

УДК 504.058:622.5

Рыбникова Людмила Сергеевна

доктор геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории экологии горного производства,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: luserib@mail.ru.

Рыбников Петр Андреевич

кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории экологии горного производства,
Институт горного дела УрО РАН,
Уральский государственный
горный университет,
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
e-mail: ribnikoff@yandex.ru

Наволокина Вера Юрьевна

младший научный сотрудник
лаборатории геоинформационных и цифровых
технологий в недропользовании,
Институт горного дела УрО РАН,
Уральский государственный
горный университет
e-mail: pigmalion999@rambler.ru

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ
ЗАТОПЛЕННОГО ЛЕВИХИНСКОГО
МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО РУДНИКА
НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ
ВОД РЕКИ ТАГИЛ****Аннотация:*

Шахтные воды являются одной из основных угроз для гидросферы горнодобывающих районов не только на стадии активной добычи, но и после ее завершения. Анализ показателей загрязнения техногенных водных объектов реки Тагил и ее притоков, расположенных на площади частного водосбора в районе затопленного Левихинского медноколчеданного рудника, позволил выявить пространственно-временные закономерности изменения химического состава подземных и поверхностных вод. Основными источниками поступления химических элементов в водные объекты являются техногенные озера, горные выработки, отвалы, хвостохранилища. Несмотря на то что существующая система сбора и очистки шахтных и подтовальных вод позволяет существенно снизить содержание загрязняющих компонентов в сточных водах, степень загрязнения реки Тагил после сброса очищенных шахтных вод через 20 лет после прекращения горнодобывающей деятельности остается очень высокой. Для улучшения экологической обстановки необходимо дополнить существующую схему очистки пассивными методами.

Ключевые слова: гидросфера, медноколчеданное месторождение, загрязняющие вещества, затопление, река Тагил

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.03.155

Rybnikova Liudmila S.

Doctor of Geological
and Mineralogical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of Mining Ecology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075, Russia, Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
luserib@mail.ru.

Rybnikov Petr A.

Candidate of Geological
and Mineralogical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of Mining Ecology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
Ural State Mining University,
620144, Ekaterinburg, 30, Kuybysheva Str.
e-mail: ribnikoff@yandex.ru

Navolokina Vera Yu.

Junior Researcher,
Laboratory of Geoinformation
and Digital Technologies in Subsoil Use,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
Ural State Mining University
e-mail: pigmalion999@rambler.ru

**ASSESSMENT OF THE INFLUENCE
OF THE FLOODED COPPER MINE
LEVIKHINSKY ON THE QUALITY
OF TAGIL RIVER WATER***Abstract:*

Mine waters are one of the main threats to the hydrosphere of mining areas not only at the stage of active production, but also after its completion. The analysis of pollution indicators of technogenic water bodies of Tagil river and its tributaries, located on the territory of a private catchment area in the zone of the flooded Levikhinsky copper mine, revealed the spatial and temporal patterns of changes in the chemical composition of ground water and surface water. The main sources of chemical elements in water bodies are man-made lakes, mine workings, dumps, tailings. Despite the fact that the existing system of collection and treatment of mine and underspoil waters can significantly reduce the content of pollutants in wastewater, the degree of pollution of the Tagil river remains very high after the discharge of treated mine waters 20 years after the cessation of mining activity. To improve the environmental (ecological) situation, it is necessary to supplement the existing scheme of cleaning with passive methods.

Key words: hydrosphere, copper-sulphide deposit, pollutants, abandoned mine, flooding, Tagil river

* Статья подготовлена в рамках программы ФНИ №0405-2019-0005 в соответствии с планом НИР.

Введение

Гидросфера Свердловской области испытывает значительную техногенную нагрузку. Реками с крайне неблагоприятной экологической ситуацией, в первую очередь связанной с деятельностью предприятий горнопромышленного профиля, являются реки Тагил, Чусовая, Пышма, Исеть, Тура [1]. В бассейне реки Тагил разрабатываются крупные месторождения твердых полезных ископаемых (Высокогорское, Лебяжинское, Естюнинское железорудные, Волковское медно-железо-ванадиевое), здесь имеется около 40 организованных выпусков сточных вод, в том числе шахтных на обрабатываемых и затопленных рудниках [2]. В долине реки Тагил расположено несколько отработанных медноколчеданных рудников, это Ежовский, Ломовский, Карпушихинский, Белореченский и Левихинский. Очищенные шахтные воды сбрасываются в реку Тагил, где расположено Леневское водохранилище, которое является одним из источников водоснабжения города Нижний Тагил (население 350 тыс. человек).

