

ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО МИНИМИЗАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ КИСЛЫХ ШАХТНЫХ ВОД НА ГИДРОСФЕРУ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕВИХИНСКОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛ.)

Л. С. Рыбникова¹, В. Ю. Наволокина¹

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия

Аннотация: Кислые шахтные воды от закрытых медноколчеданных рудников приводят к серьезным нарушениям гидробиологического режима водных объектов. В результате вода в реках характеризуется повышенной минерализацией, кислотностью и превышением фоновых концентраций по металлам на несколько порядков. Применяемая в настоящее время система нейтрализации кислых шахтных вод на Левихинском руднике не обеспечивает их очистку до нормативных показателей из-за несовершенства технологических регламентов, использования недостаточного количества извести для приготовления известкового молока. Кроме того, действующий пруд заполнен шламами, в результате существующего объема недостаточно для отстаивания воды после нейтрализации. После сброса с пруда и повторной нейтрализации шахтные воды протекают по спрямленному руслу Левихи, из-за чего сокращается время взаимодействия с известковым молоком. Тем не менее, степень очистки эффективна для ионов алюминия (98 %) и менее эффективна для сульфатов (45 %). После сброса очищенных шахтных вод с рудника в р. Тагил (устье р. Левихи) превышения ПДК составляют: для цинка – в 8500 раз, для меди – в 5700 раз, для марганца – в 3500 раз, для железа – в 580 раз, для алюминия – в 100 раз, для сульфатов – в 27 раз. Для улучшения экологической ситуации на Левихинском руднике необходимо использовать достаточное для нейтрализации количество извести; дополнить активную систему очистки пассивной в виде каскада прудов ниже сброса нейтрализованных сточных вод; реорганизовать пруд-осветлитель для достижения необходимого режима отстаивания воды после нейтрализации.

Ключевые слова: медноколчеданное месторождение, загрязняющие вещества, бассейн р. Тагил, кислые шахтные воды, каскад прудов, нейтрализация, комбинация активных и пассивных методов.

Для цитирования: Рыбникова Л. С., Наволокина В. Ю. Обоснование мероприятий по минимизации воздействия кислых шахтных вод на гидросферу (на примере Левихинского медноколчеданного месторождения, Свердловская обл.) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–2. – С. 245–256. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_245.

Justification of measures to minimize the impact of acidic mine waters on the hydrosphere: A case-study of Levikha Copper–Sulphide Mine, Sverdlovsk Region

L. S. Rybnikova¹, V. Yu. Navolokina¹

¹ Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract: Acid mine waters from closed copper–pyrite mines lead to serious disturbances in the hydrobiological regime of ground surface water bodies. As a result, mineralization, acidity and excessive background concentrations of metals in rivers gets higher by a few orders of magnitude. The currently used acid mine water neutralization system at Levikha mine provides deficient purification which is below the standard values due to imperfect technological regulations and owing to insufficient amount of lime in preparation of lime milk. Furthermore, the existing retention pond is filled with sludge and has insufficient volume left for water precipitation after neutralization. After being discharged from the pond and re-neutralized, mine waters flow along the straightened Levikha river bed, which reduces the time of water interaction with lime milk. However, the degree of purification is effective for aluminum ions (98%) and is less effective for sulfates (45%). After the discharge of the treated mine water from the mine into the river Tagil (mouth of the Levikha River), the excess of MAC is: 8500 times for zinc, 5700 times for copper, 3500 times for manganese, 580 times for iron, 100 times for aluminum and 27 times for sulfates. To improve the environmental situation at Levikha mine, it is necessary to use a sufficient amount of lime for the neutralization; to supplement the active treatment system with a passive system in the form of a cascade of ponds below the neutralized wastewater discharge; to re-arrange the clarification pond to achieve the required water sedimentation rate after neutralization.

Key words: copper–sulphide deposit, pollutants, Tagil river basin, acid mine drainage, linked ponds, neutralization, combination of active and passive methods.

Acknowledgements: The studies have been accomplished in the framework of the Fundamental Research Program of the Russian Academy of Sciences, Topics Nos. 0405-2019-0005 and 0328-2019-0005, as per the research plan for 2019–2021.

