

Содержание тяжелых металлов в водных объектах района бывшего предприятия Лермонтовское производственное объединение «Алмаз»

А.В. Титов, Ю.С. Бельских, Д.В. Исаев, Н.К. Шандала, О.Б. Шашкова,
С.Е. Иванов, Ю.Е. Квачева, Т.В. Пафомова, М.П. Семенова, В.А. Сухов*

Федеральное государственное бюджетное учреждение
"Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский
биофизический центр имени А.И. Бурназяна",
Россия, 123182, Москва, ул. Живописная, д 46

*Адрес для переписки: *strategik@bk.ru*

Реферат. Мониторинг состояния водных объектов, проводимый в Ставропольском крае с 2000 г., показывает ухудшение качества поверхностных вод практически во всех крупных поверхностных водных объектах. В реках Ставрополья обнаружены тяжелые металлы 1-2-го классов опасности в концентрациях, превышающих ПДК. Наибольшее загрязнение зафиксировано в водах р. Подкумок. В реку попадают шахтные воды, вытекающие из рудника № 1 бывшего предприятия по добыче урана – Лермонтовского производственного объединения «Алмаз». В статье приведены результаты анализа содержания тяжелых металлов в воде поверхностных водных объектов района расположения бывшего рудника (пруды и озера; ручьи, в том числе вытекающие из штолен; родники и ключи), а также дана оценка возможного влияния рудника на загрязнение водных объектов.

Ключевые слова. Отвалы, поверхностные водоемы, тяжелые металлы.

The content of heavy metals in water bodies of the area of the former enterprise Lermontov production association «Almaz»

A.V. Titov, Yu.S. Belskikh, D.V. Isaev, N.K. Shandala, O.B. Shashkova, S.E.
Ivanov, Yu.E. Kvacheva, T.V. Pafomova, M.P. Semenova, V.A. Sukhov*

State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical
Biological Agency (SRC-FMBC),
46, Zhivopisnaya st., 123182, Moscow, Russian Federation

*Correspondence address: *strategik@bk.ru*

Abstract. Monitoring of the condition of water bodies carried out in the Stavropol Territory since 2000, demonstrates deterioration in the quality of surface water in almost all large reservoirs. In the rivers of the Stavropol Region heavy metals of 1st-2nd hazard classes were detected in concentrations exceeding MAC.

The highest contamination was detected in the waters of the Podkumok River. Mine waters flowing from mine No. 1 of the former uranium mining enterprise – the Lermontov Production Association «Almaz» – enter the river. The article presents the results of the analysis of the content of heavy metals in the water of surface water bodies around the former mine (ponds and lakes; streams, including those flowing from the tunnels; springs and brooks), as well as an assessment of the potential impact of the mine on the contamination of water bodies.

Keywords. Dumps, surface reservoirs, heavy metals.

Введение

Рудник № 1 расположен в пределах горного массива Бештау, в непосредственной близости от курортных городов Пятигорск, Железноводск и Минеральные Воды. На руднике № 1 Лермонтовского производственного объединения «Алмаз» (ЛПО «Алмаз») с 1950 до 1975 гг. проводились работы по добыче и переработке урановых руд. Забалансовые руды и пустые породы складировали в отвалах в районе расположения штолен. Всего на руднике № 1 находится 27 отвалов общей площадью 29.1 га (Евстратова и др., 2012; Boitsov et al., 2004).

По данным мониторинга водных объектов, проводимого в Ставропольском крае с 2000 г., наблюдается стабильно напряженная ситуация с качеством вод практически во всех крупных поверхностных водных объектах. По результатам наблюдений в 2024 г. в створе р. Подкумок (бассейн р. Кума) случаев высокого и экстремально высокого уровня загрязнения не зарегистрировано (Доклад ..., 2024)¹⁾.

Результаты анализа содержания радионуклидов в образцах воды и оценка радиационной опасности представлены в других работах (Шандала и др., 2017; Титов и др., 2020).

Наличие в грунте кварца, халцедона, кальцита, флюорита, датолита, пирита, лимонита (Машковцев и др., 2010) приводит к загрязнению вод тяжелыми металлами. Дополнительный вклад в процесс загрязнения вод вносят многочисленные штольни, отвалы пустой породы и забалансовых руд, расположенные на горных склонах, в балках и оврагах.

Загрязнение водоемов в районе рудника происходит также в результате сброса шахтных вод. После закрытия рудника для упорядочения сброса шахтные воды были сдренированы в один водоносный горизонт, откуда они поступают на поверхность через устье штолен № 16 и № 32 (Рекультивация..., 2011б).

Воды, вытекающие из устья штольни № 16, попадают в каскад из двух прудов-отстойников, далее по подземному коллектору направляются на очистные сооружения, которые в настоящее время не действуют. Затем – в

¹⁾ Приказ о введении в действие Порядка подготовки и представления информации общего назначения о загрязнении окружающей природной среды № 156 от 31 октября 2000 г. (с изменениями на 30 декабря 2015 г.), Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

бетонный желоб и вниз по рельефу через СНТ «Победа», в котором устроено три пруда для накопления этой воды и полива садовых участков. Далее вода доходит до основного водоприемника – реки Подкумок, принимая на своем пути сточные воды с нескольких жилых поселков и г. Пятигорска.

В штольне № 32 шахтные воды разделяются на два потока. Большая часть потока идет по основному створу штольни № 32. Остальная часть выходит на поверхность через устье штольни № 32бис. Из штольни № 32 воды по подземному трубопроводу, проложенному под территорией электромеханического завода (ООО «ЭМЗ»), сбрасываются в накопительные пруды общим объемом 2600 м³. Эти воды также используются для полива садовых участков.

По результатам работ АО «ВНИПИПромтехнологии» 2009 г., в воде поверхностных водоемов в районе рудника № 1 обнаружены As, Cu, Ni, Pb, Co, Cd, Zn в концентрациях, превышающих ПДК (Безуглова, Маркова, 2017).

Загрязнение водных экосистем тяжелыми металлами приводит к их аккумуляции в различных объектах окружающей среды и поступлению в организм человека алиментарным путем.

Целью настоящей статьи является проведение оценки текущего содержания тяжелых металлов в пробах воды поверхностных водных объектов района расположения бывшего рудника и сравнение полученных данных с результатами мониторинга состояния поверхностных водных объектов региона.

