Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования

Санкт-Петербургский государственный университет

Институт Наук о Земле

Кафедра геоэкологии и природопользования

Мутелемби Джон

**Выпускная квалификационная работ:**

**«Анализ воздействия и загрязнения горнорудной промышленности на окружающую среду: на примере сравнение загрязнения окружающей среды в провинции Коппербельт (Замбия) с регионом Катанга (ДРК)»**

Основная образовательная программа магистратуры

Направление 05.04.06 Основная образовательная программа ВМ.5797 «Геоэкологический мониторинг и рациональное природопользование, и Экологическая безопасность»

Профиль «Геоэкологический мониторинг»

Научный руководитель:

д.ф-м.н., профессор

Белозерский Геннадий Николаевич

Санкт-Петербург

2022

Оглавление

[**Введение** 0](#_Toc92733931)

[1 Физико-географическая характеристика Провинции Катанга (ДРК) и Провинции Коппербелта (Замбия) 0](#_Toc92733932)

[1.1 Провинция Коппербелт 0](#_Toc92733933)

[1.2 Провинции Катанга (ДРК) 2](#_Toc92733934)

[1.3 Геологическое строение 4](#_Toc92733935)

[1.4 Рельеф медный пояса 8](#_Toc92733936)

[1.5 Климат 9](#_Toc92733937)

[1.6 Гидрография 10](#_Toc92733938)

[1.6.2 Гидрография Провинция Коппербельта 10](#_Toc92733939)

[1.6.2 Гидрография Провинция Катанга 12](#_Toc92733940)

[1.7 Почвы 16](#_Toc92733941)

[1.8 Растительность медный пояса 17](#_Toc92733942)

[**2 История горнорудной промышленности в Коппербельте (Замбия) и в Катанге (ДРК)** 20](#_Toc92733943)

[2.1 История горнорудной промышленности в Коппербельте (Замбия) 20](#_Toc92733944)

[**2.1.1 История добычи полезных ископаемых компанией в Провинции Коппербельте за последнее десятилетие.** 25](#_Toc92733945)

[**2.1.1 Экологические проблемы, возникающие в результате горнодобывающей деятельности** 28](#_Toc92733946)

[**2.2 История горнорудная промышленность в регионе Катанге (ДРК)** 33](#_Toc92733947)

[**2.2.1 История добычи полезных ископаемых компанией в регионе Катанге (ДРК) за последнее десятилетие.** 37](#_Toc92733948)

[**2.2.2 Экологические проблемы, возникающие в результате горнодобывающей деятельности** 41](#_Toc92733949)

[**3. Анализ загрязнений объектов окружающей среды в Коппербелте (Замбия) и Катанга (ДРК)** 45](#_Toc92733950)

[3.1 Анализ загрязнений объектов окружающей среды в Коппербелте (Замбия) 45](#_Toc92733951)

[3.2 Анализ загрязнений объектов окружающей среды в Катанге. 76](#_Toc92733954)

[4 Заключение 101](#_Toc92733955)

[5 СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ 106](#_Toc92733956)

# Таблицы

[Таблица 1 Основные параметры, характеризующие: запасы руды в Замбии и работу, некоторых горнодобывающих предприятий в провинции Коппербелт: Емкость по добыче медных руд в год и запасы, среднее производство меди в год и доля добытого его из руды . 27](#_Toc103505105)

[Таблица 2 Суммарное производство: меди, кобальт и угля, т в год в 2011— 2019 годах (Zeiti-Report-2013-2018; The Mineral Industry Of Zambia, 2016; KPMG International) 32](#_Toc103505106)

[Таблица 3 Тип шахты практикуется некоторыми горнодобывающими предприятиями в провинции Коппербельт и их емкость по добыче медных руд, в 2015г. (The Mineral Industry Of Zambia, 2015). 36](#_Toc103505107)

[Таблица 4 Основные параметры, характеризующие работу, некоторых горнодобывающих предприятий в провинции Катанге: Емкость по добыче медных руд в год и запасы, среднее производство меди в год, и доля добытого его из руды в 2015г 45](#_Toc103505108)

[Таблица 5 Тип шахты практикуется некоторыми горнодобывающими предприятиями в провинции Катанга и их емкость по добыче медных руд в 2015 году. [(Minerals Yearbook, 2012)] 53](#_Toc103505109)

[Таблица 6. Основные параметры, характеризующие: запасы руды в ДРК и работу, некоторых горнодобывающих предприятий в провинции Коппербельт: паспортная мощность добычи руды в год, среднее производство меди и кобальта в год и доля добытого металла из руды: меди, кобальт и цинка т в год (USGS) 54](#_Toc103505110)

[**Таблица** 7 Речные отложения: сравнение с канадским руководством по отложениям. Руководство по качеству пресноводных отложений в Канаде (Norrgren et al, 2002). 62](#_Toc103505111)

[Таблица 8 Нормативные лимиты/ПДК сточных вод Замбии (EPPC Act, 1990) 64](#_Toc103505112)

[**Т**аблица 9 Показывает для некоторых горнодобывающих отраслей в 2011-2013 65](#_Toc103505113)

[Таблица 10. Концентрация тяжелых металлов (Cu, Co, Mn и Fe) и TDS из пяти ручьев на Замбийском медном поясе ( Mudenda L., 2018) 70](#_Toc103505114)

[Таблица 12 Концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе по сравнение с ПДК, данные о концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за рассматриваемый период в течение 4 лет. Цифры представляют собой средние месячные показатели. 74](#_Toc103505115)

[Tаблица 13 Рекомендуемые значения разных загрязняющих вешеств для ограничения загрязнения атмосферного воздуха 75](#_Toc103505116)

[Tаблица 14 долгосрочных предельных значений выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в разбивке по видам промышленности/процессам 76](#_Toc103505117)

[Taблица 15 Среднесуточные концентрации SO2 (мг/л) на станциях мониторинга в городе Муфулира 78](#_Toc103505118)

