду в р. Ардон вышеуказанными элементами. Повышенные содержания в воде ряда элементов обусловлены поступлением в нее шахтных вод с Архонского месторождения, а W – наличием в истоках долины Au-W рудопроявлений, ассоциирующих с дайками лиственитизированных гипербазитов фиагдонского комплекса [3].

Проба 25/15, вода из устья р. Тамиск у курорта Тамиск. В ней не установлено превышение ПДК (для питьевой воды) ни для одного из элементов, и поэтому она практически не загрязняет воды р. Ардон.

Проба 28/15, вода из устья р. Унал-дон. Ей присущи повышенные (в разы), по сравнению с ФП, концентрации: S – в 2.2; Cu – в 1.8; Zn – в 45.8; As – в 13.7; Sr – в 1.9; Ba – в 1.5; Pb – в 2.4; Mo – в 2.7; Cd – в 65.7; Sb – в 6.4; W – в 2.1; U – в 1.3. Вода р. Унал-дон в слабой степени загрязняет воду в р. Ардон вышеуказанными элементами из-за их низких концентраций, несмотря на большой дебит реки. Загрязнение вод р. Унал-дон рядом тяжелых металлов обусловлено попаданием в них шахтных вод из месторождений Холст, Джимидон, Бозанг.

Пробы 30/15 и 30-1/15 (взяты с интервалом в двое суток) – отстоявшаяся через сутки прозрачная «вода» из черной жижи, сбрасываемой по пульпопроводу в южную часть хвостохранилища. В них установлено превышение (в разы) ПДК (для питьевой воды): Na – в 5.6 и 5.5 (соответственно в пробах 30/15 и 30-1/15 – здесь и далее); Al – в 16 и 150.5; Si – в 6.2 и 10.4; S – в 23.4 и 22.4; Ti – в 2. и 1.5; V – в 0.55 и 1.27; Cr – в 1.2 и 2; Mn – в 63 и 71; Fe – в 340 и 403; Ni – в 2.7 и 3.2; Zn – в 240.8 и 238.5; As – в 10711 и 10716; Ba – в 3.6 и 0.4; Pb – в 3074 и 3202; Be – в 4.9 и 8.5; Mo – в 1.8 и 1.5; Cd – в 1788 и 1515; Sn – в 39.8 и 33.2; Sb – в 12227.8 и 1049; Tl – в 123.9 и 73.4. Следовательно, в хвостохранилище постоянно поступают хвосты обогащения, жидкая фаза которых (прозрачная «вода», появляющаяся после суток отстоя) содержит в виде коллоидной формы или истинных растворов элементы следующих классов опасности: 1-го – As, Be, Ti; 2-го – Si, Pb, Cd, Sb; 3-го – Al, Zn, Mn, Fe и 4-го – S. Такие высокие концентрации ряда элементов, не характерных для руд Садонского рудного поля, в отстоявшейся прозрачной «воде» из черной жижи, вытекающей из пульпопровода, свидетельствуют о том, что 1) на МГОФ перерабатываются привозные экологически опасные руды, или что 2) технологический процесс

флотации на МГОФ необходимо совершенствовать для снижения негативной нагрузки на экологическую обстановку региона и его главную водную артерию – реку Ардон.

Сравнительный анализ геохимических особенностей проб воды из р. Ардон, взятых в 1.0 км ниже (проба 35/15) и в 0.3 км выше (проба 29/15) по течению реки от хвостохранилища, показал, что в пробе 35/15 появились повышенные (в разы), по сравнению с пробой 29/15, концентрации: Na – в 2.6; Al, Co, Li, La, Ce и Ti – в 1.3; P – в 3.9; S – в 1.2; Ni – в 2.7; Cu и Pb – в 2; Zn – в 4.4; As – в 53.6; Ba и Rb – в 1.4; Sb – в 1001; Zr – в 10; Nb – в 1.5; Mo – в 15.8; Sn – в 63.8; W – в 12; Bi – в 23; U – в 1.2. Эти данные убедительно доказывают, что произошло значительное загрязнение вод р. Ардон водой, сливаемой из «защитного» озера и, за счет ветровой эрозии тонкодисперсного материала, обогащенного широко кругом элементов, с пляжной части хвостохранилища [4]. Превышение (в разы) ПДК (для питьевой воды) составило для: Al – 12.9; Fe – 10.6; As – 71.4; Sb – 11.9. Степень загрязнения оценивается как средняя, масштабы – в 1 км, а источник – техногенный.

