

Геоэкология

DOI: 10.34828/UdSU.2023.88.62.009

УДК 502.36

Т.А. Петрова, А.Д. Епишина

АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА ПУЛЬПОПРОВОДОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Аннотация. Антикоррозионная защита пульпопроводов при транспортировке отходов обогащения является важной задачей как для надлежащего функционирования горнопромышленного предприятия, так и для обеспечения экологической безопасности. На сегодняшний день проблема защиты металла от электрохимической коррозии, особенно в условиях почвенной среды, как одной из самых агрессивных коррозионных сред, требует особого внимания в связи с угрозой возникновения разрушений металлоконструкций с последующим значительным экономическим и экологическим ущербом. Соответственно, цель данного исследования заключается в выявлении высокоэффективного способа антикоррозионной защиты стальных пульпопроводов для безопасной транспортировки отходов обогатительных производств. В данной работе описаны существующие способы антикоррозионной защиты металла, рассмотрена комбинация нескольких протекторных способов: формирование защитной оксидной пленки и использование талькового адгезива.

Ключевые слова: коррозия, антикоррозионная защита, пульпопроводы, металлоконструкции, протектор, барьер, цинк, оксидная пленка.

Для цитирования Петрова Т.А., Епишина А.Д. Антикоррозионная защита пульпопроводов при транспортировке отходов обогащения горнопромышленных производств // Управление техносферой: электрон. журнал, 2023. Т.6. Вып. 2. URL: <https://technosphere-ing.ru> С. 234–248. DOI: 10.34828/UdSU.2023.88.62.009.

Введение

Проблема коррозии металлических конструкций на объектах минерально-сырьевого комплекса (МСК), в том числе на предприятиях горной отрасли промышленности, носит серьёзный характер, так как существующие протекторные мероприятия не обеспечивают высокоэффективной защиты

металла. Это происходит ввиду следующих причин: недолговечность покрытий, низкая эффективность защиты, низкая прочность и биологическая стойкость, а также непригодность выбранного антикоррозионного метода для тех условий, в которых он применяется.

Как известно, транспортировка отходов на горнопромышленных предприятиях, в особенности в отрасли обогатительных производств, происходит с помощью гидротранспортных систем – пульпопроводов [1]. Они могут быть выполнены в различных исполнениях: полимерные, резиноканевые, металлические; последние в большей степени нуждаются в повышенной антикоррозионной защите своей поверхности. Несмотря на то, что с точки зрения возникновения коррозионного разрушения рациональнее применять полимерные пульпопроводы [2, 3], не все предприятия осуществили переход с металлических на данный вид трубопроводов [4]. К тому же, некоторые из них эксплуатируются под землей, например, при подземном складировании хвостов обогатительного производства [5]. С точки зрения возникновения коррозионных процессов почвенная среда наиболее агрессивна, по сравнению с воздушной или водной средой, в связи с тем, что она содержит ряд химических компонентов, являющихся ингибиторами процесса возникновения коррозии, а также микроорганизмов, продукты жизнедеятельности которых активно разрушают поверхность металла. Кроме того, металлические конструкции под землей вступают в реакцию с влагой грунта, содержащей растворенный кислород [6, 7]. Стоит отметить, что в случае складирования отходов и сброса сточных вод в районе залегания трубопроводов, происходит ускорение коррозионных процессов в связи с повышенными концентрациями поллютантов в почве и грунтовых водах [8-10]. В совокупности данные процессы ведут к возникновению электрохимической коррозии, которая приводит к образованию на стальной поверхности язв и питтингов, ведущих к разгерметизации конструкций пульпопроводов. Впоследствии происходит утечка

транспортируемых пульпопроводом продуктов, что приводит к значительному загрязнению компонентов окружающей среды. Соответственно, ввиду агрессивности почвенной среды, необходимо предусмотреть высокоэффективные защитные антикоррозионные мероприятия для пульпопроводов.

Существующие способы защиты металлоконструкций от коррозии

Для обеспечения защиты металла от коррозионного воздействия наиболее распространенным способом является создание барьера, изолирующего металл от агрессивной среды. В качестве такого барьера могут выступать различные металлические и неметаллические покрытия. Также могут применяться методы электрохимической защиты и различные добавки, ингибирующие процесс возникновения коррозии.