[Taблица 16 Показывает значительное поглощение загрязнения почвой в провинции Коппербельт.. 80](#_Toc103505119)

[Taблица 17 Средняя концентрация общего количества металлов (Царская водка, медиана T) и средняя концентрация доступных металлов (медиана G) в районе плавильного завода Нкана, а также количество доступных металлов в почве, выраженное в процентах от общей концентрации металлов в почве (R %). 83](#_Toc103505120)

[Таблица 18 Средняя концентрация общего количества металлов (Царская водка, медиана T) и средняя концентрация доступных металлов (медиана G) в Районах добычи Чингола, а также количество доступных металлов в почве, выраженное в процентах от общей концентрации металлов в почве (R %). 83](#_Toc103505121)

[Таблица 19 Средние, минимальные и максимальные значения параметров (pH, Sобщ., Fe…) В горизонте почвы А -от 10-20 см в районе Копербелта. 86](#_Toc103505122)

[Taблица 20 Средние, минимальные и максимальные значения в почвенном горизонте B района Копербелта (Kříbek et al., 2014) 86](#_Toc103505123)

[Taблица 22 Расположение и свойства изученных почв в Муфулире. 90](#_Toc103505124)

[Taблица 23 Концентрации (мг/кг) металлов в немытых и тщательно промытых листьях маниоки 94](#_Toc103505125)

[Taблица 24 Максимальная разных вешеств концентрация загрязняющих веществ в воде (добыча полезных ископаемых в мг/л) 100](#_Toc103505126)

[Taблица 25 Критерии Качества Поверхностной Пресной Воды ИРМЫ 101](#_Toc103505127)

[Taблица 26 Результаты определения металлов в пробах воды 104](#_Toc103505128)

[Taблица 28 Пороговые значения загрязнения воздуха 108](#_Toc103505129)

[Taблица 29 Концентрация водорастворимых соединений тяжелые металлы 113](#_Toc103505130)

[Taблица 30 Результаты Фракционирование кобальта и меди в почвах из медянки Верхней Катанги 113](#_Toc103505131)

[Taблица 31 Концентрации Co в почвах и отложениях, затронутых горнодобывающей промышленностью, в лауалабе и Катанге 115](#_Toc103505132)

[Taблица 32 Содержание металлов (мг/кг сухой вес) в почвах и поверхностных отложениях реки Лубумбаши и канала Тшамилемба 117](#_Toc103505133)

[Taблица 33 Значения EF и Igeo для отдельных металлов в пробах осадков/почвы, собранных в провинции Катанга, ДРК. 120](#_Toc103505134)

[Taблица 34 Концентрация металлов в моче (мг/г креатинина) у 351 жителя 11 различных районов Катанги, сгруппированных в зависимости от близости к добыче или переработке металлов. 125](#_Toc103505135)

# Рисунок

[**Рис.** 1 Карта расположение Замбия (желтый) и Демократическая Республика Конго (красный) (Wikipedia) 4](#_Toc103505085)

[Рис 2 Карта показывает место расположение Замбия в Африке, и расположение провинция Коппербелт Замбии (Wikipedia) 5](#_Toc103505086)

[Рис 3. Карта провинции Коппербельт с указанием ее районов (Wikipedia).Ндола (сетлый синний), Калулуши (оранживый), Чилилабомбве (розовый), Муфулира (зеленый) , Чингола (светлый жетый), Китве (Синий) и Луаншья (фиолетовый 5](#_Toc103505087)

[Рис. 4 Карта расположение провинции катанга в ДРК (De Putter T. et al, 2011) **П**ровинция Хаут-Катанга и Луалаба Южный (Лубумбаши), Центральный (Ликаси) и Западный (Колвези). Легенда (главный город провинции, районный центр, Сити, город, Аэропорт, озера/реки, железнодорожный путь, дорога) 7](#_Toc103505088)

[Рис 5. Центрально-Африканский Медный пояс. неопротерозойской Подгруппа мвашья, Нгуба и Куделунгу; Роан и другие тектонические мегабрессий, Катанга подземный (Dewaele S. et al., 2006). 10](#_Toc103505089)

[Рис 6. Центрально-Африканский Медный пояс. Геологическая карта Катангской супергруппы с расположеним рудников (Chidumayo E. N., Gumbo D. J, 2010 ). Нгуба и Куделунгу породы. 11](#_Toc103505090)

[Рис 7. Река Кафуэ (красная) и часть реки Замбези (синяя) ( 17](#_Toc103505091)

[Рис 8 Гидрологическая карта, показывающая верхние части реки Кафуэ и другие главные реки в Провинции Коппербельте 18](#_Toc103505092)

[Рис 9 Карта показывающий Водосбор реки Кафулафута с рекой Кафубу 19](#_Toc103505093)

[Рис 10 Гидрология ДРК 22](#_Toc103505094)

[Рис 11 Центральные Замбезианские леса Миомбо в провинции Коппербельт Замбии (ZCCM 1989). 25](#_Toc103505095)

[Рис 12 Открытый лес Миомбо (Brachystegia boehmii)ДРК 26](#_Toc103505096)

[Рис 13 показаны уровни производства меди в Замбии по сравнению с мировыми уровнями 2001— 11 годов 35](#_Toc103505097)

[Рис 14 Запасы полезных ископаемых в ДРК 49](#_Toc103505098)

[Рис 15 Уровень производства меди в ДРК, 2001— 2012 50](#_Toc103505099)

[Рис 16 Уровень производства кобальта в ДРК по сравнением с мировой, 2001-2012 г 50](#_Toc103505100)

[Рис 17 а) Сточные воды, поступающие в поток Мутимпа; б) Сточные воды, поступающие в поток Мушимба 2014г 61](#_Toc103505101)

[Рис. 18 Графика показывает шахты, сбрасывающие сточные воды с значительным содержанием общего количества растворенных твердых веществ (TDS), которые превышают максимально допустимый предел 67](#_Toc103505102)

[Рис 19 показаны шахты, сбрасывающие сточные воды с значительным содержанием сульфатов(so4) в 2009 по 2011 68](#_Toc103505103)