Цель работы – проанализировать макро- и микрокомпонентный состав подземных и поверхностных вод в районе затопленного Левихинского рудника, оценить эффективность существующей системы очистки шахтных вод и возможные способы улучшения состояния гидросферы в старопромышленном районе.

Объект исследования

Левихинская группа медноколчеданных месторождений расположена на территории Кировградского городского округа Свердловской области, в 32 км северо-западнее г. Кировград, на восточной окраине п. Левиха. Левихинский рудник обрабатывался с 1972 по 2003 г. Главная особенность Левихинских месторождений – наличие большого количества рудных тел (около 800, отработано около 100) и обилие вкрапленных руд, которые окружают тела массивного колчедана.

Гидрографическая сеть рассматриваемой территории представлена рекой Тагил и ее левобережными притоками: реками Левиха, Кузька, Аблей. Шахты и карьеры рудника расположены преимущественно в пределах бассейна реки Левиха. Река Тагил является водным объектом рыбохозяйственного значения второй категории, ее длина составляет 414 км, площадь бассейна – 10,1 тыс. км², она впадает в реку Тура (Тобол-Иртыш, Иртышский бассейновый округ).

Отработка Левихинского рудника в период 1927 – 2003 гг. шла открытым (до глубины 70 м) и подземным (до глубины 618 м системами с подэтажным обрушением) способами. В пределах шахтного поля образовались обширные зоны сдвижения и обрушения пород с воронкообразными провалами глубиной до 30 м. До конца 1950-х годов водоотлив осуществлялся через шахты без очистки с последующим сбросом в болото Пороховое, расположенное на северо-западе месторождения, экосистема которого до настоящего времени не восстановилась. В 1959 г. в низовьях реки Левиха был создан осветлительный пруд, предназначенный для отстаивания выносимых с шахтными водами взвесей (рис. 1).

Особенностью медноколчеданных месторождений является наличие сульфидной минерализации, окисление которой при отработке месторождений с понижением уровня подземных вод приводит к формированию кислых минерализованных шахтных вод сульфатного состава с высокими содержаниями железа (до 3516 мг/л), алюминия (до 1850 мг/л), магния (до 856 мг/л), цинка (до 556 мг/л), меди (до 453 мг/л), марганца (до 110 мг/л) [3]. Химический состав шахтных вод периода отработки описывается формулой Курлова вида:

$$M_{24,8} \frac{SO_4 96}{Al3 Mg23 Fe21 Ca10 Zn8} pH 2,5. \quad (1)$$

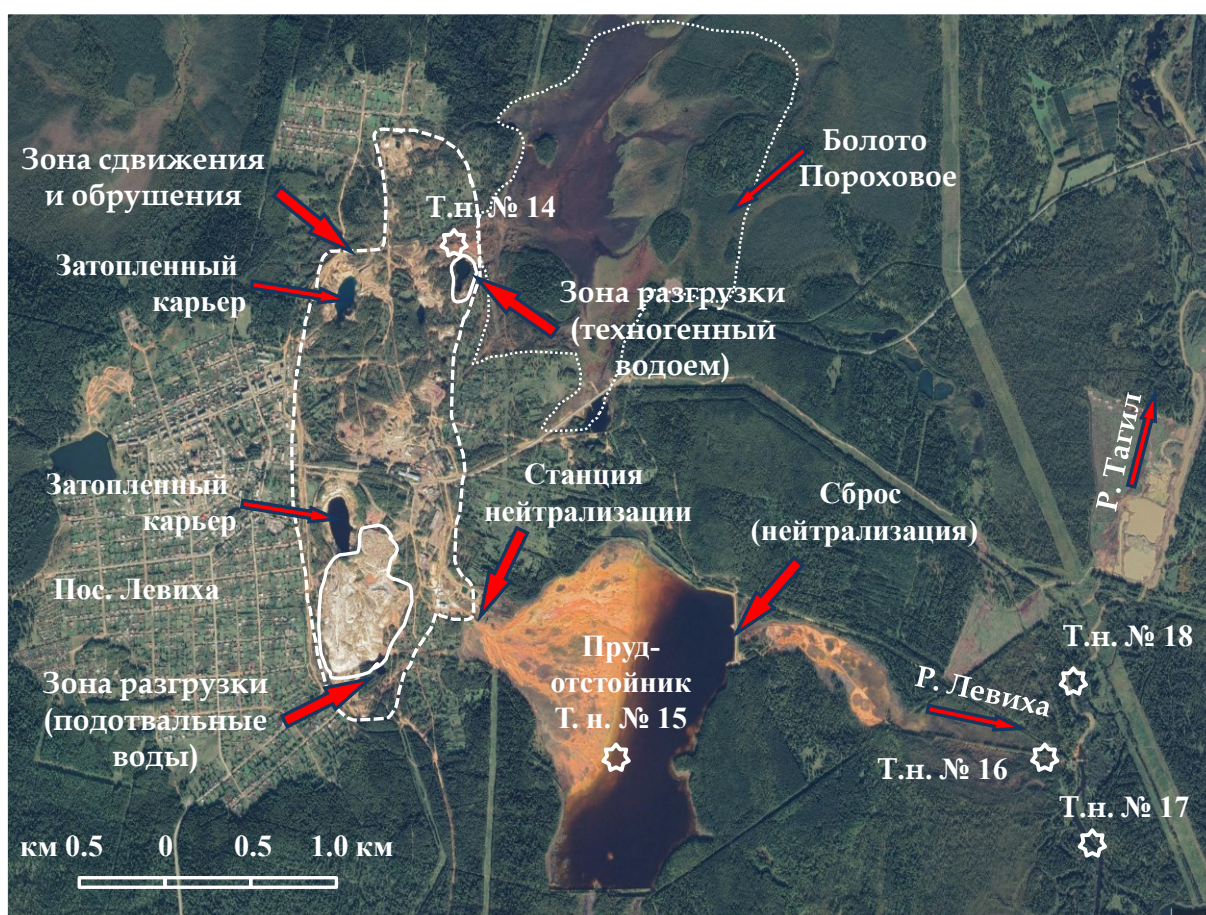
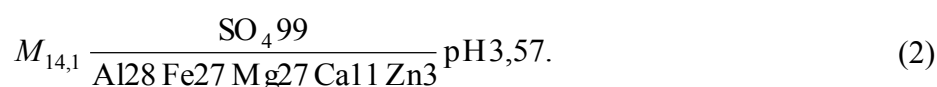


Рис. 1 – Обзорная схема расположения водных объектов и точек наблюдения в районе отработанного Левихинского медноколчеданного рудника

После завершения отработки и прекращения водоотлива происходит заполнение депрессионной воронки, в пониженных участках (например, отработанных карьерах, зонах обрушения) кислые подземные воды разгружаются на поверхность. Состав их сульфатный, гидрокарбонат-ион отсутствует; среди катионов преобладают железо (1262 мг/л), магний (587 мг/л), алюминий (412 мг/л), цинк (183 мг/л), марганец 70 мг/л), медь (16 мг/л) (опробование 29.11.2016 г.) [4]. Химический состав шахтных вод через 10 лет после завершения отработки описывается формулой Курлова вида:



После прекращения работ на Левихинском руднике и его затопления в результате подъема уровня воды возникла угроза загрязнения прилегающей к руднику территории и открытых водоемов токсичными шахтными и подотвальными водами. Основным участком выхода подземных вод на поверхность с апреля 2007 г. является провал (зона обрушения от гор. -175 м) в районе шахты Левиха-II, где в результате сосредоточенной разгрузки подземных вод сформировался техногенный водоем с кислыми шахтными водами (глубина порядка 20 м).

Для предотвращения загрязнения окружающей среды после затопления рудника была организована система сбора подотвальных вод, перекачки вод из техногенного водоема, их нейтрализация известковым молоком, сброс в пруд-осветлитель и далее в реку Тагил [5].