Пробы «вод» 31/15 – из южной части, 32/15 – из центральной части и 33/15 – из северной части «защитного» озера, вдоль его западного берега с глубины 20–25 см. В пробах установлено превышение (в разы) ПДК (для питьевой воды): Na – в 5.6-16.6-15.7 -здесь и далее в пробах 31/15, 32/15 и 33/15 соответственно); Al – в 31-29-27; Si – в 6.8-6.9-6.8; S – в 87.2-96.8-99.4; Ca – в 0.1-0.1-4.8; V – в 5-5-5; Fe – в 2.3-1.7-4.3; Zn – в 1.5-1.5-0.88; As – в 45861-45351-45996; Pb – в 44-51.3-34.9; Mo – в 14.8-14.4-14.5; Cd – в 15.6-13.3-6; Sn – в 5.7-8.4-8; Sb – в 5840-5660-5760; W – в 2-2.1-2.1; Ti – в 1.3-0.9-0.9. Следовательно, в хвостохранилище постоянно поступают хвосты обогащения, жидкая фаза которых содержит в коллоидной форме или в виде истинных растворов элементы следующих классов опасности: 1-го – As; 2-го – Si, V, Pb, Cd, Sb; 3-го – Al, Mo и 4-го – S.

Проба 34/15 – «вода» из верхнего 3–6-сантиметрового слоя «защитного» озера, постоянно сливаемая по дренажной трубе в р. Ардон, характеризуется превышением (в разы) ПДК (для питьевой воды): Na – в 15.5; Al – в 27.5; Si – в 6.7; S – в 96; V – в 5; Fe – в 1.6; Zn – в 1.07; As – в 45644; Pb – в 22; Mo – в 14.6; Cd – в 6.4; Sn – в 8.4; Sb – в 5638; W – в 2.1. Несмотря на малый объем «воды», сливаемой в р. Ардон, она из-за высоких концентраций широкого круга элементов довольно сильно загрязняет (смотри сравнительный анализ проб 29/15 и 35/15) воду реки: Al, Zn, As, Pb, Rb, Mo, Sb, W, Ti, Y, Sn, La.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных данных показал, что:

1. Основным источником техногенного загрязнения вод главной водной артерии района деятельности ССЦК – реки Ардон – является Унальское

хвостохранилище. Загрязнение происходит двумя путями: за счет постоянного слива по дренажной системе осветленной воды из поверхностного слоя «защитного» озера и за счет ветровой эрозии тонкодисперсного материала (в нем установлены аномально высокие концентрации ряда экологически опасных элементов) [1]) с пляжной части хвостохранилища. Этот материал разносится постоянными ветрами, в виде пылевых облаков, вверх и вниз по долине на расстояние до 5–6 км, загрязняя воду р. Ардон и почвы природных пастбищ и сельхозугодий. Загрязнение достигает средней степени, а масштаб оценивается в 20 км.

2. Боковые притоки р. Ардон, имеющие техногенные (самоизливающиеся шахтные воды) и природные (уран из базальных конгломератов, а вольфрам из лиственитизированных гипербазитов фиагонского комплекса нижнеюрского возраста) [3]) источники загрязнения, в слабой степени загрязняют воду р. Ардон и поэтому относятся к второстепенным, а масштаб их негативного воздействия оценивается в 30 км.

3. Суммарная средняя степень загрязнения вод р. Ардон на южной окраине г. Алагир (проба 36/15), по сравнению с фоновой пробой ФП 20/15, определена превышением (в разы) концентраций следующих элементов в пробе 36/15: **B** – в 5.1; **Na** – в 271; **Mg, V, Fe** – в 1.5; **Al** – в 1.8; **Si** – в 4.7; **P** – в 15; **S** – в 32.4; **K** – в 15.9; **Ca** – в 2.2; **Ti** – в 1.3; **Mn, Y** – в 1.4; **Co, Rb** – в 1.9; **Ni** – в 4.5; **Cu** – в 3.4; **Zn** – в 19.6; **As** – в 549; **Ba** – в 1.7; **Pb** – в 7.6; **Zr** – в 12.7; **Mo** – в 22; **Sn** – в 156; **Sb** – в 358; **Cs** – в 1.6; **La, Ce** – в 1.7; **W** – в 27.8; **Tl** – в 1.8; **Bi** – в 45.4; **U** – в 1.8, но превышение (в разы) ПДК (для питьевой воды) установлено для: **Al** – в 12.9; **Fe** – в 10.7; **As** – в 71; **Sb** – в 11.9. Следовательно, фиксируется процесс интенсивного и постоянного загрязнения вод р. Ардон широким кругом элементов, среди которых имеются элементы: 1-го класса опасности – Ti, As; 2-го класса – Co, Ni, B, Si, Pb, W, Bi, Na, Sb; 3-го класса – Cu, Zn, Mo. Масштаб загрязнения, по данным опробования 2015 г., оценивается в 48 км. Этими данными доказано, что в воде р. Ардон постоянно накапливаются элементы трех классов опасности, которые могут проникать, путем инфильтрации, в подземную гидросферу (водоносные горизонты) и накапливаться на природных геохимических барьерах, расположенных в низовьях долины р. Ардон или в долине р. Терек, после впадения в нее р. Ардон и далее до Каспийского моря.