[Рис 20 В некоторых поселках Муфулира могут расти только устойчивые к загрязнению воздуха растения 95](#_Toc103505104)

**Введение**

**Актуальность темы исследования**. Центрально-Африканский медный пояс (ЦАМП) является одним из самых важных медных регионов мира. Крупнейшее в мире скопление пластовых отложений меди, размещенных в отложениях, с 19 гигантскими месторождениями в Центрально-Африканском медном поясе в Демократической Республике Конго и Замбии. Большая часть меди, добываемой в Африке, поступает из этого региона, определяемого неопротерозойским осадочным бассейном Катанга на юге Демократической Республики Конго (ДРК) и на севере Замбии. Медь в (ЦАМП) добывается из отложений пластовых медных месторождений, связанных с красными пластами, и включает гигантские месторождения в районах Колвези и Тенге-Фунгуруме в ДРК, а также в районах Конкола-Мусоши и Нчанга-Чингола в Замбии. В последние годы отложения структурно контролируемых замещающих и жильных месторождений меди (SCRV), таких как гигантское месторождение Кансанши в Замбии, стали важными объектами разведки в регионе (ЦАМП).

В ценральной Африке находится очень богатая полезными ископаемыми горнорудная провинция Коппербелт (Замбия) (copperbelt province, Republic of Zambia) и Катанги, (Демократической Республики Конго). Коппербельт-это северо-западная зона длиной 150 км и шириной 50 км, простирающаяся от рудника Луаншья на юге до рудника Конкола близ города Чилилабомбве на севере. Вместе с коппербельтом Демократической Республики Конго (ДРК), расположенным через границу непосредственно к северу, Замбийский коппербельт представляет собой один из крупнейших горнодобывающих регионов мира, характеризующийся размерами и качеством залежей меди и кобальта.

Медный пояс природный регион в Центральной Африке, расположенный на севере Замбии и южной части Демократической Республики Конго. Протягивается на 450 км по водоразделу рек Конго и Замбези при ширине 45-75 км. Известен как район добычи медной руды, кобальта и малахита. Включает в себя провинцию Коппербелт Замбии (районы около городов Ндола, Китве, Чингола, Луаншья и Муфулира) и провинцию Верхняя Катанга (районы около городов Лубумбаши, Колвези и Ликаси).

В этом регионе с 1900 добывают медь, кобальт и цинк, золото и серебро, редкие металлы, олово и вольфрам. Общие запасы более чем 100 месторождений превышают 110 млн. тонн меди в рудах, содержащих 1–10 % меди и 0,3 % кобальта. Разработка преимущественно подземным способом. Таким образом, загрязнение этой области тяжелыми металлами происходило и происходит на протяжение многих лет.

Производство меди, кобальт и других тяжелых металлов - одна из главных движущих сил в экономике этих стран.Горная промышленность обеспечивает республик а Конга более 13% внутреннего валового продукта (ВВП) и до 90% экспортной выручки. ВВП на душу населения, по данным МВФ, в 2017 году — около 790 долл. (185-е место в мире). В Замбии Горная Промышленность дает 31 % внутреннего валового продукта.

Общий объем мирового производства меди из рудников в 2019 году составил около 21 млн. Катангский медный пояс является частью месторождения меди и кобальта мирового класса, простирающегося над юго-восточной частью Демократической республики Конго и Замбии. На долю Коппербелта приходится> 5% мировых запасов меди и до 55% запасов кобальта (Mwaanga, P et al, 2002).

С 2012 года ДРК является первой как африканский производитель Cu, годовой объем производства которого оценивается в 900 тыс. Мт, 20% мирового объема. Он также крупнейший в мире производитель кобальта, на долю которого приходится примерно 60 процентов мирового производства. Страна уже некоторое время является крупнейшим производителем этого металла, хотя его производство сократилось со 104 000 мт в 2018 году до 100 тыс. тонн в 2019. Замбии на втором месте в африке по медного производство которого оценивается около 800 000 Мт. и занимает 7 место мире. Коппербелт занимает территорию по другую сторону границы между ДР Конго и Замбией и является местом интенсивной добычи меди и кобальта.

Большинство горнодобывающих и перерабатывающих предприятий и территории Коппербелта (около 92%) расположены в городах Китве, который является одним из крупнейших городов по численности населения, 866, 646 человек, Чингола с численность населения 177 445 человек, и Муфулира 152 664 человека. Другими важными городами являются Чилилабомбве (84 866), Калалуши и Чамбиши. Горные работы (карьеры и подземные шахты) расположены в непосредственной близости от городов. Металлургические заводы расположены в Муфулире, Китве (металлургический комбинат Нкана) и в Чамбиши (Kříbek et al., 2014).

Провинция Катанга расположена на юго-востоке Демократической Республики Конго. Его южная часть - так называемый катангский медный пояс состоит из нескольких медных холмов от Лубумбаши на юго-востоке до Колвези на северо-западе, имеющих дугообразную форму. Он охватывает площадь, в 300 км в длину и 50 км в ширину. В административном отношении он разделен на три основных района: Южный (Лубумбаши), Центральный (Ликаси) и Западный (Колвези) районы (Malaisse, F., 1997) .

Операции по добыче полезных ископаемых, как правило, нарушают окружающую среду, используя природные ресурсы, такие как вода, и производя огромное количество отходов, которые могут оказать пагубное воздействие на водную экосистему и всю окружающую среду вблизи районов добычи полезных ископаемых. Основная экологическая проблема, оставшаяся от горных работ в прошлом, является серьезном загрязнением почв в результате плавки, а также выноса пустых пород с отвалов. (Kříbek et al., 2014). На территории провинции Коппербелт имеется по меньшей мере 21 отвал пустой породы площадью более 388 га, 9 отвалов шлака площадью 279 га и, наконец, более 45 хвостохранилищ площадью около 9125 га (ECZ, 2008).