Материалы и методы

Все исследования по изучению содержания тяжелых металлов в пробах воды были выполнены в Испытательном лабораторном центре Гигиенического мониторинга ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (№ RA.RU.21BY01 от 17.08.2015 г.). Отбор проб воды проводился в соответствии с ГОСТ 31861-12. В пробах воды проводилось количественное определение следующих тяжелых металлов: Cu, Cd, Pb, Mn, Co, Zn, As и Fe в соответствии с нормативными документами: ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 и ГОСТ 31870-012. Измерение содержания тяжелых металлов в пробах были проведены при помощи атомно-абсорбционных спектрометров ААС «Квант–Z.ЭТА» (Россия) и «Квант 2А Т» (Россия). Метрологические характеристики атомно-абсорбционного метода представлены в табл. 1.

Таблица 1. Метрологические характеристики атомно-абсорбционного метода

Table 1. Metrological characteristics of the atomic absorption method

Нормативный документ	Элемент	Диапазон, мг·дм ⁻³		Относительная погрешность, %
		От	До (вкл.)	
ПНД Ф 14.1:2:4.139-98	Fe	0.005	0.025	37
ПНД Ф 14.1:2:4.139-98	Fe	0.025	0.1	30
ПНД Ф 14.1:2:4.139-98	Fe	0.1	1	23
ПНД Ф 14.1:2:4.139-98	Fe	1.0	15.0	15

Нормативный документ	Элемент	Диапазон, мг·дм ⁻³		Относительная погрешность, %
		От	До (вкл.)	
ГОСТ 31870-2012	Mn	0.001	0.05	20
ГОСТ 31870-2012	Cu	0.001	0.01	40
ГОСТ 31870-2012	Cu	0.01	0.05	20
ГОСТ 31870-2012	Cd	0.0005	0.001	50
ГОСТ 31870-2012	Cd	0.001	0.01	25
ГОСТ 31870-2012	Pb	0.005	0.01	40
ГОСТ 31870-2012	Pb	0.01	0.05	20
ГОСТ 31870-2012	Zn	0.001	0.05	25
ГОСТ 31870-2012	As	0.0001	0.02	50
ГОСТ 31870-2012	As	0.02	0.05	25
ГОСТ 31870-2012	As	0.05	0.3	15

Результаты

Отбор проб воды (28 проб) проводился из следующих водоемов (25 объектов):

- пруды и озера, расположенные в районе рудника;
- ручей Гремячий, впадающий в озеро, находящееся в пгт. Иноземцево;
- ручьи, в том числе вытекающие из штолен;
- родники и ключи.

Точки отбора проб воды и близлежащие населенные пункты представлены на рис. 1.

Отбор проб воды поверхностных водных объектов был проведен в конце летнего периода (летняя межень). Данное время года на исследуемой территории характеризуется наиболее низким поступлением воды с атмосферными осадками. Соответственно, полученные результаты содержания тяжелых металлов в исследуемых поверхностных водных объектах будут наиболее высокими по отношению к среднему содержанию за год.

В настоящее время в России действуют два документа по нормированию химических веществ в воде:

СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», в которых установлены ПДК химических веществ в воде питьевой системы централизованного, в том числе горячего, и нецентрализованного водоснабжения, воде подземных и поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, воде плавательных бассейнов, аквапарков (далее ПДК СанГиг);

Приказ Министерства сельского хозяйства № 296 от 26 мая 2025 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйствен-

ного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», в котором установлены ПДК вредных веществ в водах объектов рыбохозяйственного значения (далее ПДК РыбХоз).

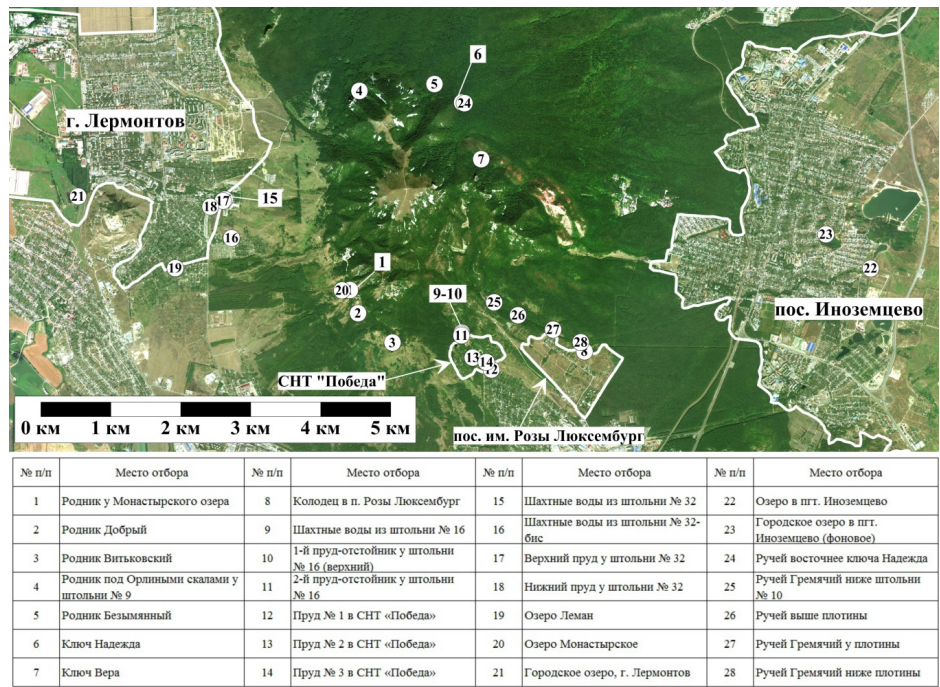


Рисунок 1. Расположение точек отбора проб воды в районе рудника № 1

Figure 1. Location of water sampling points in the area of mine no. 1

Полученные результаты содержания тяжелых металлов в воде прудов и озер сравнивались с ПДК из двух нормативных документов, а результаты по воде из других источников – только с СанПиН.

Полученные значения содержания тяжелых металлов в воде родников и ключей представлены в табл. 2.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в воде родников, ключей и колодца

Table 2. The content of heavy metals in the water of springs, brooks, and well

Место отбора проб	Содержание в воде, мг·дм ⁻³							
	Cu	Pb	Cd	As	Co	Zn	Mn	Fe
Родник у Монастырского озера	<0.001	<0.005	<0.0005	(4.4±2.2) Е-3	<0.005	<0.001	(10.8±2.2) Е-3	0.098 ±0.022
Родник Добрый	<0.001	<0.005	<0.0005	(3.0±1.5) Е-3	<0.005	<0.001	(8.3±1.7) Е-4	<0.005