For citation: Rybnikova L. S., Navolokina V. Yu. Justification of measures to minimize the impact of acidic mine waters on the hydrosphere: A case-study of Levikha Copper–Sulphide Mine, Sverdlovsk Region. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–2):245–256. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_245.

Введение

Кислые шахтные воды — пространенная проблема загрязнения окружающей среды, которая возникает во всем мире в горнодобывающих районах.

В формировании рудничных и шахтных вод основная причина повышенной кислотности воды принадлежит процессам окислительного выветривания пирита и других сульфидных минералов [1]. Основными компонентами

в таких водах являются сульфаты, медь, цинк, марганец, железо, алюминий [2]. Вынос рудничными водами химических элементов продолжается и после завершения эксплуатации месторождения. Влияние последствий отработки месторождений на грунтовые и поверхностные воды длится десятки и более лет [3].

Все это приводит к тому, что кислые шахтные воды закрытых и затопленных предприятий горнопромышленного

комплекса, попадая в открытые водные объекты, за относительно короткое время распространяются на сотни километров, понижая кислотность и увеличивая содержание металлов.

Примером формирования высокой техногенной нагрузки на компоненты природной среды может служить закрытый и затопленный Левихинский медноколчеданный рудник, расположенный на территории Кировградского городского округа Свердловской области. Загрязнение вод бассейна реки Тагил вызвано длительным сбросом в водные объекты недостаточно очищенных кислых шахтных вод с затопленного Левихинского рудника.

Примером реализации экологической реабилитации загрязненных территорий, пострадавших от кислых шахтных вод, является отработанное медноколчеданное месторождение Лоусал в Португалии (Lousal). Там используется комбинация активной и пассивной системы очистки шахтных вод. Пассивная система состоит из 17 водоемов с плавающими макрофитами и другими растениями. Общая площадь прудов 2 га. Эта стратегия была реализована для очистки шахтных вод от высокого содержания металлов, таких как мышьяк, алюминий, железо, медь и хром, содержащихся в воде, подлежащей очистке, с рН ниже 3. Инвестиции в данный проект составили около 5 млн евро [4].

Целью работы является разработка и обоснование мероприятий по минимизации воздействия кислых шахтных вод Левихинского медноколчеданного месторождения на гидросферу р. Тагил (Свердловская область).

Характеристика района исследования. Левихинская группа медноколчеданных месторождений расположена на территории Кировградского городского округа Свердловской обла-

сти, на восточной окраине п. Левиха (рис. 1).

Левихинский рудник обрабатывался с 1927 по 2003 г. открытым и подземным способом с поэтажным обрушением. После прекращения отработки и затопления рудника образование кислых шахтных вод не прекратилось, в результате подъема уровня воды сформировались участки выхода на поверхность кислых минерализованных шахтных вод сульфатного состава с высокими содержаниями алюминия, железа, цинка, меди, марганца и сульфатов, которые стали источником загрязнения поверхностных и подземных вод.

К 2007 году к моменту окончания затопления рудника была организована система сбора кислых шахтных вод, перекачки из техногенного водоема, их нейтрализация известковым молоком, сброс в пруд-осветлитель, вторичная нейтрализация перед сбросом в р. Левиху (рис. 2).

Материалы и методы

Начиная с 2007 г., наблюдение за составом шахтных и подотвальных вод Левихинского медноколчеданного рудника проводится организацией, производящей нейтрализацию шахтных вод. Ежедневно определяются наиболее характерные для кислых шахтных вод показатели загрязнения: рН, Cu^{2+} , Zn^{2+} , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Mn^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , сухой остаток, взвешенные вещества, нефтепродукты и мышьяк. Для их анализа используется потенциметрический, фотометрический и гравиметрический методы (Испытательная химическая лаборатория филиала ГКУСО «УралМонацит», п. Левиха) [5].