Неметаллические покрытия. При защите от атмосферной коррозии применение различных лакокрасочных и полимерных покрытий наиболее эффективно, нежели в условиях почвенной среды, так как в подземных условиях срок службы таких протекторов значительно сокращается, в особенности вследствие постоянного контакта с почвенной влагой и механических повреждений при взаимодействии с грунтом. Полимерные покрытия (битумные, эпоксидные, ленточные) более стойкие в почвенной среде, по сравнению с лакокрасочными, что обуславливает их применение в защите газопроводов и нефтепроводов. Однако стойкость таких покрытий к воздействию почвенных микроорганизмов очень низкая, к тому же под влиянием просадочности грунта ленточные покрытия могут смещаться, образуя зазор, в который проникают коррозионные агенты [11].

Методы электрохимической защиты. Для залегающих под землей трубопроводов кроме полимерных покрытий используют также способы анодной и катодной защиты. Суть данных методов заключается в смещении потенциала защищаемого металла. Защищаемую металлическую конструкцию

подключают либо к положительному полюсу источника тока (анодная), либо к отрицательному (катодная). Анодная защита применяется лишь для тех металлов, которые способны самостоятельно образовывать на своей поверхности защитные пленки в процессе смещения потенциала в положительную сторону, такими являются высоколегированные сплавы. Катодная защита используется для черных металлов, не способных к данной пассивации. В данном случае, при смещении потенциала в отрицательную сторону, возникают катодные реакции восстановления металла, недопускающие, соответственно, его окисление [12, 13].

Данные методы защиты требуют строгого исполнения условий их обеспечения, в ином случае возникает угроза «перезащиты» металла, что также ведет к его разрушению. Кроме того, данные способы нередко применяются в комплексе с изолирующими защитными покрытиями.

Антикоррозионные добавки. Предотвратить возникновение коррозионного разрушения металла можно с помощью специальных ингибиторов коррозии. Они могут быть различного происхождения: органические, неорганические; роль коррозионных ингибиторов могут выполнять также отдельные виды микроорганизмов, особенно в случае борьбы с биологической коррозией. Действие протекторных ингибиторов заключается в формировании на поверхности металла защитных пленок, предотвращающих контакт металла с агрессивной средой, или в снижении негативного воздействия коррозионных агентов при вступлении с ними в химические реакции [14, 15].

Внесение ингибиторов требует регулярного систематического характера, следовательно, требуется постоянный его расход, влекущий значительные экономические затраты ввиду их высокой стоимости. Степень их эффективности до конца не изучена, кроме того некоторые из них могут быть опасны для окружающей среды.

Для предотвращения разрушения металла также могут использоваться легирующие добавки цветных металлов, повышающих его устойчивость, вызывая пассивность металла. Однако данный способ достаточно дорогой, к тому же, процесс коррозии в данном случае все равно происходит, хоть и медленно.

Также для улучшения сцепления защитных покрытий на поверхности, придания повышенной прочности и влагостойкости в качестве адгезива возможно использование талькового порошка. Тальк активно применяется в лакокрасочной промышленности для обеспечения вышеперечисленных свойств, кроме того стоит отметить его экономичный расход: среднее количество талька в лаках и красках составляет около 2-3 %.

Металлические покрытия. С точки зрения защиты стальных конструкций, то есть черных металлов, наиболее эффективным способом является применение цветных металлов в качестве изолирующего покрытия, в связи с тем, что они более устойчивы к коррозии за счет способности к образованию плотных защитных оксидных пленок на своей поверхности [16, 17]. Согласно исследованиям, цинк имеет наиболее низкую стоимость и высокую эффективность защиты, по сравнению с другими цветными металлами, к тому же имеет хорошие прочностные характеристики, непроницаем для кислорода и устойчив к абразивному износу [18-20]. В связи с тем, что экономически неэффективно покрывать поверхности металлоконструкций вторым слоем металла, применяют различные цинковые композиции с содержанием цинка 95-98% для обеспечения высокой эффективности протектора [20]. Цинковые композиции представляют собой смесь полиуретановой основы с высокодисперсным порошком цинка, чем больше процентное содержание цинка, тем эффективнее обеспечение антикоррозионной защиты металла.