Место отбора проб	Содержание в воде, мг·дм ⁻³							
	Cu	Pb	Cd	As	Co	Zn	Mn	Fe
Родник под Орлиными скалами у штольни № 9	<0.001	(5.7±2.3) Е-3	<0.0005	(3.7±1.8) Е-4	<0.005	(8.0±2.0) Е-3	(16.7±3.3) Е-4	(14±5) Е-3
Родник Безымянный	<0.001	<0.005	<0.0005	(13±6) Е-4	<0.005	<0.001	(16.7±3.3) Е-4	(6.6±2.4) Е-3
Ключ Надежда	<0.001	<0.005	(5.3±2.7) Е-4	(6.1±3.1) Е-4	<0.005	<0.001	(8.3±1.7) Е-4	(5.1±1.9) Е-3
Ключ Вера	<0.001	<0.005	<0.0005	<0.0001	<0.005	<0.001	(25±5) Е-4	(22±7) Е-3
Колодец в п. Розы Люксембург	<0.001	<0.005	<0.0005	<0.0001	<0.005	0.062 ±0.016	<0.001	(9.5±3.5) Е-3
ПДК СанГиг	1	0.01	0.001	0.01	0.1	5	0.1	0.3

Примечания. Значения приведены с учётом расширенной неопределённости измерений (P=0.95) Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК; жирным шрифтом с одинарным подчёркиванием – значения, характеризующие высокую степень загрязнения водного объекта; жирным шрифтом с двойным подчёркиванием – значения, характеризующие экстремально высокую степень загрязнения водного объекта.

Сравнение со значениями ПДК и критериями высокого и экстремально высокого загрязнения произведено с учётом погрешности измерения. При сравнении с нормативами приняты значения ПДК в зависимости от характера использования водного объекта. Если водный объект может быть использован как для хозяйственно-питьевых, так и для рыбохозяйственных целей, для сравнения принят наименьший по значению норматив.

Критерии высокого и экстремально высокого загрязнения приведены в Приказе Ростгидромета № 156 от 31.10.2000 г. и ГОСТ Р 14.03-2005 (ГОСТ Р 14.03-2005, (2008)).

Содержание тяжелых металлов в воде родников, ключей и колодца, которая может использоваться населением для питья, не превышают ПДК СанГиг.

Пруды и озера

Результаты измерения содержания тяжелых металлов в воде прудов в районе штольни № 16 приведены в табл. 3.

Требования СанПиН к качеству поверхностных вод (шахтной воды и воды прудов-отстойников) не выполняются по содержанию следующих тяжелых металлов: Mn – превышение ПДК в 1.5-7.6 раз, Fe – превышение ПДК в 15-18 раз и As – превышение ПДК в 8-29 раз. По содержанию вышеуказанных тяжелых металлов достигается экстремально высокая степень загрязнения.

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в шахтной воде и воде прудов у штольни № 16

Table 3. The content of heavy metals in mine water and pond water near adit no. 16

Место отбора проб	Содержание в воде, мг·дм ⁻³							
	Cu	Pb	Cd	As	Co	Zn	Mn	Fe
Шахтные воды из штольни № 16	<0.001	<0.005	<0.0005	<u>0.096</u> <u>±0.014</u>	<0.005	<u>0.152</u> <u>±0.038</u>	<u>0.63</u> <u>±0.13</u>	<u>4.6</u> <u>±0.7</u>
1-й пруд-отстойник у штольни № 16 (верхний)	(7.1±2.9) Е-3	<0.005	<0.0005	<u>0.252</u> <u>±0.038</u>	(6.7±1.3) Е-3	<u>0.112</u> <u>±0.028</u>	<u>0.125</u> <u>±0.025</u>	<u>4.3</u> <u>±0.7</u>
2-й пруд-отстойник у штольни № 16	<0.001	<0.005	<0.0005	<u>0.067</u> <u>±0.010</u>	(20±4) Е-3	<u>0.136</u> <u>±0.034</u>	<u>0.63</u> <u>±0.13</u>	<u>3.8</u> <u>±0.6</u>
Пруд № 1 в СНТ «Победа»	<0.001	<0.005	<0.0005	(11±5) Е-3	<0.005	<0.001	0.142 ±0.028	0.062 ±0.019
Пруд № 2 в СНТ «Победа»	<0.001	<0.005	<0.0005	(16±8) Е-4	(5.8±1.2) Е-3	<0.001	0.092 ±0.018	0.146 ±0.034
Пруд № 3 в СНТ «Победа»	<0.001	(5.0±2.0) Е-3	<0.0005	(19±5) Е-3	<0.005	<0.001	<u>(27±5)</u> <u>Е-2</u>	0.53 ±0.12
ПДК СанГиг	1	0.01	0.001	0.01	0.1	5	0.1	0.3
ПДК РыбХоз	0.001	0.006	0.005	0.05	0.01	0.01	0.01	0.1

Примечания. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК; жирным шрифтом с одинарным подчёркиванием – значения, характеризующие высокую степень загрязнения водного объекта; жирным шрифтом с двойным подчёркиванием – значения, характеризующие экстремально высокую степень загрязнения водного объекта.

Сравнение со значениями ПДК и критериями высокого и экстремально высокого загрязнения произведено с учётом погрешности измерения. При сравнении с нормативами приняты значения ПДК в зависимости от характера использования водного объекта. Если водный объект может быть использован как для хозяйственно-питьевых, так и для рыбохозяйственных целей, для сравнения принят наименьший по значению норматив.

Критерии высокого и экстремально высокого загрязнения приведены в Приказе Росгидромета № 156 от 31.10.2000 г. и ГОСТ Р 14.03-2005 (ГОСТ Р 14.03-2005, (2008)).

Во всех трех прудах, расположенных на территории СНТ «Победа», также не выполняются требования СанПиН: Mn – превышение ПДК от 1.1 (пруд № 2) до 3.2 раз (пруд № 3). В воде прудов № 1 и № 2 превышено значение ПДК As – в 1.6 и 2.4 раза соответственно, а в воде пруда № 3 концентра-

ция Fe превышает ПДК в 1.6 раза. Кроме того, в этих водоемах превышены ПДК РыбХоз для воды объектов рыбохозяйственного значения во всех прудах: Mn – в диапазоне от 11 (пруд № 2) до 32 раз, достигая высокой степени загрязнения (пруд № 3), а в прудах № 2 и № 3 и Fe – в 1.8 и 6.5 раз соответственно. В пруду № 3 наблюдается небольшое превышение ПДК РыбХоз по Pb в 1.2 раза. В целом, содержание тяжелых металлов в этих прудах ниже, чем в прудах-отстойниках и шахтной воде.

Результаты измерения содержания тяжелых металлов в воде прудов в районе штольни № 32 и № 32бис приведены в табл. 4.