Результаты и обсуждение. Начиная с верховьев реки Тагил, фоновые концентрации компонентов превышены по отношению к предельно допусти-



Рис. 1. Обзорная карта расположения Левихинского рудника

Fig. 1. Areal map of Levikha mine field

мым концентрациям рыбохозяйственного значения в 3–7 раз для марганца, меди, железа и алюминия [6]. Присутствие металлов в речной воде определяется влиянием таких факторов природного характера, как атмосферные осадки, горные породы, подземные воды, температурный режим и рельеф [7]. Такие же превышения фиксируются практически во всех створах государственной наблюдательной сети на территории Свердловской области, в том числе в верховьях рек, в створах, не подверженных прямой антропогенной нагрузке [8].

За 2019 г. среднегодовые концентрации в шахтных водах Левихинского рудника составили для меди 18 мг/л, марганца 66 мг/л, цинка 175 мг/л, железа 1225 мг/л (табл. 1). В устье р. Левихи при сбросе в р. Тагил концентрации снижаются в 2–3 раза по марганцу, цинку меди и сульфатам, по железу, алюминию — в 20 и 58 раз, соответственно (табл. 1).

Применяемая в настоящее время система очистки наиболее эффективна для ионов железа и алюминия (95–98 %), от марганца и сульфатов — наименее эффективна (43–45 %). Однако



Рис. 2. Расположение объектов на Левихинском руднике

Fig. 2. Layout of Levikha mine infrastructure

Таблица 1

Изменение содержания компонентов в водных объектах в районе Левихинского рудника (за 2019 г.)

Change in the content of components in water bodies in the area of Levikha mine (2019)

Место отбора проб	Содержание компонента, мг/л						
	pH	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe _{общ}	Mn ²⁺	Al ³⁺	SO ₄ ²⁺
	ПДКрх [9]						
	6,5–8,5	0,001	0,01	0,1	0,01	0,04	100
Неочищенные шахтные воды	3,6 (3,4–3,9)	18 (13,3–19,6)	175 (153–200)	1225 (1031–1355)	66 (53,8–66,8)	231	4721 (3520–9900)
Пруд-осветлитель	2,9 (2,7–3,1)	7 (5,1–11,2)	109 (87,2–132)	161 (69,2–334)	42 (34,6–56)	131	3568 (2170–6389)
Устье р. Левихи (сброс в р. Тагил)	4,6 (3,9–6,6)	6 (1,1–9,1)	85 (65–104)	58 (25–121)	36 (12–71)	4	2707 (1310–5000)
р. Тагил, выше сброса	7,4 (7,1–8)	0,02 (0,01–0,03)	0,05 (0,03–0,1)	0,7 (0,5–1,2)	0,07 (0,03–0,2)	0,1	33 (19,8–60,1)
р. Тагил, ниже сброса	7,1 (6,7–7,7)	0,14 (0,06–0,3)	1,9 (0,8–5,3)	1,4 (0,6–2,2)	1,2 (0,1–3)	1,8	104 (46–347)
Эффективность очистки, %	–	67	51	95	45	98	43

Примечания: в числителе среднегодовое значение в водных объектах; в знаменателе диапазон изменений значений.

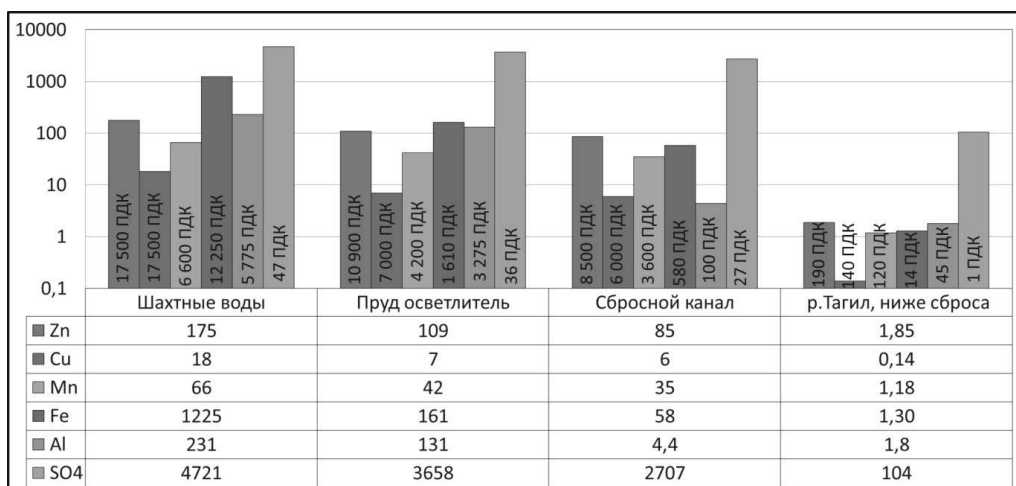


Рис. 3. Изменение содержания компонентов и кратность превышения ПДК_{рх} в водных объектах в районе Левихинского рудника (средние значения за 2019 г.)