Методы исследования

Состав вод в районе Левихинского медноколчеданного рудника анализируется на основе данных мониторинга за период с начала 1950-х годов до настоящего времени. Начиная с 2007 г. ежедневно определяются pH, Cu^{2+} , Zn^{2+} , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Cl^- , SO_4^{2-} , Mn^{2+} , As^{2+} , нефтепродукты и общая минерализация. Наблюдательные точки: техногенный водоем, пруд-отстойник, сбросной канал, река Тагил в двух створах – выше и ниже сброса (см. рис. 1).

Для оценки изменения содержания компонентов в воде реки Тагил во времени построены графики, отображающие диапазон изменения концентраций загрязняющих веществ в зоне разгрузки шахтных вод, в пруду-осветлителе, в сбросном канале, выше и ниже сброса очищенных сточных вод Левихинского рудника по годам.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализируя степень и характер загрязнения воды в реке Тагил по ее течению, можно отметить значительное ухудшение качества воды после сброса очищенных сточных вод с Левихинского рудника (рис. 2). Содержание всех компонентов в воде реки Тагил увеличивается: концентрация сульфатов возрастает в 4 раза, меди в 5 раз, цинка – в 15 раз, железа – в 1,5 раза. Такое положение объясняется не только повышенными содержаниями этих компонентов в шахтных водах затопленного рудника. Немаловажное значение имеют такие факторы, как несовершенство очистки, вторичное загрязнение сточных вод осадками, которые накоплены в шламоотстойном пруду [6, 7].

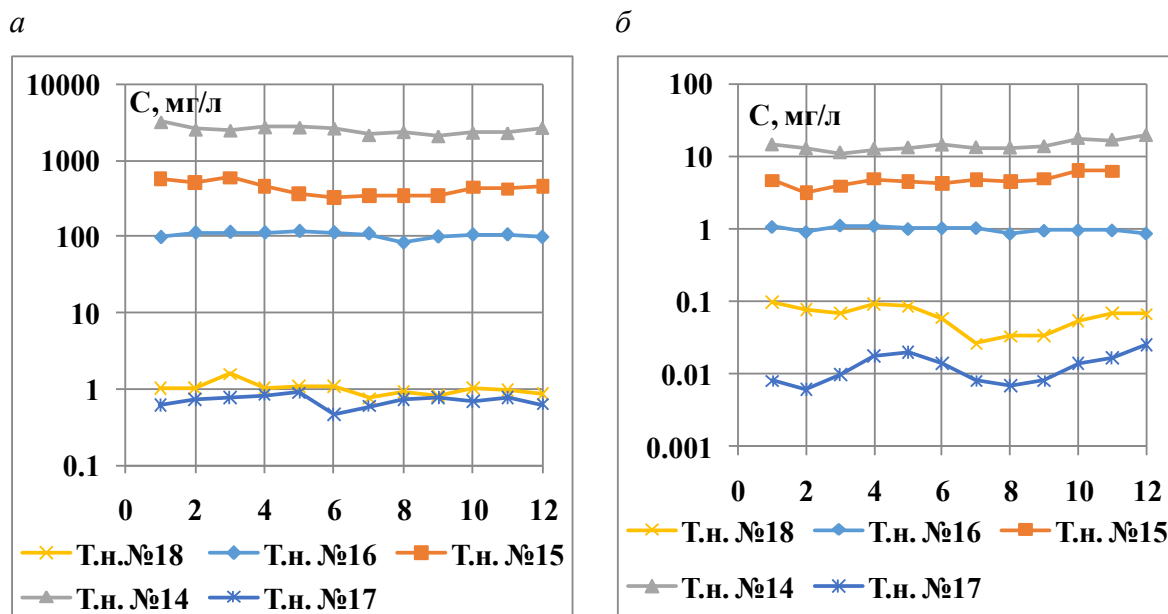


Рис. 2 – Изменение содержания железа (а) и меди (б) в водных объектах в районе Левихинского рудника в течение 2016 г.:

Т.н. № 14 – техногенный водоем; Т.н. № 15 – пруд-осветлитель.