Методы коррозионных испытаний

В связи с проведенными теоретическими исследованиями было рассмотрено использование высокодисперсного цинкового порошка (с содержанием цинка не менее 99%) в качестве добавки к полимерному защитному покрытию, а также добавка талькового порошка.

Для проведения коррозионных испытаний были взяты образцы стали марки Сталь 20 (самая распространенная марка в строительстве трубопроводов). Образцы представляют собой металлические прямоугольные пластины размером 50x10x1 мм. Перед нанесением защитных покрытий проводилась предварительная обработка пластин: образцы были очищены и обезжирены с помощью ваты и органического растворителя – ацетона. Затем образцы металлических пластинок взвешивались для последующего определения потери массы металла, обусловленной коррозионными процессами. После взвешивания пластинки, подвешенные на шпагате (нить), покрывались различными антикоррозионными составами. Первый состав представлял собой полимерное покрытие, состоящее из полиуретановой основы и изоцианатного отвердителя. В основе второго состава лежало полимерное покрытие с добавкой в различном соотношении цинкового порошка. Третий состав включал полимерное покрытие с добавкой в различном соотношении цинкового порошка и его смеси с тальком. Нанесение проводилось в соответствии с технической документацией на указанные лакокрасочные материалы.

После окрашивания проводились следующие химические коррозионные испытания: ускоренное испытание на стойкость к питтинговой коррозии в соответствии с ГОСТ 9.912-89 «Единая система защиты от коррозии и старения. Методы ускоренных испытаний на стойкость к питтинговой коррозии»; и испытание на стойкость к статическому воздействию жидкостей согласно ГОСТ 9.403-80 «Единая система защиты от коррозии и старения. Методы испытаний на стойкость к статическому воздействию жидкостей».

Все полученные результаты в процессе проведения коррозионных испытаний в основном сводятся к измерению потери массы образцов. Было выявлено, что стальные образцы, содержащие в составе антикоррозионного покрытия добавку цинкового порошка, а также цинкового порошка с тальком, значительно меньше подвергались коррозионному воздействию.

Стоит отметить, что для определения скорости коррозии металла и полного выявления эффективности состава защитного покрытия в естественных условиях, часть образцов было закопано в почву, на глубину 1 м (распространенная глубина залегания трубопроводов) в Мгинском и Кировском районах Ленинградской области (дерново-подзолистые и болотные почвы данных участков представляют собой наиболее агрессивную среду для возникновения коррозионных процессов, а также наиболее распространенные с точки зрения прокладки трубопроводов, в особенности газопроводов).

По результатам ускоренных лабораторных химических испытаний составы антикоррозионных покрытий, содержащие добавку цинкового порошка с тальком, значительно меньше подвергались коррозионному воздействию. На основании исследования также было определено оптимальное содержание цинкового порошка и талька в полимерном протекторе для обеспечения наименьших коррозионных массовых потерь стальных образцов.

Таким образом, добавка порошка цинка и талька в полиуретановую основу двухкомпонентных протекторов позволяет значительно повысить эффективность антикоррозионной защиты, предотвращая повреждения трубопроводов, тем самым сокращая число аварийных ситуаций и обеспечивая их длительную эксплуатацию и сохранение окружающей природной среды от поступающих поллютантов вследствие разгерметизации трубопроводов из-за коррозионных процессов. Кроме того, данное решение не несет высоких экономических затрат, но при этом обеспечивает надежную эффективность

защиты черных металлов от химической, электрохимической, биологической и атмосферной коррозии.

Результаты и их обсуждение

Согласно проведенным исследованиям, наиболее эффективным способом защиты стальных конструкций является использование цинковой защиты ввиду способности данного металла к пассивации (образование плотной защитной оксидной пленки), что существенно замедляет протекание коррозионных процессов, особенно в условиях агрессивности почвенной среды. Отдельно стоит отметить применение талькового порошка в качестве адгезива для улучшения сцепления покрытия с поверхностью, а также для дополнительного повышения влагостойкости протектора. Ввиду того, что комбинирование нескольких способов защиты может обеспечить надежную антикоррозионную защиту пульпопроводов, а также иных стальных трубопроводов, применяемых на объектах МСК, возможно совместное применение способов изолирования и защиты корродирующего металла путем создания на его поверхности протекторной оксидной пленки с применением адгезива для улучшения сцепления, прочности и влагостойкости покрытия.