Fig. 3. Change in the content of components and MAC excess order in water bodies in the area of Levikha mine (average values in 2019)

в устье р. Левихи при сбросе в р. Тагил превышения ПДК составляют: для цинка в 8500 раз, меди в 6000 раз, марганца в 3600 раз, железа в 580 раз, алюминия в 100 раз, сульфатов в 27 раз (рис. 3).

Система нейтрализации кислых шахтных вод на Левихинском руднике не обеспечивает очистку сточных вод до нормативных показателей качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения в результате несовершенства применяемых схем, несоблюдения технологических регламентов, отклонения от технологии приготовления известкового молока и нехватки технологической воды. Все эти факторы приводят к неэффективной работе сооружений и не позволяют достичь возможных показателей очистки.

Очистные сооружения включают станцию нейтрализации кислых вод известковым молоком и пруд-осветлитель. Площадка под пруд-осветлитель расположена на склоне возвышенности, падающем к реке Тагил, к востоку от рудника на рассто-

янии 0,6–0,65 км, в пойме р. Левихи. Пруд-отстойник, в который осуществляется сброс загрязненных вод, расположен в 2,5 км от реки Тагил.

Основание пруда-осветлителя сложено суглинками с примесью щебня, а южное крыло скальными выветренными породами. Объем пруда-осветлителя составляет 3 млн м³, с расходом 759 тыс. м³/год.

Шахтные воды с их сложным минеральным составом трудно довести по степени очистки до предельно допустимых концентраций при сбросе их в р. Тагил. Степень заполнения пруда-осветлителя на Левихинском руднике уже в 1996 г. составляла 95 % (2,85 млн м³) [10]. В результате этого уменьшилась глубина зоны отстаивания, увеличилась скорость движения стоков в отстойной зоне и снизился эффект их осветления.

Для решения обозначенных проблем на существующих сооружениях очистки шахтных вод с целью интенсификации их работы и повышения эффективности очистки с минималь-

ными затратами требуется на руднике дополнить и модернизировать существующую систему очистки.

Во-первых, использовать не менее 9,2 тыс. тонн в год извести для поддержания кислотности (рН), при которой происходит образование нерастворимых гидроксидов железа, меди, марганца, цинка. В предыдущие годы было использовано 6,5 тыс. тонн извести, и этого оказалось недостаточно для эффективной нейтрализации шахтных вод: в воде пруда-осветлителя рН составляет 2,7–3.

Для определения количества гашеной извести, необходимой для нейтрализации шахтных вод и осаждения металлов, была использована зависимость [11]

$$G = k \cdot \frac{100}{B} \cdot (\alpha \cdot A + b_1 \cdot C_1 + b_2 \cdot C_2 + \dots + b_n \cdot C_n) \quad , \quad (1)$$

где k — коэффициент запаса расхода реагента по сравнению с теоретическим ($k = 1,1$ для известкового молока); B — количество активной части в товарном продукте (95 %); Q — количество сточных вод, подлежащих нейтрализации (93 000 м³/мес); a — расход реагента для нейтрализации, г/кг; A — содержание серной кислоты, кг/м³; C_1, C_2, \dots, C_n — концентрации металлов в шахтных водах, кг/м³; b_1, b_2, \dots, b_n — концентрации реагентов, требуемых для перевода металла из растворенного состояния в осадок, кг/кг.