Добыча полезных ископаемых привели к загрязнению воздуха, воды и земли. Загрязнение воды является наиболее распространенной проблемой, связанной с отходами шахт и опасными материалами, используемыми или образующимися в результате горнодобывающей деятельности (Auditors Generals Reports, 2014).

Основными экологическими проблемами на Коппербельте являются плохая городская санитария, незапланированное городское развитие и вредные сорняки, возникающие в результате эвтрофикации водных путей сточными водами. Однако основные экологические проблемы, связанные с добычей полезных ископаемых в Коппербельте является загрязнение воздуха, загрязнение почвы и Загрязнение воды. Основной экологической проблемой, связанной с исторической добычей полезных ископаемых, является серьезное загрязнение почвы в результате плавки и выбросов пыли из отвалов.

Ключевые экологические проблемы в ДРК и особенно в провинции Катанга включают: деградацию земель, главным образом эрозию почв, которая влияет на сельскохозяйственную и продовольственную безопасность; обезлесение, утрату биоразнообразия, загрязнение воды из— за отсутствия санитарии и очистки сточных вод из некоторых шахт, а также загрязнение воздуха.

Воздействие от добычи полезных ископаемых является результатом горных работ, проводимых как в прошлом, так и в настоящем.В этом исследовании анализируется воздействие горнодобывающей деятельности на окружающую среду в двух регионах.

**Цель исследования:** Сравнительный анализ загрязнений двух регионов (горнорудной промышленностю) в Замбии и ДРК

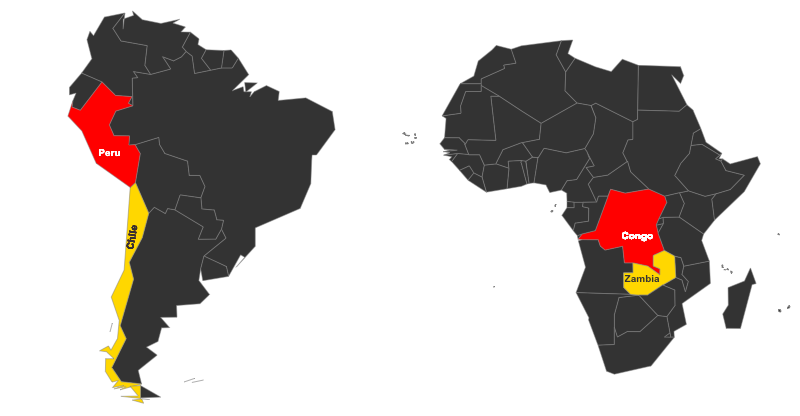
**Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:**

1. Проанализировать научную литературу по теме исследования
2. Проанализировать масштабы загрязнения горнорудной промышленностью окружающей среды в провинциях Коппербельт (Замбия) и Катанга (ДРК) и последствия такого воздействия.
3. Сравнить воздействия и загрязнения горнорудной промышленности на окружающую среду в провинции Коппербельт (Замбия) с регионом Катанга (ДРК).

# Физико-географическая характеристика Провинции Катанга (ДРК) и Провинции Коппербелта (Замбия)

Замбия расположена в центре южной Африки (15 ° S, 30 ° E), не имеет выхода к морю. Площадь составляет 7.5 тыс. км². Замбия граничит с ДРК (на севере), Танзанией (на северо-востоке), Малави (на востоке), Мозамбиком (на юго-востоке), Зимбабве (на юге), Намибией (на юго-западе) и Анголой (на западе).

Демократическая Республика Конго, бывший Заир — расположена в центральной Африке (3 ° S, 24 ° E), граничащее с Республикой Конго, Центральноафриканской Республикой, Южным Суданом, Угандой, Руандой, Бурунди, Танзанией, Замбией, Анголой, в том числе с ангольским анклавом Кабинда. Демократическая Республика Конго была бывшей колонией Бельгии. Она занимает площадь 2.34 млн км².



**Рис.** 1 Карта расположение Замбия (желтый) и Демократическая Республика Конго (красный) (Wikipedia)

## Провинция Коппербелт

Првинция Коппербельта в Замбии расположена на северо-западе страны и лежит между широтой 12°15'-13°15 и долготой 27°45'-28°45' е. район представляет собой пологую пенеплейну высотой от 1.1 тыс до 1.37 тыс. м над уровнем моря. Првинция Коппербелта одна из 10 провинций Замбии, граничащей с Провинция Катанга в Демократической Республикой Конго (на севере и северо-востоке), а также с Центральной провинцией Замбии (на юге) и Северо-Западной провинцией (на западе). Площадь провинции составляет ~31 тысяч км² (Wikipedia). Главные города провинции: Китве-Нкана, Ндола, Муфулира, Луаншья и Чингола (Рис.2) (Wikipedia).

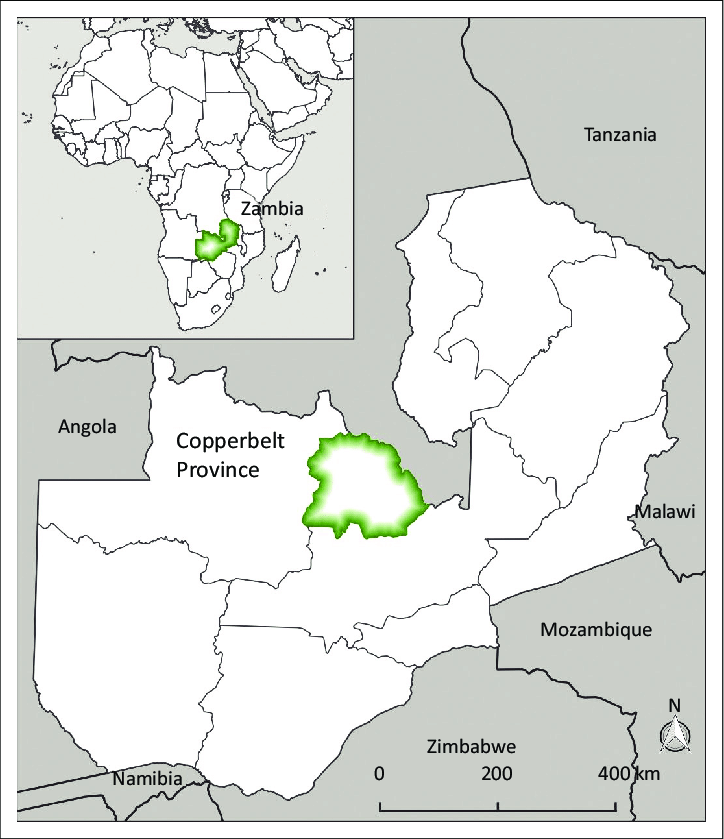


Рис 2 Карта показывает место расположение Замбия в Африке, и расположение провинция Коппербелт Замбии (Wikipedia)