Наблюдательные точки: Т.н. № 16 – сбросной канал на реке Левиха;

Т.н. № 17 – река Тагил выше сброса; Т.н. № 18 – река Тагил ниже сброса

Для очистки кислых шахтных вод чаще всего применяются активные, или химические, методы, в том числе и на отработанных медноколчеданных рудниках Свердловской области, используются негашеная известь, гидроксид натрия (каустическая сода) или известняк [8]. В результате этих реакций формируются нерастворимые или плохо растворимые осадки, для их осаждения используются различные конструкции осветлительных прудов. До середины 1950-х годов кислые шахтные воды ($\text{pH}=2\div3$) отработываемых медноколчеданных рудников на Среднем Урале сбрасывались в близлежащие

реки, ручьи или болота, выжигая растительность, которая во многих местах не восстановилась до сих пор, как, например, на территории Порохового болота в районе Левихинского рудника (см. рис. 1). Позднее для очистки кислых шахтных вод стал использоваться метод нейтрализации, основанный на обработке рудничных и подотвальных вод известковым молоком. Это приводит к осаждению тяжелых металлов, в первую очередь меди, цинка, кадмия, в виде их нерастворимых гидроксидов и основных карбонатов. Лучшее осаждение происходит при $\text{pH}=8-9$, при повышении pH может начаться растворение осадка. После отстаивания в специальных прудах нейтрализованная осветленная вода сбрасывается в поверхностные водные объекты.

Пассивные методы очистки основаны на процессах самоочистки, они значительно дешевле и активно развиваются в последние годы [9, 10]. Для уменьшения концентраций загрязняющих веществ, поступающих в поверхностные водотоки на отработанных горнодобывающих объектах, целесообразно дополнить активные методы очистки пассивными. Система пассивной очистки включает несколько последовательных этапов: аэрация, отстаивание, биологическая очистка – биоплато (в пределах аэробных водно-болотных угодий, в том числе искусственных) и окончательная фильтрация перед сбросом путем фильтрации через барьер, заполненный щелочным материалом.

Несмотря на недостатки, метод нейтрализации кислых вод известковым молоком (или известковым раствором) как у нас в стране, так и за рубежом является наиболее распространенным методом очистки больших объемов сточных вод. Степень очистки шахтных вод затопленного Левихинского рудника достигает 94 % для железа и меди. Тем не менее ниже сброса очищенных шахтных вод в воде реки Тагил превышение ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения отмечается для меди и цинка (в 80 раз), марганца (12 раз), железа (в 8 раз), сульфатов (в 4 раза) (табл. 1).

Таблица 1

Концентрации загрязняющих веществ в водных объектах в районе затопленного Левихинского медноколчеданного рудника (среднегодовые значения по данным опробования за 2016 г., мг/дм³)

Элемент	ПДК [11]	Техногенный водоем	Пруд-осветлитель	Сбросной канал на реке Левиха	Река Тагил ниже сброса	Река Тагил выше сброса
pH	6,5-8,5	3,7	2,9	6,8	7,0	7,4
Cu ²⁺	0,001	22 (22000)	7,93 (7930)	1,05 (1050)	0,08 (80)	0,02 (20)
Zn ²⁺	0,01	270 (27000)	158,4 (15840)	103,29 (10329)	0,86 (86)	0,06 (6)
Fe ³⁺	0,1	1253 (12530)	222,1 (2221)	85,25 (853)	0,83 (8,3)	0,58 (5,8)
Mn ²⁺	0,01	73 (7300)	40 (4000)	29	0,12 (12)	0,07
As	0,007	-	0,0031 (0,44)	0,0012 (0,17)	0,0007 (0,1)	0,0006 (0,09)
SO ₄ ²⁻	100	7600 (76)	3082 (31)	1860 (19)	382 (3,8)	42 (0,42)
Сухой остаток	-	16106	6309	4285	383	254

Примечание. В скобках – кратность превышения ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения.

Заключение

В результате реализации системы сбора и очистки шахтных вод на территории отработанного Левихинского медноколчеданного рудника происходит значительное снижение концентраций загрязняющих веществ в сточных водах: степень очистки шахтных вод для сульфат-иона, железа, цинка, меди превышает 85 – 90 %.