Во-вторых, существующую систему очистки целесообразно дополнить пассивной, которую можно реализовать в виде каскада прудов на участке русла р. Левихи после сброса нейтрализованных сточных вод из пруда-осветлителя. В результате использования прудов будет обеспечиваться осаждение металлов вследствие снижения скоро-

сти течения воды и увеличения времени взаимодействия загрязняющих веществ с реагентами. Применение каскадов позволит активно перемешиваться сточным водам с известковым молоком, в результате этого при отстаивании и перетекании сточных вод из одного пруда в другой будет поступать все меньше ионов металлов, тем самым при сбросе в р. Тагил будет достигаться гораздо более высокая степень очистки.

Для оценки общей площади каскада прудов была использована методика, приведенная в руководстве [12]

$$A = \frac{Q_d \cdot (C_i - C_t)}{R_a} \quad , \quad (2)$$

где A — требуемая площадь пруда (м²); Q_d — среднесуточный расход воды (м³/сут); C_i — концентрация загрязняющих веществ на входе (мг/л); C_t — концентрации загрязняющих веществ при окончательном сбросе (мг/л); R_a — скорость удаления загрязняющих веществ (г/м²/сут). Для обеспечения инженерного запаса при расчетах используются значения R_a для зимнего периода времени и значение соответствующего расхода воды, подаваемой на нейтрализацию.

Площадь, необходимая для осаждения металлов, составляет для сульфатов 79 га, для марганца 46 га, для цинка 44 га, для алюминия 35 га, для меди 17 га и для железа 4 га (табл. 2, рис. 4, 5). В настоящее время площадь действующего пруда осветлителя 142 га (рис. 4).

Можно рекомендовать создание каскада прудов общей площадью в 40 га. Первые три — это пруды-осветлители для отстаивания ионов металлов, четвертый пруд — геоботаническая площадка. Искусственно созданный заболоченный пруд с посад-

Таблица 2

Требуемая площадь пруда в зависимости от загрязняющего вещества, находящегося в шахтных водах
Required pond area versus pollutant in mine process water

Компонент	Концентрация компонента на входе, C_i (мг/л)*	Концентрация компонента на сбросе, C_t (мг/л)**	Расход воды, Q (м ³ /сут)	Скорость удаления компонента в пруду, R_a (расчетная) (г/сут/м ²)	Требуемая площадь для прудов, A (м ²)
Fe	161	0,5	2400	10	38520
Mn	42	0,03	2400	0,22	462218
Cu	7	0,004	2400	0,10	172704
Al	131	0,3	2400	0,91	344703
Zn	109	0,01	2400	0,60	435960
SO ₄	3568	100	2400	10,54	789677

Примечания * среднегодовое значение на сбросе из пруда-осветлителя, ** фоновые значения (концентрации в верховьях реки Тагил) только для тех компонентов, где фоновые выше ПДКрх.

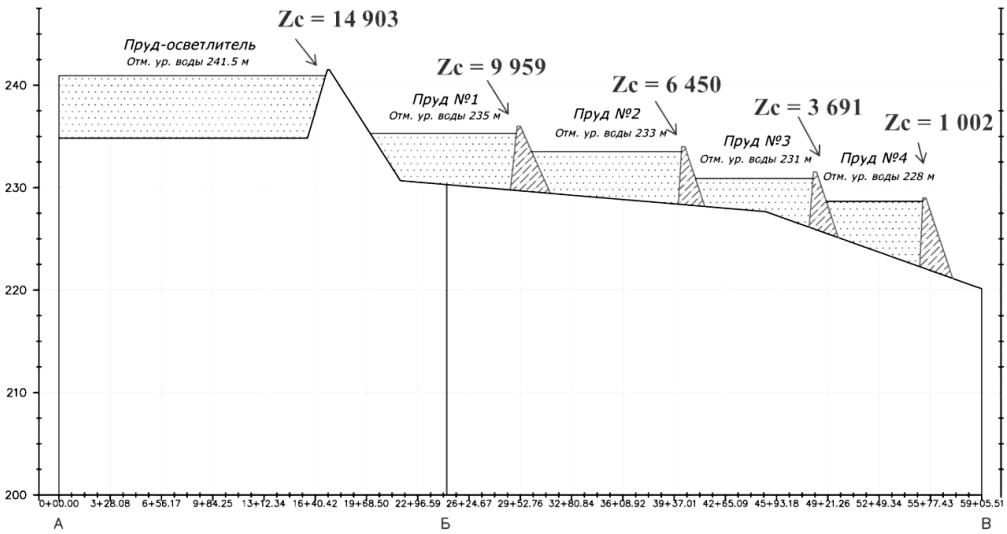


Рис. 4. Профиль из каскада прудов
 Fig. 4. Elevation view of cascade of ponds

ками водной растительности позволит доочистить сточные воды до фоновых концентраций в р. Тагил по Cu, Fe, Al (табл. 3). Для очистки от ионов Zn, Mn необходимо применять другой спо-

соб очистки, например, ионообменные смолы.