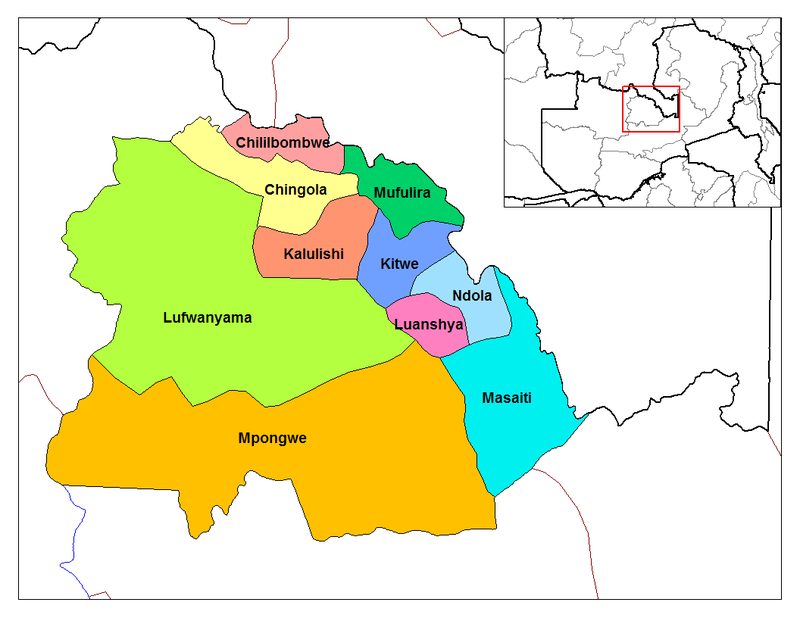


Рис 3. Карта провинции Коппербельт с указанием ее районов (Wikipedia).Ндола (сетлый синний), Калулуши (оранживый), Чилилабомбве (розовый), Муфулира (зеленый) , Чингола (светлый жетый), Китве (Синий) и Луаншья (фиолетовый

Промышленный район Коппербельт расположен на водоразделе рек Конго и Замбези недалеко от границы с Конго и содержит залежи полезных ископаемых: Медь, кобальт, изумруд. Медь добывается в Ндоле, а также в Чамбиши, Калулуши, Чилилабомбве, Муфулире, Чинголе, Китве и Луаншье, которые связаны между собой автомобильным, железнодорожным и воздушным транспортом (Britannica).

## Провинции Катанга (ДРК)

Провинция Катанга расположена на юго-востоке Демократической Республики Конго. Его южная часть, так называемая Катанга Коппербельт, образована рядом медных холмов от Лубумбаши на юго-востоке до Колвези на северо-западе, образующих дугообразную форму. Он протягивается на расстоянии 300 км в длину и 50 км в ширину (Cailteux J. L. H. et al. 2005), административно разделен на три основных района, следующих за подразделением Гекаминов: Южный (Лубумбаши), Центральный (Ликаси) и Западный (Колвези) (Рис.3). Административным центром является город Лубумбаши (Cailteux J. L. H. et al. 2005). Площадь Катанги составляет 497 тыс. км2 (Cailteux J. L. H. et al. 2005).

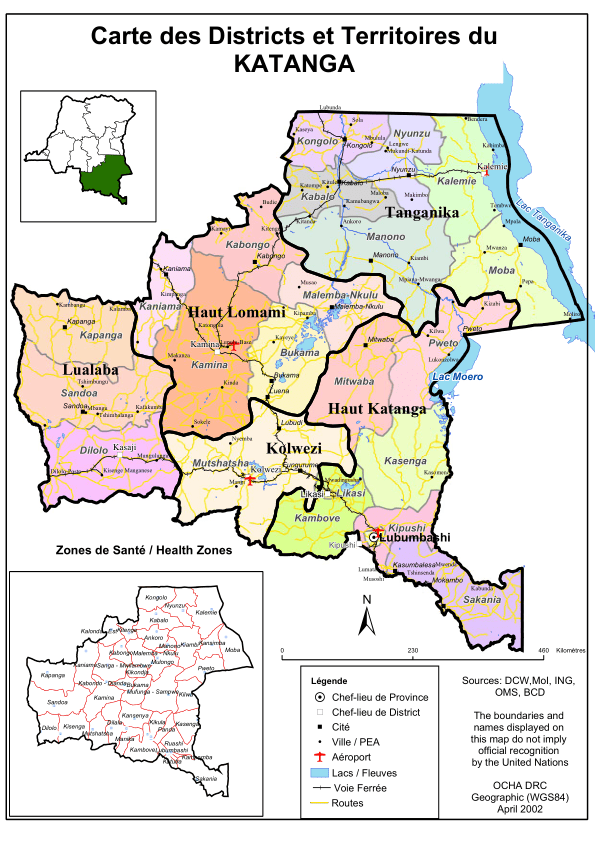


Рис. 4 Карта расположение провинции катанга в ДРК (De Putter T. et al, 2011) **П**ровинция Хаут-Катанга и Луалаба Южный (Лубумбаши), Центральный (Ликаси) и Западный (Колвези). Легенда (главный город провинции, районный центр, Сити, город, Аэропорт, озера/реки, железнодорожный путь, дорога)

## Геологическое строение

Южная Катанга (ДРК) и Замбийская коппербелта, так называемый медный пояс, расположены на юго-востоке Демократической Республики Конго (Южная Катанга (ДРК)) и в провинции Коппербельт (Замбия). Традиционно термин медный пояс (Copperbelt на английском) — природный регион в Центральной Африке, расположенный на севере Замбии и южной части Демократической Республики Конго (Wikipedia). Протягивается на 450 км по водоразделу рек Конго и Замбези при ширине 45-75 км, он известен как район добычи медной руды, кобальта и малахита (Wikipedia), включает горнодобывающие районы замбийской Провинция Коппербелт (в частности, города Ндола, Китве, Чингола, Луаншья и Муфулира) и конголезские провинции Хаут-Катанга и Луалаба (в частности, Лубумбаши, Колвези и Ликаси).