4. Установлены в пробах воды (31/15 – «вода» из южной, 32/15 – «вода» из центральной и 33/15 – «вода» из северной частей «защитного» озера) превышения (в разы) ПДК (для питьевой воды) для: **Na** – в 5.6-16.6-15.7 (здесь и далее для проб 31/15, 32/15 и 33/15 соответственно); **Al** – в 31-29-27; **Si** – в 6.8-6.9-6.8; **S** – в 87.2-96.8-99.4; **Ca** – в 0.1-0.1-4.8; **V** – в 5-5-5; **Fe** – в 2.3-1.7-4.3; **Zn** – в 1.5-1.5-0.88; **As** – в 45861-45351-45996; **Pb** – в 44-51.3-34.9; **Mo** – в 14.8-14.4-14.5; **Cd** – в 15.6-13.3-6; **Sn** – в 5.7-8.4-8; **Sb** – в 5840-5660-5760; **W** – в 2-2.1-2.1; **Tl** – в

1.3-0.9-0.9. Это позволило предполагать, что такие высокие концентрации ряда элементов в воде «защитного» озера, не характерных для руд Садонского рудного поля, свидетельствуют о том, что: 1) на МГОФ перерабатываются привозные с других месторождений экологически опасные руды; 2) технологический процесс флотации на МГОФ необходимо совершенствовать для снижения негативной нагрузки на экологическую обстановку региона и его главную водную артерию – р. Ардон; 3) за длительное время хранения промышленных отходов в них, под влиянием внутренних (остатки химических реагентов флотации) и внешних (нагрев воды солнечной энергией) факторов, образовались в разной степени подвижные и растворимые минеральные формы или соединения ряда металлов; 4) за счет инфильтрации эти металлы могут проникать в подземную гидросферу и загрязнять водоносные горизонты, вода из которых на равнине (г. Алагир, пос. Ардон и др.) используется для полива сельхозугодий и питьевого водоснабжения населения.

5. На отрезке от хвостохранилища и до курорта Тамиск, расположенного при выходе реки на предгорную равнину, р. Ардон протекает в каньоне, где имеет большую скорость течения (2.3 м/сек), а далее на равнине и до впадения в р. Терек ее скорость резко снижается до 1.6 м/сек в районе г. Алагир и до 1.5 м/сек ниже по течению реки. Это отразилось в разных мощностях и составах сформировавшихся донных осадков, что обусловлено тем, что на протяжении 55 лет (до 1 января 1984 г.) МГОФ (с производительностью до 20 000 тонн руды/сутки) работала в режиме зимнего хранения хвостов и ежегодного их полного сбрасывания в р. Ардон в весенний паводковый период. В результате произошло их дифференцированное отложение в аллювиальных донных речных отложениях. В каньоне, где скорость течения высокая, отложение