Дополнение системы очистки на Левихинском руднике пассивной позволит снизить суммарный пока-

Таблица 3

Изменение концентраций загрязняющих веществ и суммарного показателя загрязнения на сбросе из каскада прудов
Variation of pollutant concentrations and cumulative pollution at discharge point from linked ponds

Объект	Концентрации загрязняющих веществ на сбросе, мг/л						Суммарный показатель загрязнения
	Fe	Mn	Cu	Al	Zn	SO ₄	
Пруд-осветлитель	161	42	7	131	109	3568	14 903
Пруд № 1	0,5	33	3	93	84	3129	9 959
Пруд № 2	0,5	24	0,004	55	59	2690	6 450
Пруд № 3	0,5	15	0,004	17	34	2251	3 691
Пруд № 4	0,5	6	0,004	0,3	9	1811	1 002

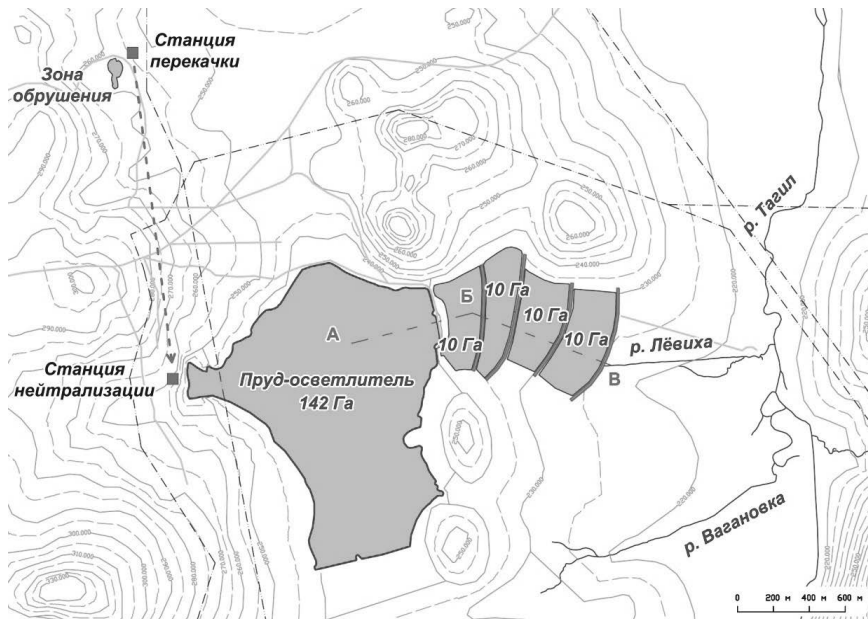


Рис. 5. Карта-схема размещения объектов Левихинского рудника для очистки кислых шахтных вод. А-В линия разреза (см. рис. 2)

Fig. 5. Map-location chart of Levikha mine infrastructure for acid mine water treatment. A-B section (see Fig. 2)

затель загрязнения почти в 15 раз (табл. 3).

В-третьих, требуется реорганизация пруда-осветлителя для достижения необходимого режима отстаивания воды после нейтрализации. Решить проблему можно с помощью деления

пруда на сегменты, осушения, грунтоования шлама и его вывоза.

Выводы

Для снижения экологической нагрузки на гидросферу и предотвращения поступления неочищенных кис-

лых вод в водотоки на Левихинском руднике организована система очистки кислых шахтных вод. Технология очистки включает сбор и перекачку вод из техногенного водоема, их нейтрализацию известковым молоком, отстаивание в пруду-осветлителе, повторную нейтрализацию при сбросе из пруда. Применяемая в настоящее время система очистки достаточно эффективна для удаления алюминия и железа (95–98 %), однако для от марганца и сульфатов не более степень очистки не более 43–45 %.