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов в шахтной воде и воде прудов-отстойников у штолен № 32 и № 32бис

Table 4. The content of heavy metals in mine water and settling ponds water at adits No. 32 and No. 32bis

Место отбора проб	Содержание в воде, мг·дм ⁻³							
	Cu	Pb	Cd	As	Co	Zn	Mn	Fe
Шахтные воды из штольни № 32	<0.001	(3.6±1.4) E-3	<0.0005	(17±8) E-4	<0.005	<0.001	0.052 ±0.010	0.049 ±0.015
Шахтные воды из штольни № 32бис	<0.001	<0.005	<0.0005	(17±9) E-4	<0.005	(32±8) E-4	(21±4) E-3	0.075 ±0.023
Верхний пруд у штольни № 32	<0.001	<0.005	<0.0005	(1.9±1.0) E-3	<0.005	(10.4±2.6) E-4	0.058 ±0.012	0.064 ±0.019
Нижний пруд у штольни № 32	<0.001	(3.6±1.4) E-3	<0.0005	(17±8) E-4	<0.005	<0.001	0.052 ±0.010	0.049 ±0.015
Озеро Леман (фоновое)	<0.001	<0.005	<0.0005	(6.1±3.1) E-4	(6.7±1.3) E-3	(24±6) E-4	(33±7) E-3	(20±4) E-2
ПДК РыбХоз	0.001	0.006	0.005	0.05	0.01	0.01	0.01	0.1

Примечания. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК; жирным шрифтом с одинарным подчёркиванием – значения, характеризующие высокую степень загрязнения водного объекта; жирным шрифтом с двойным подчёркиванием – значения, характеризующие экстремально высокую степень загрязнения водного объекта.

Сравнение со значениями ПДК и критериями высокого и экстремально высокого загрязнения произведено с учётом погрешности измерения. При сравнении с нормативами приняты значения ПДК в зависимости от характера использования водного объекта. Если водный объект может быть использован как для хозяйственно-питьевых, так и для рыбохозяйственных целей, для сравнения принят наименьший по значению норматив.

Критерии высокого и экстремально высокого загрязнения приведены в Приказе Росгидромета № 156 от 31.10.2000 г. и ГОСТ Р 14.03-2005 (ГОСТ Р 14.03-2005, (2008)).

Содержание тяжелых металлов в шахтных водах штолен и в воде прудов ниже ПДК РыбХоз. В прудах-отстойниках ПДК превышена только по Mn – в 6.2-7.0 раз. В озере Леман наблюдается превышение ПДК Mn в 3.9 раз и, в отличие от прудов-отстойников, Fe в 24 раза.

В табл. 5 приведены результаты измерений содержания тяжелых металлов в воде озер, в которые условно не поступают шахтные воды.

Таблица 5. Содержание тяжелых металлов в воде озер г. Лермонтова и пгт. Иноземцево

Table 5. The content of heavy metals in the lake water of Lermontov and the village Inozemtsevo

Место отбора проб	Содержание в воде, мг·дм ⁻³							
	Cu	Pb	Cd	As	Co	Zn	Mn	Fe
Озеро Монастырское	<0.001	<0.005	<0.0005	(9±5) E-4	<0.005	<0.001	0.083 ±0.017	(38±9) E-2
Городское озеро, Лермонтов (фоновое)	<0.001	(3.6±1.4) E-3	<0.0005	(2.4±1.2) E-4	<0.005	<0.001	(9.2±1.8) E-3	0.035 ±0.010
Озеро в пгт, Иноземцево	<0.001	<0.005	<0.0005	(2.4±1.2) E-3	(5.8±1.2) E-3	<0.001	(32±6) E-3	0.034 ±0.010
Городское озеро в пгт, Иноземцево (фоновое)	<0.001	(5.7±2.3) E-3	<0.0005	(11±6) E-4	(17.5±3.5) E-3	<0.001	(10.8±2.2) E-3	<0.005
ПДК СанГиг	1	0.01	0.001	0.01	0.1	5	0.1	0.3
ПДК РыбХоз	0.001	0.006	0.005	0.05	0.01	0.01	0.01	0.1

Примечания. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК.

При сравнении с нормативами приняты значения ПДК в зависимости от характера использования водного объекта. Если водный объект может быть использован как для хозяйственно-питьевых, так и для рыбохозяйственных целей, для сравнения принят наименьший по значению норматив.

Озеро Монастырское расположено на территории природного заказника «Бештаугорский». В него поступают талые и дождевые воды, в том числе проходящие по балке, в которой расположены отвалы штольни № 29. В воде озера значения ПДК СанГиг и ПДК РыбХоз по Fe превышены в 1.6 и 4.7 раза соответственно. ПДК РыбХоз Mn превышена в 10 раз.

В городское озеро г. Лермонтов впадает ручей, образованный в результате разгрузки грунтовых вод в другой водоносный горизонт территории промплощадок бывшего гидрометаллургического завода (Рекультивация..., 2011a). В пробах воды из городского озера содержание тяжелых металлов не превышает ПДК СанГиг, но выявлено превышение ПДК РыбХоз по Mn в 1.1 раза. В воде озер пгт. Иноземцево содержание тяжелых металлов не превышает ПДК СанГиг. В озере, в которое впадает ручей Гремячий, выявлено превышение ПДК РыбХоз по Mn в 3.8 раз, а в воде городского озера Mn и Pb в 1.3 раза и Co в 2.1 раза. Аномалии содержания тяжелых металлов, вероятно, территориально связаны с частным сектором, где с золой, бытовым мусором и

стоками в почву поступают Pb (до 150 ПДК), Zn (40-60 ПДК), Cu (15-100 ПДК), а также Ba, B, P и As (Безуглова, Маркова, 2017).

Ручьи

Полученные содержания тяжелых металлов в воде ручьев представлены в табл. 6.

Таблица 6. Содержание тяжелых металлов в воде ручьев

Table 6. Content of heavy metals in water of streams

Место отбора проб	Содержание в воде, мг·дм ⁻³							
	Cu	Pb	Cd	As	Co	Zn	Mn	Fe
Ручей восточнее ключа Надежда	<0.001	(9.2±1.8) E-3	<0.0005	(11±6) E-4	<0.005	<0.001	0.078 ±0.016	0.97 ±0.14
Ручей Гремячий ниже штольни № 10	<0.001	<0.005	(6.7±3.3) E-4	(5.9±2.9) E-4	(30±6) E-3	0.088 ±0.022	0.81 ±0.16	0.122 ±0.028
Ручей выше плотины	<0.001	<0.005	(6.7±3.3) E-4	(5.3±2.7) E-4	0.055 ±0.011	0.112 ±0.028	0.92 ±0.18	(7.3±2.7) E-3
Ручей Гремячий у плотины	<0.001	<0.005	(16±4) E-4	(1.9±1.0) E-3	0.058 ±0.012	0.080 ±0.020	1.75 ±0.35	1.39 ±0.21
Ручей Гремячий ниже плотины	(7.1±2.9) E-3	<0.005	(6.4±1.6) E-3	(6.7±3.3) E-3	(43±9) E-2	0.62 ±0.15	3.1 ±0.6	23.5 ±3.5
ПДК СанГиг	1	0.01	0.001	0.01	0.1	5	0.1	0.3

Примечания. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК; жирным шрифтом с одинарным подчёркиванием – значения, характеризующие высокую степень загрязнения водного объекта; жирным шрифтом с двойным подчёркиванием – значения, характеризующие экстремально высокую степень загрязнения водного объекта.