тонкодисперсного материала хвостов в донных осадках было минимальным, а при выходе реки на предгорную равнину, где скорость ее течения резко снижалась, оно было максимальным. Донные осадки в равнинной части реки, обогащенные рудными минералами, могут постоянно поставлять (в виде взвесей, коллоидов или истинных растворов) в воду новообразованные подвижные минеральные формы или элементы и загрязнять ее. Это подтверждено результатами сравнительного геохимического анализа проб воды на равнине и в каньоне (в районе курорта Тамиск). Так, в воде р. Ардон, в ее равнинной части (окраина г. Алагир) наблюдаются превышения (в разы), по сравнению с водой на выходе из каньона, концентрации более широкого круга элементов: **B** – в 4.6; **Na** – в 175; **Si** – в 2.6; **P** – в 4.9; **S** – в 22; **Ca** – в 1.6; **Ni** – в 1.4; **Cu** – в 3.4; **Zn** – в 18; **As** – в 20.3; **Sr** – в 3.8; **Ba** – в 2.6; **Pb** – в 3.8; **Li** – в 1.8; **Mo** – в 648; **Cd** – в 2.9; **Sn** – в 5 842; **Sb** – в 2 703; **Cs** – в 1.4; **W** – в 16.6; **Bi** – в 8.7; **U** – в 1.4.

Работа выполнена по плану НИОКТР КНИО ВНЦ РАН: АААА-А17-117060910043-8 на 2018 г. при финансовой поддержке Проекта 1.39 «Проблемно-ориентированные исследования техногенных отходов горнорудных предприятий Северного Кавказа и Забайкалья: размещение, вещественно-минеральный состав, оценка воздействия на экосистемы» в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 39 «Фундаментальные основы и энергоэффективные, ресурсосберегающие, инновационные технологии переработки минерального сырья, утилизации промышленных и бытовых отходов».

Авторы статьи выражают искреннюю благодарность главе Унальского сельского поселения Алагирского района РСО-А Т.Б. Маргиеву за постоянную и бескорыстную помощь в проведении экспедиционных работ и опробовании хвостохранилища Мизурской обогатительной фабрики и сельхозугодий в населенных пунктах района.

ЛИТЕРАТУРА

- Гурбанов А.Г., Шаззо Ю.К., Лексин А.Б. и др.** Промышленные отходы Мизурской горно-обогатительной фабрики Садонского свинцово-цинкового комбината: геохимические особенности, оценка их воздействия на экологическую обстановку прилегающих территорий (почвы и воду р. Ардон), Республика Северная Осетия -Алания // Вестник ВНЦ РАН. 2012. Т.12. №4 . С. 27–40.
- Гурбанов А.Г., Винокуров С.Ф., Газеев В.М. и др.** Содержание макро- и микроэлементов в поверхностных водах в районе деятельности Садонского свинцово-цинкового комбината (ССЦК) и на прилегающих территориях (Республика Северная Осетия-Алания, РФ) для выявления основных источников загрязнения гидросферы и меры по восстановлению экосистемы// Вестник ВНЦ РАН. 2016. Т. 16. № 2. С. 42–54.
- Гурбанов А.Г., Газеев В.М., Лексин А.Б., Докучаев А.Я. и др.** Палеогеодинамические реконструкции и минерагения раннеюрского базальт-гипербазитового фиагдонского комплекса (Республика Северная Осетия-Алания, Кавказ, РФ) по петрохимическим, геохимическим и изотопным данным // Геология и геофизика Юга России. 2017. № 4. С. 22–38.
- Гурбанов А.Г., Кусраев А.Г., Лолаев А.Б., Дзобоев С.О. и др.** Геохимические особенности промышленных отходов Мизурской горно-обогатительной фабрики (Унальское хвостохранилище, Республика Северная Осетия-Алания) как основа для оценки масштабов загрязнения ими почв прилегающих территорий // Геология и геофизика Юга России. 2018. № 1. С. ???
- Матвеев А.А., Пряничникова Е.В., Шестакова Т.В. и др.** Геохимическая оценка воздействия Унальского хвостохранилища Садонского свинцово-цинкового комбината (Северная Осетия-Алания) на окружающую среду // Изв. секции наук о Земле РАЕН. Вып. 12. М. 2004. С. 136–147.
- Пряничникова Е.В.** Оценка геолого-геохимического состояния природных сред в районе Унальского хвостохранилища ССЦК // 3-я экологическая конференция студентов и молодых ученых вузов г. Москвы «Охрана окружающей среды на пороге 3-го тысячелетия и в интересах устойчивого развития». М., 1999. С. 127–130.
- Пряничникова Е.В.** Оценка загрязнения поверхностных вод и донных отложений тяжелыми металлами в горнорудном районе // V Межвузовская молодежная научная конференция «Школа экологической геологии и рационального недропользования». СПб., 2004. С. 273–275.
- Пряничникова Е.В.** Эколого-геохимические исследования в горно-рудных районах (на примере Северной Осетии) // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. № 2. 2005. С. 48–54.