После сброса очищенных шахтных вод с рудника в р. Тагил (устье р. Левихи) ПДК превышает для цинка в 8500 раз, меди в 5700 раз, марганца в 3500 раз, железа в 580 раз, алюминия в 100 раз, сульфатов в 27 раз.

Низкая эффективность очистки на затопленном Левихинском руднике является следствием целого комплекса причин: во-первых, несовершенства

применяемых схем; во-вторых, недостаточно четкой эксплуатации очистных сооружений; в-третьих, несоблюдения технологических регламентов; в-четвертых, отклонения от технологии приготовления известкового молока и нехватки технологической воды.

Для повышения эффективности очистки необходимо модернизировать существующую систему: использовать достаточное для нейтрализации количество известки; дополнить активную систему очистки пассивной в виде каскада прудов ниже сброса нейтрализованных сточных вод; реорганизовать пруд-осветлитель для достижения необходимого режима отстаивания воды после нейтрализации.

В результате реконструкция действующей системы очистки шахтных вод позволит в несколько раз снизить содержания металлов в сточных водах, значительно улучшить экологическую обстановку и снизить ущерб гидросфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбникова Л. С. Рыбников П. А. Закономерности формирования качества подземных вод на отработанных медноколчеданных рудниках Левихинского рудного поля (Средний Урал, Россия) // Геохимия. — 2019. — Т.64. — №3. — С.282–299.
2. Nordstrom D. K. Baseline and premining geochemical characterization of mined sites // Applied Geochemistry. 2015. №57. P. 17–34.
3. Lottermoser B. Environmental Indicators in Metal Mining // Springer International Publishing Switzerland. — 2017. pp. 413.
4. Carvalho E. Environmental Remediation of Abandoned Mines in Portugal — Balance of 15 Years of Activity and New Perspectives / E. Carvalho, C. Diamantino, R. Pinto // Proceedings IMWA 2016, Freiberg/Germany. — 2016. — pp. 554–561.
5. Rybnikova L., Navolokina V. Analysis and Feasibility of Measures to Minimize the Impact of Acid Mine Waters Discharged by Abandoned Copper-Sulphide Mines on Hydrosphere of the Tagil River // E3S Web of Conferences. 177, 04009 (2020).
6. Рыбникова Л. С., Наволокина В. Ю. Оценка состояния гидросферы в верховьях бассейна р. Тагил (Свердловская область) // Проблемы недропользования. — 2020. — №2. — с. 81–89.
7. Информационно-аналитические материалы по результатам мониторинга загрязнения окружающей среды «Ежегодник качества поверхностных вод РФ за 2018 год» /М. М. Трофимчук — Росгидромет, Ростов — на — Дону, 2019. С. 561.
8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2013 году»

9. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. — М.: Изд-во ВНИРО, 2011. — С. 257 (Утверждены приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года № 552 с изменениями на 10 марта 2020 года).

10. Козин В. З. Совершенствование технологии нейтрализации шахтных вод Левихинского рудника / В. З. Козин, А. В. Колтунов, Ю. П. Морозов, В. А. Осинцев, В. В. Русский, И. Н. Перестронин, Г. Л. Тюрина // Известия ВУЗов. Горный журнал. — 1997. — № 11 — 12. — С. 211 — 214.

11. Филиппов В. Н. Оборудование и технология очистки сточных вод, примеры расчета / В. Н. Филиппов, А. П. Зиновьев, Г. И. Рыжов // ; Уфим. гос. нефтяной техн. ун-т. — Уфа. — 2003. — 299 с

12. PIRAMID Consortium. Engineering guidelines for the passive remediation of acidic and/or metalliferous mine drainage and similar wastewaters. European Commission 5th Framework RTD Project no. EVK1-CT-1999— 000021 “Passive in-situ remediation of acidic mine / industrial drainage” (PIRAMID). University of Newcastle Upon Tyne, Newcastle Upon Tyne UK. — 2003. — pp. 166.