Сравнение со значениями ПДК и критериями высокого и экстремально высокого загрязнения произведено с учётом погрешности измерения. Критерии высокого и экстремально высокого загрязнения приведены в Приказе Росгидромета № 156 от 31.10.2000 г. и ГОСТ Р 14.03-2005 (ГОСТ Р 14.03-2005, (2008)).

В ручье, вытекающем со склона горы, восточнее ключа Надежда, наблюдается превышение ПДК СанГиг по Fe в 3.7 раза и по Pb в 1.1 раз.

Ручей Гремячий берет свое начало на юго-восточных склонах горы Бештау, под отвалом штольни № 15, продолжая свое течение через отвал штольни № 13. Далее воды ручья следуют через отвалы штолен №№ 27, 8 и 10, впадая в одно из озер пгт. Иноземцево.

Для отбора проб вода была доступна только на участке ниже отвалов штольни № 10 до района расположения плотины. На этом участке наблюдается превышение значений ПДК СанГиг по Fe до 90 раз и по Mn до 37 раз, а ниже плотины – Cd до 8.0 раз и Co до 5.1 раза. Таким образом, в воде ручья Гремячий ниже плотины содержания Fe, Cd и Co достигает экстремально высокой степени загрязнения водного объекта, а, по Mn – высокой.

Можно предположить, что содержание Fe и Mn растёт по мере удаления от отвалов штольни № 10 (Mn – от 0.97 до 3.7 мг·дм⁻³; Fe – от 1,1 до 27 мг·дм⁻³). Отмечается увеличение содержания Fe и Mn в воде ручья с расстоянием от отвалов штольни № 10 (Отчет..., 2009). Это свидетельствует о том, что источником загрязнения воды в ручье являются не только отвалы рудника № 1.

В табл. 7 и 8 приведены результаты анализа проб воды в 2009 г. (Отчет..., 2009) в сравнении с данными, полученными в 2022 г.

Таблица 7. Сравнение результатов химического анализа проб воды ручьев и шахтных вод в 2009 и 2022 гг.

Table 7. Comparison of the results of chemical analysis of water samples from streams and mine waters in 2009 and 2022

Место отбора проб	Год измерения	Содержание в воде, мг·дм ⁻³						
		Cu	Pb	Cd	As	Zn	Mn	Fe
Ручей Гремячий ниже штольни № 10	2009	(26±5) E-3	(5.7±2.3) E-4	(6.0±3.0) E-4	(7.3±3.7) E-4	0.112 ±0.028	(36±7) E-2	1.19 ±0.18
	2022	<0.001	<0.005	(6.7±3.3) E-4	(7.3±1.5) E-4	0.088 ±0.022	0.81 ±0.16	0.122 ±0.028
Ручей Гремячий у плотины	2009	(6.9±2.7) E-3	<0.00001	(9±4) E-4	(26±5) E-4	0.127 ±0.032	0.80 ±0.16	(16±6) E-3
	2022	<0.001	<0.005	(1.9±1.0) E-3	(24±5) E-4	0.080 ±0.020	1.73 ±0.35	1.39 ±0.21
Нижнее течение ручья Гремячий	2009	(15.0±3.0) E-3	(2.0±1.0) E-4	(11±6) E-4	(6.7±1.3) E-4	0.158 ±0.039	0.86 ±0.17	0.064 ±0.019
	2022	(7.1±2.9) E-3	<0.005	(5.3±2.7) E-3	(8.3±1.7) E-3	0.62 ±0.15	3.1 ±0.6	23.2 ±3.5
Родник под Орлиными скалами у штольни № 9	2009	(14±6) E-5	(2.7±1.3) E-4	(2.7±1.4) E-4	(10.8±2.2) E-3	0.094 ±0.023	(33±7) E-4	0.106 ±0.024
	2022	<0.001	(6.4±1.6) E-3	<0.0005	(46±9) E-5	(8.0 ±2.0)E-3	(16.7±3.3) E-4	(14±5) E-3
Шахтные воды из штольни № 16	2009	(2.8±1.1) E-3	(16±4) E-4	(3.5±1.8) E-4	0.117 ±0.023	0.64 ±0.16	1.15 ±0.23	7.4 ±1.1
	2022	<0.001	<0.005	<0.0005	0.092 ±0.018	0.152 ±0.038	0.63 ±0.13	4.6 ±0.7
Из ручья штольни № 32	2009	(17±7) E-4	(31±8) E-4	(2.6±1.3) E-4	(15.0±3.0) E-3	(21±5) E-2	(5.4±1.1) E-3	0.044 ±0.013
	2022	<0.001	<0.005	<0.0005	(4.8±1.0) E-3	(28±7) E-3	(16.7±3.3) E-3	(13±5) E-3
ПДК СанГиг		1	0.01	0.001	0.01	0.1	5	0.1

Примечания. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК; жирным шрифтом с одинарным подчёркиванием – значения, характеризующие высокую степень загрязнения водного объекта; жирным шрифтом с двойным подчёркиванием – значения, характеризующие экстремально высокую степень загрязнения водного объекта.

Сравнение со значениями ПДК и критериями высокого и экстремально высокого загрязнения произведено с учётом погрешности измерения.

Критерии высокого и экстремально высокого загрязнения приведены в Приказе Росгидромета от 31.10.2000 г. № 156 и ГОСТ Р 14.03-2005 (ГОСТ Р 14.03-2005, (2008)).

Таблица 8. Сравнение результатов химического анализа проб воды в 2009 и 2022 гг.