Заключение

Антикоррозионная защита металлоконструкций объектов МСК, в том числе пульпопроводов обогатительных производств, является важной задачей для обеспечения бесперебойного и безопасного функционирования промышленных предприятий. Высокоэффективной защитой черного металла, из которого сделано большинство трубопроводов, в том числе пульпопроводов, является использование покрытий из цветного металла, так как они способны формировать на его поверхности плотную защитную оксидную пленку, препятствующую окислению защищаемой стальной конструкции. Разработка

антикоррозионного состава на полимерной основе с использованием цинка и талька может обеспечить необходимую высокоэффективную барьерную защиту пульпопроводов от агрессивного коррозионного воздействия почвенной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В.И. Васильева М.А. Гидротранспорт сгущенных хвостов обогащения железной руды на Качканарском ГОКе по результатам опытно-промышленных испытаний системы гидротранспорта // Записки Горного института. 2018. Т.233. С.471 – 479. DOI:10.31897/PMI.2018.5.471
2. Терехин Е.П., Булгаков И.С., Чертова Е.П. Совершенствование оборудования по пульпоприготовлению, гидротранспорту и складированию хвостов обогащения железистых кварцитов на горнорудных предприятиях КМА // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 6. С. 99 – 105.
3. Лейзерович С. Г. Опытные промышленные испытания подземного складирования отходов обогащения железистых кварцитов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 2. С. 214 – 222.
4. Влияние технических лигносульфонатов на коррозию сварных швов в водоугольной суспензии / В.А. Шелонцев, И.Г. Горичев, А.В. Кузин, Е.А. Елисеева // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. 2019. № 5. С. 89–98. DOI: 10.18698/1812-3368-2019-5-89-98
5. Ельников В.Н., Лейзерович С.Г., Усков А.Х. Результаты первого этапа опытных работ по подземному складированию текущих хвостов обогащения на комбинате «КМАруда» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. № 11. С. 27 – 29.
6. Дашко Р. Э., Романов И. С. Прогнозирование горно-геологических процессов на основе анализа подземного пространства рудника Купол как многокомпонентной системы (Чукотский автономный округ, Анадырский р-н) // Записки Горного института. 2021. Т. 247. С. 20–32. DOI:10.31897/PMI.2021.1.3
7. Еналдиева М.А., Худоян М.В. Влияние состава почвогрунта на погружаемые проволочные анкеры с коническими и поворотными наконечниками // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 3 (27). С. 73–82.

8. Пашкевич М.А., Коротаева А.Э. Оценка эффективности процесса фитоэкстракции при очистке карьерных сточных вод // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 6-1. С. 349–360. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-61-0-349
9. Литвинова Т. Е., Сучков Д. В. Комплексный подход к утилизации техногенных отходов минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. № 6-1. С. 331–348. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-61-0-331.
10. Пашкевич М.А., Харько П.А. Применение композитной смеси для очистки кислых дренажных вод хвостового хозяйства от металлов // Обогащение руд. 2022. № 4. С. 40 – 47. DOI: 10.17580/or.2022.04.07
11. Махова А. С., Золотых А. С. Защита стальных подземных газопроводов от почвенной коррозии // Студенческий научный форум: материалы IX Международной студенческой научной конференции. Пенза.: Изд-во Общество с ограниченной ответственностью «Информационно-технический отдел Академии Естествознания», 2017. С. 1–9.
12. Методы защиты газонефтепроводов от коррозии / С.А. Иваник, А. В. Гаврилик, Г.С. Кан, А.С. Герасина // Наука XXI века: новый подход: материалы XXI молодежной международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 5-6 июня. СПб: Изд-во CreateSpace, 2018. С. 57–61.
13. Современные противокоррозионные методы защиты резервуаров, газо- и нефтепроводов / С.А. Иваник, А. В. Гаврилик, Г.С. Кан, А.С. Герасина // Знание. 2018. № 5-1 (57). С. 29-38.
14. Ингибиторы коррозии (обзор) / Л. С. Козлова, С.В. Сибилева, Д.В. Чесноков, А.Е. Кутырев // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 2. С. 67–75. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-67-75
15. Сравнительный анализ действия ингибиторов последнего поколения и бактериофагов на коррозию металлов, вызываемую *Desulfovibrio desulfuricans* / Карамышева Н. Н. и др. // Инфекция и иммунитет. 2014. № 5. С. 84.
16. Кофанова Н.К. Коррозия и защита металлов: учеб. пособие. Алчевск: Донбасский горно-металлургический институт, 2003. 182 с.
17. Гришина Е. П., Кудрякова Н. О., Раменская Л. М. Характеристика свойств тонких пленок Al_2O_3 , сформированных на конструкционной стали золь-гель методом // Конденсированные среды и межфазные границы. 2020. № 22 (1). С. 39–47. DOI:10.17308/KCMF.2020.22/2527.