REFERENCES

1. Rybnikova L. S., Rybnikov P. A. Regularities in the Evolution of Groundwater Quality at Abandoned Copper Sulfide Mines at the Levikha Ore Field, Central Urals, Russia. *Geochemistry International*, 2019, Vol. 57, no. 3, pp. 298— 313. [In Russ]

2. Nordstrom D. K. Baseline and premining geochemical characterization of mined sites. *Applied Geochemistry*. 2015. no.57. P. 17 — 34.

3. Carvalho E., Diamantino C., Pinto R. Environmental Remediation of Abandoned Mines in Portugal Balance of 15 Years of Activity and New Perspectives. Proceedings IMWA 2016, Freiberg/Germany. 2016. pp. 554— 561.

4. Lottermoser B. Environmental Indicators in Metal Mining. *Springer International Publishing Switzerland*. 2017. pp. 413.

5. Ribnikova L., Navolokina V. Analysis and Feasibility of Measures to Minimize the Impact of Acid Mine Waters Discharged by Abandoned Copper-Sulphide Mines on Hydrosphere of the Tagil River. E3S Web of Conferences. 177, 04009 (2020).

6. Rybnikova L.S, Navolokina V. Y. Assessment of the hydrosphere state of the upper reaches of the Tagil River basin (Sverdlovsk region). *Subsoil use problems*. 2020. no. 2. pp. 81 — 89. [In Russ]


7. Information and analytical materials based on the results of environmental pollution monitoring “Yearbook of the quality of surface water in the Russian Federation for 2018”. М. М. Трофимчук Росгидромет, Ростов on Don, 2019, p. 561. [In Russ]

8. *Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Sverdlovskoj oblasti v 2013 godu»* [State report “On the state and protection of the environment of the Sverdlovsk region in 2013”]. [In Russ]

9. *Normativy kachestva vody vodnyh ob'ektov rybohozyajstvennogo znacheniya, v tom chisle normativy predel'no dopustimyh koncentracij vrednyh veshchestv v vodah vodnyh ob'ektov rybohozyajstvennogo znacheniya* [Standards for water quality of water bodies of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in waters of water bodies of fishery significance]. Moscow: VNIRO Publishing House, 2011. P. 257 (Approved by order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation no. 552 dated December 13, 2016, as amended on March 10, 2020). [In Russ]

10. Kozin V. Z., Koltunov A. V., Morozov Ju.P., Osintsev V. A., Russkij V. V., Perestronin I. N., Tjurina G. L. Improving the technology for neutralizing mine waters of the Levikhinsky mine. *Izv. VUZov. Gornij zhurnal*. 1997. no 11 — 12. pp. 211 — 214. [In Russ]

11. V. Filippov N., A. Zinoviev P., G. Ryzhov I. Equipment and technology of wastewater treatment, calculation examples. Ufim. state oil tech. un-t. Ufa. 2003. p. 299. [In Russ]

12. PIRAMID Consortium. Engineering guidelines for the passive remediation of acidic and/or metalliferous mine drainage and similar wastewaters. European Commission 5th Framework RTD Project no. EVK1-CT-1999 – 000021 “Passive in-situ remediation of acidic mine. industrial drainage” (PIRAMID). University of Newcastle Upon Tyne, Newcastle Upon Tyne UK.- 2003.- pp. 166. 

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Рыбникова Людмила Сергеевна*¹ – докт. геол.-минерал. наук, главный научный сотрудник лаборатории экологии горного производства, luserib@mail.ru;

*Наволокина Вера Юрьевна*¹ – младший научный сотрудник лаборатории геоинформационных и цифровых технологий в недропользовании, vunavolokina@gmail.com;

¹ Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Rybnikova L. S.*¹, Dr. Sci. (Geol. Mineral.), chief researcher, the laboratory of mining ecology, luserib@mail.ru.

*Navolokina V. Yu.*¹, junior researcher, the laboratory of information and digital technologies in subsoil use, vunavolokina@gmail.com;

¹ Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 25.12.2020; получена после рецензии 19.03.2021; принята к печати 10.04.2021.

Received by the editors 25.12.2020; received after the review 19.03.2021; accepted for printing 10.04.2021.