Table 8. Comparison of the results of chemical analysis of water samples in 2009 and 2022

Место отбора проб	Год измерения	Содержание в воде, мг·дм ⁻³						
		Cu	Pb	Cd	As	Zn	Mn	Fe
Пруд № 1, в который впадает ручей Гремячий	2009	(12±5) Е-4	(13.6±3.4) Е-4	(2.0±1.0) Е-4	(7.2±1.4) Е-3	(15.2±3.8) Е-3	(32±6) Е-3	0.48 ±0.11
	2022	<0.001	<0.005	<0.0005	(30±6) Е-4	<0.001	(32±6) Е-3	0.034 ±0.010
Верхний пруд у штольни № 32	2009	(2.6±1.1) Е-3	(4.0±2.0) Е-4	(2.7±1.3) Е-4	(9.2±1.8) Е-3	(25±6) Е-2	(13.3±2.7) Е-3	(36±8) Е-2
	2022	<0.001	<0.005	<0.0005	(24±5) Е-4	(10.4±2.6) Е-4	0.058 ±0.012	0.064 ±0.019
ПДК СанГиг		1	0.01	0.001	0.01	0.1	5	0.1
ПДК РыбХоз		0.001	0.006	0.005	0.05	0.01	0.01	0.01

Примечания. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК; жирным шрифтом с одинарным подчёркиванием – значения, характеризующие высокую степень загрязнения водного объекта.

Сравнение со значениями ПДК и критериями высокого и экстремально высокого загрязнения произведено с учётом погрешности измерения. При сравнении с нормативами приняты значения ПДК в зависимости от характера использования водного объекта. Если водный объект может быть использован как для хозяйственно-питьевых, так и для рыбохозяйственных целей, для сравнения принят наименьший по значению норматив.

Критерии высокого и экстремально высокого загрязнения приведены в Приказе Росгидромета № 156 от 31.10.2000 г. и ГОСТ Р 14.03-2005 (ГОСТ Р 14.03-2005, (2008)).

Анализ данных, приведенных в табл. 6 по воде ручья Гремячий, показывает следующее:

- на участке ниже отвалов штольни № 10 содержание Cu снизилось по сравнению с 2009 г., а содержание Cd и Mn, наоборот, увеличилось в 2-4 раза и до 3.6 раз соответственно;
- содержание Zn до плотины имеет небольшое снижение – до 1.6 раз, а за плотиной увеличивается до 3.9 раз;
- содержание As за плотиной увеличилось до 12 раз, железа – до 270 раз.

Подобные результаты позволяют сделать выводы о наличии иных источников загрязнения воды ручья помимо отвалов.

В воде озера, в которое впадает ручей Гремячий, наблюдается снижение содержания Cu, As и Fe.

В воде ручья (родника), вытекающего со склона в районе устья штольни № 9, наблюдается снижение Mn, Zn, As, Fe, содержание Pb по сравнению с 2009 г. увеличилось.

Такая же тенденция имеет место в шахтных водах из штольни № 16: снижение содержания всех тяжелых металлов (Cu – более чем в 4 раза), за исключением Pb. По содержанию Pb сделать выводы не представляется возможным, т.к. минимальное измеряемое содержание в 2022 г. оказалась выше, чем в 2009 г.

В шахтных водах, смешанных со сточными водами ООО «ЭМЗ», вытекающих из штольни № 32, наблюдается снижение содержания Cu, Zn, As и Fe на фоне повышения содержания Mn в 3.1 раза.

В воде верхнего озера у штольни № 32 произошли изменения содержания тяжелых металлов, аналогичные изменениям в шахтных и сточных водах, которые сбрасываются в озеро: снижение содержания Cu, Zn, As и Fe при повышении содержания Mn в 4.4 раза.

Обобщенные результаты исследований приведены в виде картограммы на рис. 2.

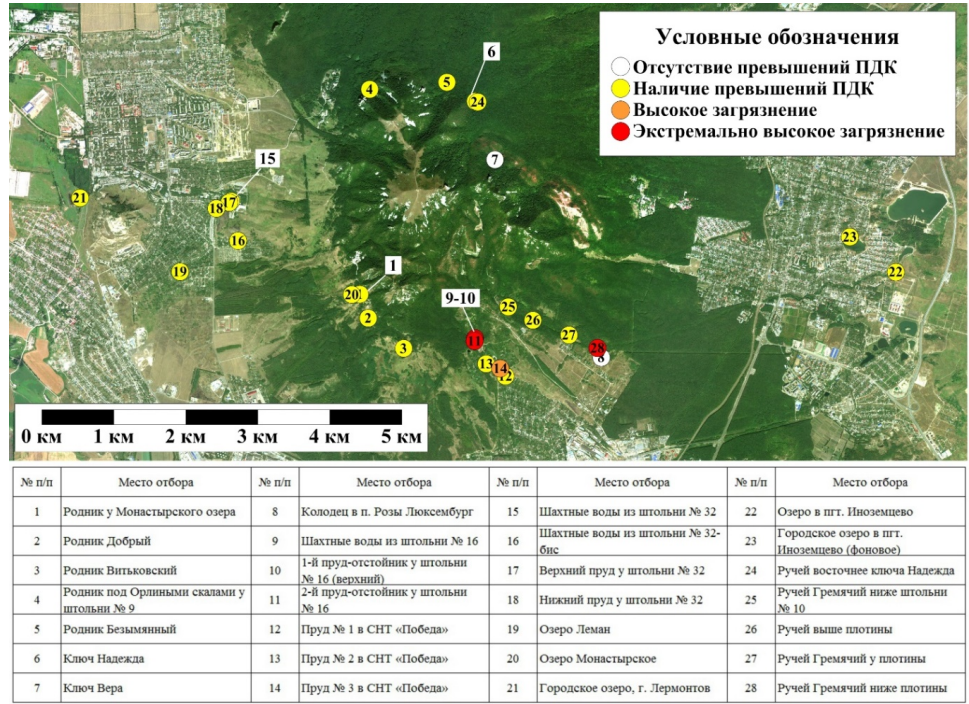


Рисунок 2. Картограмма анализа результатов в точках отбора проб воды

Figure 2. Cartogram of the analysis of the results at the water sampling points

Обсуждение

С большой долей вероятности можно предположить, что основным фактором, влияющим на изменение содержания ТМ в воде поверхностных водоемов исследуемого района, является объем выпадающих атмосферных осадков. Суммарный объем осадков в данном районе варьируется от 350 до 500 мм в год. Ливневые дожди очень редки. Зимы малоснежные и объем талых вод небольшой. Необходимо отметить неравномерное количество осадков, которое выпадает с северной и южной части горы Бештау. Большая часть исследуемых водных объектов расположено с южной стороны горы. Большинство ручьев и родников пересыхающие.

Высокое содержание тяжелых металлов в шахтных водах, используемых населением для полива, может иметь негативные последствия при переходе по трофическим связям. Теоретическая возможность пересыхания водоемов может нести опасность при пылевом переносе донных отложений.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения регулярного мониторинга содержания тяжелых металлов в воде и донных отложениях поверхностных водных объектов района расположения бывшего рудника № 1 ЛПО «Алмаз».