18. Рогозин А. А., Кандция Р. Коррозия горных цепей – шлагбаум на пути «суперпрочных» цепей // Уголь. 2021. № 8. С. 48–55. DOI:10.18796/0041-5790- 2021-8-48-55.
19. Степин С. Н., Толстошеева С. И., Светлаков А. П. Протекторные цинконаполненные грунтовок. Влияние компонентов на противокоррозионную эффективность. Часть 1 // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19, № 9. С.122–128.
20. Анализ коррозионных свойств цинксодержащих покрытий на базе дисперсного отхода горячего цинкования / Н.И. Урбанович и др. // Литье и металлургия. 2020. № 4. С. 106 – 112. DOI:10.21122/1683-6065-2020-4-106-112

Поступила в редакцию 30.03.2023

Сведения об авторах

Петрова Татьяна Анатольевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры геоэкологии, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», 199106, Васильевский остров, 21 линия, д.2, г. Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: Petrova_TA@pers.spmi.ru

Епишина Алина Дмитриевна

Аспирант кафедры геоэкологии, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», 199106, Васильевский остров, 21 линия, д.2, г. Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: s225013@stud.spmi.ru

T.A. Petrova, A.D. Epishina

CORROSION PROTECTION OF SLURRY PIPELINES DURING TRANSPORTATION OF MINING WASTE

Annotation. Corrosion protection of slurry pipelines for transportation of tailings is the important task both for appropriate functioning of mining enterprises and for provision of ecological safety. To date, the problem of metal protection from electrochemical corrosion, especially in soil conditions, as one of the most aggressive corrosive environments, requires special attention due to the threat of destruction of metal structures with subsequent significant economic and environmental damage. Accordingly, the purpose of this study is to identify a highly effective method of corrosion protection of steel slurry pipelines for the safe transportation of waste from processing plants. This paper describes existing methods of corrosion protection of metal, considers a combination of several protection methods: formation of a protective oxide film and the use of talc adhesives.

Keywords: corrosion, corrosion protection, slurry pipelines, metal structures, protector, barrier, zinc, oxide film.

For citation: Petrova T.A., Epishina A.D. [Corrosion protection of slurry pipelines during transportation of mining waste]. *Upravlenie tekhnosferoi*, 2023, vol. 6, issue 2. (In Russ.) Available at: [https://technosphere-ing.ru/pp.234–248](https://technosphere-ing.ru/pp.234-248). DOI: 10.34828/UdSU.2023.62.74.010.

REFERENCES

1. Aleksandrov V.I. Vasil'eva M.A. Gidrotransport sgushchennykh khvostov obogashcheniya zheleznoi rudy na Kachkanarskom GOKe po rezul'tatam opytno-promyshlennykh ispytaniy sistemy gidrotransporta [Hydraulic transport of condensed tailings of iron ore enrichment at the Kachkanarsky GOK according to the results of pilot tests of the hydraulic transport system]. *Zapiski Gornogo instituta [Journal of Mining Institute]*. 2018, vol. 233, no., pp. 471 – 479. DOI:10.31897/PMI.2018.5.471 (In Russ).
2. Terekhin E.P., Bulgakov I.S., Chertova E.P. Sovershenstvovanie oborudovaniya po pul'poprigotovleniyu, gidrotransportu i skladirovaniyu khvostov obogashcheniya zhelezistykh kvartsitov na gornorudnykh predpriyatiyakh KMA [Improvement of equipment for pulp preparation, hydraulic transport and storage of tailings of ferruginous quartzite enrichment at KMA mining enterprises]. *Gornyy informacionno-analiticheskiy bjulleten' [MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.]*. 2016, no. 6, pp. 99–105. (In Russ).
3. Leizerovich S. G. Opytno-promyshlennyye ispytaniya podzemnogo skladirovaniya othodov obogashheniya zhelezistykh kvartcitov [Pilot tests of underground storage of ferrous quartzite