Осадочное и тектоническое развитие Неопротерозойско-Нижнепалеозойского Катангского бассейна связано с отделением конголезского Кратона от Родинского суперконтинента с последующим включением кратона в состав Гондванского суперконтинента (Zientek M. L. et al. 2010; (Chidumayo E. N., Gumbo D. J, 2010; Mine info). Область Коппербельта Замбии и Конго является частью Луфилианской дугы, которая образовалась при столкновении двух частей материковой коры, кратона Калахари и Кратона Конго (Wikipedia). По (Cailteux et al., 2005b), эта тектоническая структура ориентирована на север, восток-запад и ~700 км в длину и более 150 км в ширину). Большинство месторождений Cu-Co в медном поясе расположено в группе Роан, которая представляет собой самые древние известные породы (< 880-750 млн лет) Катангской супергруппы (Zientek M. L. et al. 2010; (Chidumayo E. N., Gumbo D. J, 2010; Mine info).

Люфилианская Дуга Центрально-Африканского медного пояса представляет собой выпуклый на север Панафриканский орогенный пояс, состоящий из Неопротернозойских метаседиментарных пород катангской супергруппы (Chidumayo E. N., Gumbo D. J, 2010;Zientek M. L. et al. 2010; Mine info). Эта последняя обычно подразделяется на три литостратиграфические группы: базальная Чалая, средняя Нгуба (бывшая Нижняя Кунделунгу) и верхняя Кунделунгу (бывшая Верхняя Кунделунгу). Группа Чалых в блоке с состоит из базальной сликикластической единицы (подгруппа Миндолы), а средняя карбонатно-кремнистая единица (подгруппа Китве) и самая верхняя

карбонатная единица (подгруппа Кирилаломбве). Эти единицы соответствуют подгруппе R. A. T. ("Roches Argilo-Talqueuses"), Mines и Dipeta соответственно в д. р. Конго. Подгруппа Мвашья рассматривается как вершина группы Чалых (Chidumayo E. N., Gumbo D. J, 2010; Zientek M. L. et al. 2010; Mine info). Подгруппа Рудников (R2) имеет в своей основе формацию Камото (R2.1), литология которой включает строматолитовые Доломиты (R. S. C.), кремнистые/аренитные Доломиты (R. S. F./D. Strat.), серые глинистые Доломитовые алевролиты в основании (серый Р. А. Т.) и псевдоморфы после испарения при контакте с Р. А. Т (R.A.T (Roches Argileuses Talqueuses-R1) (Zientek M. L. et al. 2010; Mine info).

Минерализация в пределах Центрально-Африканской медной коры находится в пределах неопротерозойской Катангской супергруппы, внутри материковой рифтовой бассейновой последовательности, включающей группы Роан, Нгуба и Кунделунгу (Zientek M. L. et al. 2010; Chidumayo E. N., Gumbo D. J, 2010 ; Mine info). Период расширения начался после ~900 млн лет назад, когда нижняя Чалая подгруппа окисленных рифтовых фациальных обломочных пород отложилась в серии ограниченных суббассейнов, контролируемых экстенсиональными нормальными разломами, включая тонкие восстановленные аргиллиты медно-Белтового рудного тела вблизи середины блока(Zientek M. L. et al. 2010; Mine info). Последующая провисающая фаза верхней Чалой подгруппы, в основном состоит из платформенных смешанных карбонатных и обломочных пород,но также включает в себя эвапоритно-солевой слой толщиной <500 м.

В отложениях Коппертбелта и стратиформных отложениях, характерны мелкодисперсные сульфиды меди, кобальта и железа (Zientek M. L. et al. 2010; Mine info). Основными минералами являются халькопирит, кобальтоносный пирит и борнит + карролит. Вмещающие породы включают кварцит (аркозе), сланцы и доломит. Оцениваемые, в среднем 3 мас.% Cu и 0,18 мас.% Co в рудных месторождениях, из которых извлекаются оба металла. Следовые количества Au, Pt и Ag извлекаются из медных шламов в процессе очистки (Dewaele S. et al., 2006).

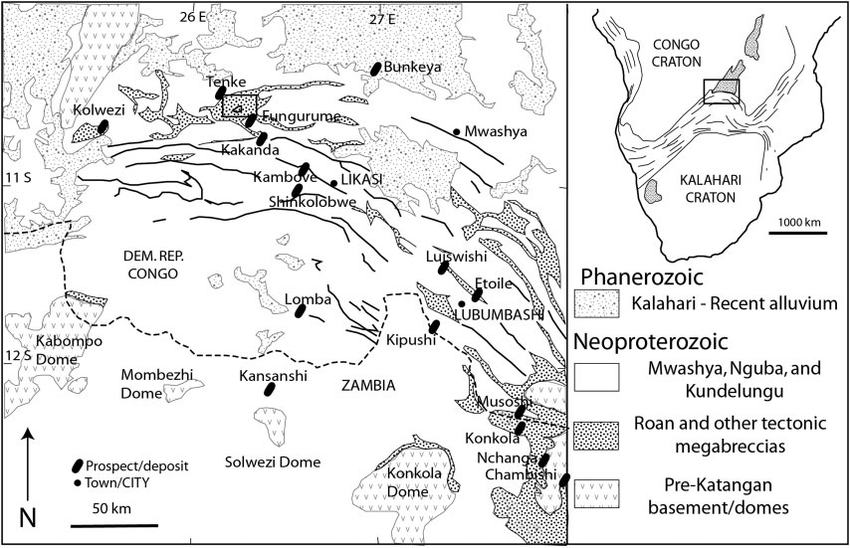


Рис 5. Центрально-Африканский Медный пояс. неопротерозойской Подгруппа мвашья, Нгуба и Куделунгу; Роан и другие тектонические мегабрессий, Катанга подземный (Dewaele S. et al., 2006).