Заключение

Анализ результатов измерения содержания тяжелых металлов в пробах воды, отобранных из поверхностных водоемов, расположенных в районе рудника № 1 бывшего предприятия ЛПО «Алмаз», показал следующее:

1. В воде поверхностных водоемов, кроме родников, ключей и колодца, превышены значения ПДК As, Mn и Fe, а в воде ручья Гремячий – Cd и Co.
 2. В воде родников горного массива Бештау содержание тяжелых металлов достоверно ниже утвержденных ПДК СанГиг.
 3. В прудах и озерах превышены значения ПДК РыбХоз по Mn во всех объектах, в прудах СНТ «Победа» – по Fe, в городском озере пгт. Иноземцево – по Co и Pb, в пруду № 3 в СНТ «Победа» – по Pb.
 4. Шахтная вода и вода прудов-отстойников не соответствует требованиям СанПиН: Mn – превышение ПДК в 7.6 раз, Fe – превышение ПДК в 18 раз, As – превышение ПДК в 29 раз.
 5. Содержание тяжелых металлов в шахтных водах, вытекающих из штолен № 32 и № 32бис рудника № 1, ниже ПДК РыбХоз. В воде прудов-отстойников превышены только ПДК по Mn, в том числе и в озере Леман. В нем, в отличие от прудов-отстойников, наблюдается превышение ПДК Fe для водных объектов рыбохозяйственного значения.
 6. В городском озере г. Лермонтов и в озерах пгт. Иноземцево содержание тяжелых металлов в воде не превышают ПДК СанГиг, однако превышены ПДК по Co и Mn для водных объектов рыбохозяйственного значения.
-

7. В прудах № 2 и № 3, расположенных на территории СНТ «Победа», превышены значения ПДК РыбХоз по Mn и Fe. В воде пруда № 3 также наблюдается превышение ПДК As и ПДК Pb. В пруду № 1 превышены также ПДК Mn и As. В воде Монастырского озера превышены ПДК Fe и ПДК Mn.
8. В ручье, вытекающем со склона горы Бештау, восточнее ключа Надежда, наблюдается превышение ПДК СанГиг Fe и Mn. На участке ручья Гремячий, ниже отвалов штольни № 10 до района плотины, превышены значения ПДК Fe и Mn, а ниже плотины – Cd и Co.
9. При сравнении результатов исследований 2009 г. и 2022 г. выявлены следующие изменения. В воде из ручья Гремячий содержание Cu снизилось, а содержание Cd и Mn, наоборот, увеличилось. Содержание As и Fe увеличилось за плотинкой до 12 и 270 раз соответственно. В воде озера, в которое впадает ручей Гремячий, наблюдается снижение содержания Cu, As и Fe. В воде родника у штольни № 9 наблюдается снижение содержания Mn, Zn, As. Такая же тенденция имеет место в шахтных водах из штольни № 16 – снижение содержания по всем металлам.

Финансирование работы осуществлялось в рамках Государственного контракта № 10.001.22.2 с ФМБА России в рамках реализации Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года».

Благодарность

Авторы выражают благодарность Текееву Рамазану Адамовичу – главному врачу Центра Гигиены и Эпидемиологии № 101 ФМБА России, Авалиани Ирине Юрьевне – заведующему промышленно-санитарной лабораторией Центра Гигиены и Эпидемиологии № 101 ФМБА России, а также заведующему хозяйственной частью – Зезюлину Юрию Михайловичу за оказание содействия в организации и проведении исследований.

Список литературы

Безуглова, О.С., Маркова, Г.А. (2017) Почвенно-экологическая ситуация в городе Железноводске, *Живые и биокосные системы*, № 21, с. 5.

ГОСТ Р 14.03-2005 (2008) *Экологический менеджмент. Воздействующие факторы. Классификация*, М., Стандартинформ, 20 с.

Доклад о состоянии окружающей среды и природопользовании в Ставропольском крае в 2024 году (2025), Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края, Ставрополь, 152 с.

Евстратова, Е.В., Агапова, А.М., Лаверова, Н.П., Большова, Л.А., Линге, И.И. (2012) *Проблемы ядерного наследия и пути их решения*, т. 1, М., ОАО «Энергопроманалитика», 356 с.

Машковцев, Г.А., Константинов, А.К., Мигута, А.К., Шумилин, М.В., Щеточкин, В.Н. (2010) *Уран Российских недр*, М., ВИМС, с. 352-353.

Отчет о результатах инженерно-экологических изысканий на территории рудника (г. Бештау) г. Лермонтов, Ставропольский край (2009) АО «ВНИПИПромтехнологии», М., с. 411.

Рекультивация хвостохранилища ГМЗ и урановых рудников № 1 и № 2 бывшего госпредприятия «Алмаз» (г. Лермонтов, Ставропольский край). Перечень мероприятий по охране окружающей среды. Рудник № 1 (г. Бештау), рудник № 2 (г. Бык), хвостохранилище ГМЗ. Перечень мероприятий по охране окружающей среды в период выполнения рекультивационных работ. Проектная документация (2011а) АО «ВНИПИПромтехнологии», М., разд. 8, т. 8.1, с. 103.

Рекультивация хвостохранилища ГМЗ и урановых рудников № 1 и № 2 бывшего госпредприятия «Алмаз» (г. Лермонтов, Ставропольский край). Проект организации работ по рекультивации. Рудник № 1 (г. Бештау). Рекультивация приштольневых отвалов, изоляция устьев горных выработок, выходящих на земную поверхность. Проектная документация (2011б) АО «ВНИПИПромтехнологии», М., разд. 7, т. 7.1, с. 50.

Титов, А.В., Шандала, Н.К., Исаев, Д.В., Семенов, М.П., Серегин, В.А., Бельских, Ю.С., Остапчук, Т.В., Чернобаев, А.С. (2020) Оценка радиационной опасности пребывания населения и ведения хозяйственной деятельности в районе расположения выработанного уранового месторождения, *Медицинская радиология и радиационная безопасность*, т. 65, № 2, с. 11-16.

Шандала, Н.К., Титов, А.В., Исаев, Д.В., Семенов, М.П., Серегин, В.А., Остапчук, Т.В., Шлыгин, В.В., Старинский, В.Г., Старинская, Р.А. (2017) Оценка влияния последствий ливневых дождей на радиационную обстановку в районе расположения штольни № 16 бывшего предприятия ЛПО «АЛМАЗ», *Медицина экстремальных ситуаций*, т. 60, № 2, с. 202-207.