- enrichment waste]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'* [MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.]. 2010, no. 2, pp. 214 – 222. (In Russ).
4. Sheloncev V.A., Gorichev I.G., Kuzin A.V., Eliseeva E.A. Vlijanie tehniceskikh lignosul'fonatov na korroziju svarnyh shvov v vodougol'noj suspenzii [Influence of technical lignosulfonates on corrosion of welds in a water-coal suspension]. *Vestnik MGTU im. N.Je. Baumana. Serija Estestvennye nauki* [Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Natural Sciences Series]. 2019, no. 5, pp. 89–98. DOI: 10.18698/1812-3368-2019-5-89-98 (In Russ).
 5. El'nikov V.N., Leizerovich S.G., Uskov A.Kh. Rezul'taty pervogo jetapa opytnyh rabot po podzemnomu skladirovaniju tekushhix hvostov obogashhenija na kombinata «KMAruda» [Results of the first stage of experimental work on underground storage of current tailings of enrichment at the KMAruda plant]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'* [MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.]. 2000, no. 11, pp. 27 – 29. (In Russ).
 6. Dashko R. E., Romanov I. S. Prognozirovanie gorno-geologicheskikh protsessov na osnove analiza podzemnogo prostranstva rudnika Kupol kak mnogokomponentnoi sistemy (Chukotskii avtonomnyi okrug, Anadyrskii r-n) [Forecasting of mining and geological processes based on the analysis of the underground space of the Kupol mine as a multicomponent system (Chukotka Autonomous Okrug, Anadyrsky district)]. *Zapiski Gornogo instituta* [Notes of the Mining Institute]. 2021, vol. 247, pp. 20 – 32. DOI:10.31897/PMI.2021.1.3 (In Russ).
 7. Enaldieva M.A., Khudoyan M.V. Vlijanie sostava pochvogrunta na pogruzhaemye provolochnye ankery s konicheskimi i povorotnymi nakonechnikami [Influence of soil composition on submerged wire anchors with conical and rotary tips]. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii* [Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems]. 2017, no. 3 (27), pp. 73–82. (In Russ).
 8. Pashkevich M.A., Korotaeva A.E. Ocenka jeffektivnosti processa fitoekstrakcii pri ochildke kar'ernyj stochnyh vod [Evaluation of the efficiency of the phytoextraction process in the treatment of quarry wastewater]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'* [MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.]. 2022, no. 6-1, pp. 349 – 360. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_349 (In Russ).
 9. Litvinova T. E., Suchkov D. V. Kompleksnyj podhod k utilizacii tehnogennyh othodov mineral'no-syr'evogo kompleksa [An integrated approach to the disposal of man-made waste of the mineral resource complex]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'* [MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.]. 2022, no. 6-1, pp. 331 – 348. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_331. (In Russ).