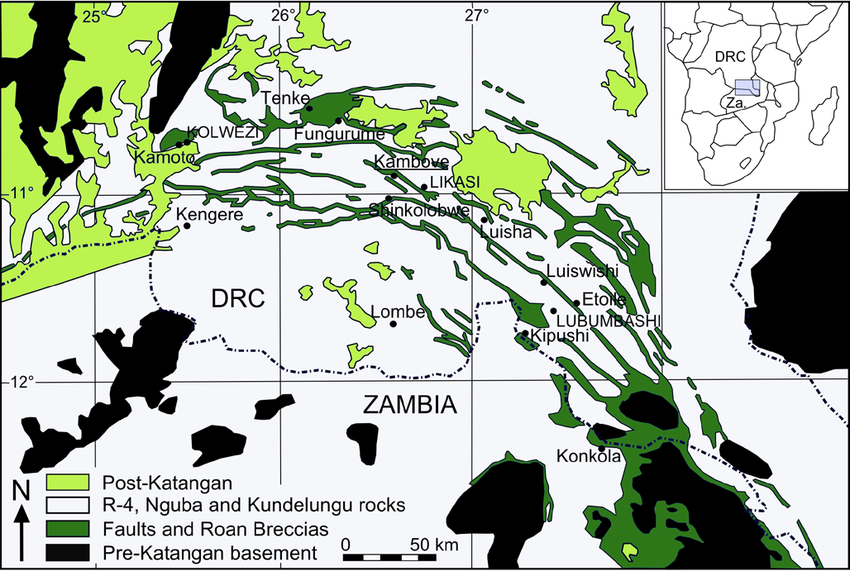


Рис 6. Центрально-Африканский Медный пояс. Геологическая карта Катангской супергруппы с расположеним рудников (Chidumayo E. N., Gumbo D. J, 2010 ). Нгуба и Куделунгу породы.

Месторождения меди в провинции Катанга размещаются главным образом в подгруппе Нижнего Роана. В рудной минералогии преобладают пирит (FeS2), халькопирит (CuFeS2), борнит (Cu5FeS4), халькоцит (Cu2S), дигенит (Cu9S5), линнаит (Co3S4) и карролит. (Cu (CoNi) 2S4), внедренный в карбонатерический сланец, аргиллит или в песчаник (Zientek M. L. et al. 2010; Mine info); ReliefWeb). Наиболее разведанным является месторождение Камото, запасы которого составляют 45,5 млн т руды, содержащей в среднем 0,48% кобальта и 3,85% меди (Decrée S. et al. 2010).

Замбийский медный пояс состоит из пород неопротерозойской супергруппы Катанга, которая является основой месторождений Cu-Co, а также многочисленных других месторождений Cu, Pb, Zn, U, Au, Fe и т. Д. Mine info); Mees, F. et al., 2010), со средним содержанием руды 3 мас. % для меди и 0,18 мас. % для Со (Mees, F. et al., 2010).

В Замбии медно-кобальтовые месторождения в основном обнаружены в провинции Коппербелт, и такая же минерализация меди также распространяется на северо-западную провинцию, но с более низким содержанием. (Zientek M. L. et al. 2010; Mine info); ReliefWeb). Наиболее распространенными первичными сульфидами являются халькопирит (CuFeS2), халькоцит (Cu2S) и ковеллит(CuS) для Cu, а также карроллит [Cu (Co, Ni)2S4] для Co (Cailteux J. L. H. et al. 2005; Dewaele S. et al., 2006).

Замбийский Медный пояс характеризуется двумя северо-западными трендовыми параллельными линиями минерализации Cu, расположенными на расстоянии около 20 км друг от друга, охватывающими Палеопротерозойские базальные гнейсы, гранитоиды и сланцы, а также Мезопротерозойские конгломераты, кварциты и гранитоиды nnw-SSE трендовой антиклинали Кафуэ (Mine info; Zientek M. L. et al. 2010; .

Минерализация преимущественно представлена нижнечелюстной подгруппой, состоящей в основном из грубых кремнистых пластиков (конгломерат с аркозой и алевролитами, с меньшими карбонатными породами). В крупных месторождениях (Луаншья-Балуба, Нкана-Миндола, Муфулира, Чамбиши, Нчанга-Чингола, Конкола-Кирилабомбве-Любамбе и Мусоши) сульфиды представлены в основном диагенетическими, до-складчатыми распространениями и прожилками, со значительной, надпечатывающей, более грубой, пост-складчатой генерацией (Mine info; Zientek M. L. et al. 2010; .

Как в ДРК, так и в Замбии во время выветривания произошло значительное обогащение супергенами. Общая модель состоит в том, что медь и кобальт были растворены в выщелоченной зоне метеоритной водой, которая просачивалась вниз. Впоследствии мобилизовала металлы накапливаются в гипергенеза покрытость. Выше окислительно-восстановительного барьера металлы осаждаются в виде оксидов, таких как гетерогенность и карбонаты, такие как малахит (Zientek M. L. et al. 2010; [75-76]. Под окислительно-восстановительным барьером минерализация происходит в виде сульфидов, которые в основном представляют собой халькоцит. По (Webb & Rowston, 1995; Robb, 2005), окислительно-восстановительный барьер обычно представляет собой грунтовые воды, но также может быть буфером горных пород (Cailteux et al., 2013). Оруденение в основном состоит из медно-кобальтовой руды, которая встречается главным образом в виде сульфидов, оксидов и карбонатов.