Boitsov A.V., Komarov A.V., Nikolsky A.L. (2004) Environmental impact of uranium mining and milling in the Russian Federation, *Developments in Uranium Resources, Production, Demand and the Environment. Proceedings of a Technical Committee Meeting*, Vienna, IAEA-TECDOC-1425, pp. 165-170.

References

Bezuglova, O.S., Markova, G.A. (2017) Pochvenno-ekologicheskaya situatsiya v gorode Zheleznovodske [Soil-ecological situation in the city of Zheleznovodsk], *Zhivye i biokosnye sistemy* [Living and bioinert systems], no. 21, p. 5.

GOST R 14.03-2005 (2008) *Ekologicheskii menedzhment. Vozdeystvuyushchiye faktory. Klassifikatsiya* [Environmental Management. Influencing Factors. Classification], Standartinform, Moscow, Russia, 20 p.

Doklad o sostoyanii okruzhayushchej sredy i prirodopol'zovanii v Stavropol'skom krae v 2024 godu [Report on the state of the environment and

natural resource management in the Stavropol Territory in 2024] (2025), Ministerstvo prirodnih resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Stavropol'skogo kraya, Stavropol', Russia, 152 p.

Evstratova, E.V., Agapova, A.M., Laverova, N.P., Bol'shova, L.A., Linge, I.I. (2012) *Problemy yadernogo naslediya i puti ih resheniya* [Problems of nuclear legacy and ways to solve them], vol. 1, OAO «Energopromanalitika», Moscow, Russia, 356 p.

Mashkovcev, G.A., Konstantinov, A.K., Miguta, A.K., Shumilin, M.V., Shchetochkin, V.N. (2010) *Uran Rossijskih neдр* [Uranium of Russian subsoil], VIMS, Moscow, Russia, pp. 352-353.

Otchet o rezul'tatah inzhenerno-ekologicheskikh izyskanij na territorii rudnika (g. Beshtau) g. Lermontov, Stavropol'skij kraj [Report on the results of engineering and environmental surveys on the territory of the mine (Beshtau), Lermontov, Stavropol Territory] (2009) AO «VNIPIpromtekhnologii», Moscow, Russia, p. 411.

Rekul'tivaciya hvostohranilishcha GMZ i uranovykh rudnikov № 1 i № 2 byvshego gospredpriyatiya «Almaz» (g. Lermontov, Stavropol'skij kraj). Perechen' meropriyatij po ohrane okruzhayushchej sredy. Rudnik № 1 (g. Beshtau), rudnik № 2 (g. Byk), hvostohranilishche GMZ. Perechen' meropriyatij po ohrane okruzhayushchej sredy v period vypolneniya rekul'tivacionnykh rabot. Proektnaya dokumentaciya [Remediation of the tailings dump of the HMP and uranium mines no. 1 and no. 2 of the former state-owned enterprise 'Almaz' (Lermontov, Stavropol Territory). List of environmental protection measures. Mine no. 1 (Beshtau), mine no. 2 (Byk), HMP tailings pond. List of environmental protection measures during the period of remediation work. Project documentation] (2011a) AO «VNIPIpromtekhnologii», Moscow, Russia, vol. 8.1, p. 103.

Rekul'tivaciya hvostohranilishcha GMZ i uranovykh rudnikov № 1 i № 2 byvshego gospredpriyatiya «Almaz» (g. Lermontov, Stavropol'skij kraj). Proekt organizacii rabot po rekul'tivacii. Rudnik № 1 (g. Beshtau). Rekul'tivaciya prishtol'nykh otvalov, izolyaciya ust'ev gornyx vyrabotok, vyhodyashchih na zemnuyu poverhnost'. Proektnaya dokumentaciya [Remediation of the tailings dump of the HMP and uranium mines no. 1 and no. 2 of the former state enterprise 'Almaz' (Lermontov, Stavropol Territory). Project for organizing remediation work. Mine no. 1 (Beshtau). Remediation of adit dumps, isolation of the mouths of mine workings that open onto the earth's surface. Project documentation] (2011b) AO «VNIPIpromtekhnologii», Moscow, Russia, vol. 7.1, p. 50.

Titov, A.V., Shandala, N.K., Isaev, D.V., Semenova, M.P., Seregin, V.A., Belskih, U.S., Ostapchuk, T.V., Chernobaev, A.S. (2020) *Ocenka radiacionnoy opasnosti prebivaniya naseleniya i vedeniahoziaistvennoy deiatelnosti v rayone raspolggeniya virabotannogo uranovogo mestorogdeniya*, [Assessment of the radiation hazard of the population staying and conducting economic activities in the area of the depleted uranium deposit], *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'*, vol. 65, no. 2, pp. 11-16.

Shandala, N.K., Titov, A.V., Isaev, D.V., Semenova, M.P., Seregin, V.A., Ostapchuk, T.V., Shlygin, V.V., Starinsky, V.G., Starinskaya, R.A. (2017) Ocenka vliania posledstviy livnevih dogdey na radiacionnuiu obstanovku v raione raspologeniya shtolini No.16 bivshego predpriatia LPO «Almaz» [Assessment of the impact of the effects of heavy rains on the radiation situation in the area of tunnel no. 16 of the former ALMAZ Medical Treatment Plant,], *Medsina ekstremal'nykh situatsiy*, vol. 60, no. 2, pp. 202-207.

Boitsov, A.V., Komarov, A.V., Nikolsky, A.L. (2004) Environmental impact of uranium mining and milling in the Russian Federation, *Developments in Uranium Resources, Production, Demand and the Environment. Proceedings of a Technical Committee Meeting*, Vienna, IAEA-TECDOC-1425, pp. 165-170.

Статья поступила в редакцию (Received): 17.10.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 19.02.2026.

Для цитирования / For citation:

Титов, А.В., Бельских, Ю.С., Исаев, Д.В., Шандала, Н.К., Шашкова, О.Б., Иванов, С.Е., Квачева, Ю.Е., Пафомова, Т.В., Семенова, М.П. Сухов В.А. (2026) Содержание тяжелых металлов в водных объектах района бывшего предприятия Лермонтовское производственное объединение «Алмаз», *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXVII, № 3-4, с. 5-22, doi: 10.24412/2782-3237-2026-3-4-5-22.

Titov, A.V., Belskikh, Iu.S., Isaev, D.V., Shandala, N.K., Shashkova, O.B., Ivanov, S.E., Kvacheva, Yu.E., Pafomova, T.V., Semenova, M.P., Sukhov, V.A. (2026) The content of heavy metals in water bodies of the area of the former enterprise Lermontov production association «Almaz», *Ecological Monitoring and Ecosystem Modeling*, vol. XXXVII, no. 3-4, pp. 5-22, doi: 10.24412/2782-3237-2026-3-4-5-22.