Тем не менее анализ проб поверхностных вод за многолетний период в пределах исследованной территории показал, что состав воды в реке Тагил значительно ухудшается после сброса очищенных шахтных вод по сравнению с составом воды выше по течению. Основные загрязняющие компоненты: медь (выше сброса концентрация 0,02 мг/л, ниже сброса – 0,08 мг/л), цинк (выше сброса - 0,06 мг/л, ниже сброса – 0,86 мг/л), марганец (выше сброса - концентрация 0,07 мг/л, ниже сброса – 0,12 мг/л).

Наиболее существенное превышение нормативов для водоемов рыбохозяйственного значения в воде реки Тагил ниже сброса сточных вод Левихинского рудника отмечается для меди и цинка (в 80 – 86 раз), марганца (в 12 раз), железа (в 8 раз), сульфатов (в 4 раза).

Высокие показатели загрязнения реки Тагил определяются тем, что русло реки Левиха от места сброса очищенных шахтных вод из пруда-отстойника до ее устья достаточно короткое, в нижней части спрямленное в виде канала, соответственно, вода, вытекающая из пруда-отстойника, не успевает полноценно провзаимодействовать с реагентами после дополнительной нейтрализации.

Для повышения степени очистки шахтных вод в пределах Левихинского рудника необходимо дополнить существующую в настоящее время систему обезвреживания конструкциями в виде каскада из нескольких прудов по руслу реки Левиха, которые обеспечат осаждение тяжелых металлов вследствие снижения скорости течения воды и увеличения времени взаимодействия загрязняющих веществ с реагентами.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2017 году». – Екатеринбург: ООО «Издательство УМЦ УПИ», 2018. – 309 с.
2. Рыбникова Л.С. Техногенное воздействие горнодобывающих предприятий Урала на состояние гидросферы / Л.С. Рыбникова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. - 2012.- № 1. - С. 74 – 91.
3. Гидрогеология СССР. Т. XIV. Урал. Уральское территориальное геологическое управление / под ред. В.Ф. Прейса. - М.: Недра, 1972. – 648 с.
4. Рыбникова Л.С. Закономерности формирования качества подземных вод на отработанных медноколчеданных рудниках Левихинского рудного поля (Средний Урал, Россия) / Л.С. Рыбникова, П.А. Рыбников // Геохимия. - 2019.- Т. 64. - № 3. - С. 282 - 299. (Версия L. S. Rybnikova and P. A. Rybnikov. 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. - P. 298 – 313).
5. Рыбникова Л.С. Оценка влияния затопленных медноколчеданных рудников на водные объекты Среднего Урала / Л.С. Рыбникова, П.А. Рыбников, О.В. Тютков // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. - 2014. - № 6. - С. 82 - 86.
6. Рыбникова Л.С. Эколого-экономическая оценка шахтных вод на примере затопленных медноколчеданных рудников Урала / Л.С. Рыбникова, П.А. Рыбников // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2016. - № 1. - С. 52 – 65.
7. Технологическо-экономические аспекты переработки техногенно-минеральных образований горнорудных предприятий / С.В. Корнилов, Н.Ю. Антонинова, П.А. Рыбников, А.Н. Дмитриев // Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований. Уральский рынок лома,

промышленных и коммунальных отходов: Труды Конгресса с международным участием и Конференции молодых ученых, V Форум / Редакционная коллегия: Л.И. Леонтьев, Е.Н. Селиванов, Рецензент: Н.В. Мушников. - 2017. - С. 34 - 38.

8. 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 // Изв. вузов. Горный журнал. - 1997. - № 11 – 12. - С. 211 – 214.

9. Relvas J. Lousal, Portugal: a successful example of rehabilitation of a closed mine in the Iberian Pyrite Belt / J. Relvas, Á. Pinto, J. Matos // SGA News. - 2012. - № 31. –19 p.

10. Carvalho E. Environmental Remediation of Abandoned Mines in Portugal – Balance of 15 Years of Activity and New Perspectives / E. Carvalho, C. Diamantino, R. Pint // Freiberg, Germany Proceedings IMWA - 2016. - P. 554 - 561.

11. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утверждены приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года № 552 (с изменениями на 12 октября 2018 года) [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420389120>