10. Pashkevich M.A., Khar'ko P.A. Primenenie kompozitnoj smesi dlja ochistki kislyh drenaznykh vod hvostovogo hozjajstva ot metallov [Application of composite mixture for purification of acidic drainage waters of tailings from metals]. *Obogashhenie rud [Ore dressing]*. 2022, no. 4, pp. 40 – 47. DOI: 10.17580/or.2022.04.07 (In Russ).
11. Makhova A. S., Zolotyx A. S. Zashchita stal'nykh podzemnykh gazoprovodov ot pochvennoi korrozii [Protection of steel underground gas pipelines from soil corrosion]. *Studencheskii nauchnyi forum: materialy IX Mezhdunarodnoi studencheskoi nauchnoi konferentsii [Student Scientific Forum": materials of the IX International Student Scientific Conference]*. Penza.: Publ. Limited Liability Company "Information and Technical Department of the Academy of Natural Sciences", 2017. pp. 1–9. (In Russ).
12. Ivanik S.A., Gavrilik A.V., Kan G.S., Gerasina A.S. Metody zashhity gazonefteprovodov ot korrozii [Methods of protecting gas and oil pipelines from corrosion]. *Nauka XXI veka: novyi podkhod: materialy XXI molodezhnoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh 5-6 iyunya ["Science of the XXI century: a new approach": materials of the XXI Youth International Scientific and Practical conference of students, postgraduates and young scientists on June 5-6]*. St. Petersburg: CreateSpace Publ., 2018, pp. 57 – 61. (In Russ).
13. Ivanik S.A., Gavrilik A.V., Kan G. S., Gerasina A.S. Sovremennye protivokorroziionnye metody zashhity rezervuarov, gazo- i nefteprovodov [Modern anticorrosive methods of protection of tanks, gas and oil pipelines]. *Znanie [Knowledge]*. 2018, no. 5-1 (57), pp. 29 – 38. (In Russ).
14. Kozlova L. S., Sibileva S. V., Chesnokov D. V., Kutyrev A. E. Inhibitory korrozii (obzor) [Corrosion inhibitors (overview)]. *Aviacionnye materialy i tehnologii [Aviation materials and technologies]*. 2015, no. 2, pp. 67–75. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-67-75 (In Russ).
15. Karamysheva N. N., Vasil'ev D. A., Morozov A. V., Ignatov A. L., L'vov S. K. Sravnitel'nyj analiz dejstvija ingibitorov poslednego pokolenija i bakteriofagov na korroziju metallov, vyzyvaemuju *Desulfovibrio desulfuricans* [Comparative analysis of the effect of the latest generation of inhibitors and bacteriophages on metal corrosion caused by *Desulfovibrio desulfuricans*]. *Infekcija i immunitet [Infection and immunity]*. 2014, no. S, pp. 84. (In Russ).
16. Kofanova N.K. Korrozija i zashhita metallov: ucheb. Posobie [educational methodical manual]; *Donbasskij gorno-metallurgicheskij institut [Donbass Mining and Metallurgical Institute]*. Alchevsk, 2003, p.182 (In Russ).
17. Grishina E. P., Kudrjakova N. O., Ramenskaja L. M. Harakteristika svojstv tonkih plenok Al₂O₃, sformirovannyh na konstrukcionnoj stali zol'-gel' metodom [Characteristics of the properties of

- thin Al₂O₃ films formed on structural steel by sol-gel method]. *Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granicy* [Condensed media and interphase boundaries]. 2020, no. 22 (1), pp. 39–47. DOI:10.17308/KCMF.2020.22/2527. (In Russ).
18. Rogozin A. A., Kandtsiya R. Rogozin A. A., Kandcija R. Korrozija gornyh cepej – shlagbaum na puti «superprochnyh» cepej [Corrosion of mountain chains – a barrier in the way of "super-strong" chains]. *Ugol'* [Coal]. 2021, no. 8. S. 48 – 55. DOI:10.18796/0041-5790-2021-8-48-55. (In Russ).
19. Stepin S. N., Tolstosheeva S. I., Svetlakov A. P. Stepin S. N., Tolstosheeva S. I., Svetlakov A.P. Protektornye cinkonapolnennnye gruntovki. Vlijanie komponentov na protivokorroziionnuju jeffektivnost'. Chast' 1 [Protective zinc-filled primers. The effect of components on anticorrosive efficiency. Part 1]. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University]. 2016, vol. 19, no. 9, pp.122 – 128. (In Russ).
20. Urbanovich N.I., Baranovskij K.Je., Rozenberg E.V., Bendik T.I., Karpenkin A.A. Analiz korroziionnyh svojstv cinksoderzhashhih pokrytij na baze dispersnogo othoda gorjachego cinkovanija [Analysis of corrosion properties of zinc-containing coatings based on dispersed waste of hot-dip galvanizing]. *Lit'e i metallurgija* [Casting and metallurgy]. 2020, no. 4, pp. 106-112. DOI: 10.34828/UdSU.2023.88.62.009 (In Russ).

Received 30.03.2023

About the Authors

Petrova Tatyana Anatolievna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geoecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg Mining University», 199106, Vasilievsky Island, 21 line, 2, St. Petersburg, Russia.

E-mail: Petrova_TA@pers.spmi.ru

Epishina Alina Dmitrievna

Postgraduate student of the Department of Geoecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg Mining University», 199106, Vasilievsky Island, 21 line, 2, St. Petersburg, Russia.

E-mail: s225013@stud.spmi.ru