Распределение сверхгенных минералов, образованных водной медью, связано с колебаниями уровня грунтовых вод. Эти колебания могут быть либо тектонически, либо климатически, либо сезонно контролируемы. Поскольку кобальт менее подвижен, он остается вблизи поверхности, формирование гетерогенных кобальтовых покрытий (Cailteux et al., 2013).

Низкосортная медь и кобальт встречаются по всей стратиграфической последовательности, но высокосортная руда экономически эксплуатируется из двух основных зон:

1. нижнее (оксидное) рудное тело, размещенное как в верхней части блока аркозы (70%), так и в основании вышележащего блока черного сланца (30%); и
2. верхнее (сульфидное) рудное тело, размещенное в полевошпатовом арените (90%) и снова в основании вышележащего сланца (10%) (Von Der Heyden, M.G, 2014).

Остаточные залежи кобальта и марганца обнаружены на богатых металлами коренных породах и железных латеритах на бесплодных участках. Вторичные марганцевые руды (западная Катанга) и кобальт красный (Восточная Катанга) образовались при ~10 мА и ~3 мА (градус и др., 2010) (Zientek M. L. et al. 2010; .

Согласно (Mine info; Chidumayo E. N., Gumbo D. J, 2010 ), Пластовая и жильная руда, заложенная после 880 млн лет назад, встречается в породах от Палеопротерозойского метаморфического комплекса Люфубу до группы Кунделунгу. Однако крупные стратифицированные отложения, содержащие отложения Cu-Cu±U, ограничены стратиграфическим интервалом от нижней подгруппы Роан до базальной группы Нгуба, особенно там, где они встречаются в ассоциации с породами, содержащими (или содержащимися) в озере или подвижных углеводородах на следующих стратиграфических уровнях:

1. Член рудного тела медной коры (включая вторичные позиции в пределах 100 м выше и ниже этого члена), где сосредоточена большая часть залежей замбийской медной коры (например, Луаншья-Балуба, Муфулира, Нкана-Миндола, Нчанга-Чингола, Чамбиши и Конкола-Любамбе);
2. База шахт подгруппы (включая вспомогательную позицию в пределах ~100м выше в последовательности) в конголезском медном поясе, на долю которого приходится основная часть руды в ДРК (например, Кольвези Клиппе, Тенке Фунгуруме, Кинсевере, Камбове, Этуаль, Руаши, Луисвиши, Луишиа и Каканда);
3. Подгруппа верхней Дипеты (например, Мутанда, Дезива;
4. Подгруппа мвашья (например, граница, Кансанши); и
5. Большой конгломерат группы Нгуба (например, Камоа, Фишти

## Рельеф медный пояса

Регион расположен на восточном Центрально-Африканском плато, с пологой волнистой местностью ~900 - 1500 метров высотой, иногда прерываемым изолированными холмами. На замбийской стороне границы поверхность характеризуется монотонно ровным рельефом с разросшимися плотинами (Zientek M. L. et al. 2010). Поверхность реки глубоко изрезана дренажом Конго, а рельеф характеризуется холмами и хребтами.

Катанганский медно-дуговой, медно-кобальтовые участки относятся к холмистому типу, и отличаются от верхнего участка до нижнего участка: A. - лесистая Саванна, B. - расщелины на каменистых минерализованных склонах, C. - каменноуплотненная степь, D. - Гемикриптофитная Степная Саванна, E. - Геофрутексная степь-Саванна, F. - кустарниковый пояс саванны и G. - открытый лес (Вида миомбо) (Pourret et al., 2016).

Особенностью рельефа Катанги является сочетание высоких плоских вершин плато с крутыми скатами, которые доминируют над широкими плоскими долинами. Из них наиболее заметными и обширными являются нагорья Биа и Кибара в Национальном парке Упемба, а также плато Кунделунгу на востоке (Wikipedia). На плато Катанга ведется земледелие и скотоводство. Восточная часть провинции является богатым горнодобывающим регионом, который поставляет кобальт, медь, олово, радий, уран и алмазы (Wikipedia).

Согласно с (Decrée and others, 2010), в течение четвертичного периода климат стал засушливым, что привело к разрезу поверхности, образованию долин и эрозии остаточных отложений. В некоторых районах Африканская поверхность была частично или полностью эродирована, но там, где она сохранилась, обнаружен латеритный или бокситовый покров. Реликтовые силицированные инсельберги сохраняют свои кобальтовые покрытий. Детритный гетерогенит (оксигидроксид кобальта), основной окисленный кобальтовый минерал, полученный выветриванием карролита в отложениях, содержащих пластовые медные руды, сосредоточен в топографических низинах (Zientek M. L. et al. 2010).

Минерализованные породы в основном появляются в виде округлых холмов, обычно на несколько десятых метров выше уровня окружающей неминерализованной области; эти холмы являются реликтами госсана (т. е. выветрившейся частью медных и кобальтовых руд; (Decrée S. et al. 2010); Mees, F. et al., 2010)). Холмы меди и Co представляют собой градиент концентраций Cu и Co в почвах (около 0,1% общего содержания Cu в нижней части холма и 5% в верхней части и около 0,05% общего содержания Co в нижней части холма и 1% в верхней части) и в основном покрыты степной саванной, которая является характерной растительностью катанганских медных обнажений (т. е. старой растительностью, состоящей из многолетних видов с высокоразвитой подземной системой) (Séleck M. et al. 2013).

## Климат

Климат региона определяется по-разному в зависимости от авторов, в частности Cs6 согласно Köppen (Cailteux J. L. H. et al. 2005), или тропический климат с летними ливнями (II2c) согласно Walter & Lieth (1960). По ; Chidumayo E. N., Gumbo D. J, 2010 ), следует признать пять сезонов: холодный сухой сезон (май-июль), жаркий сухой сезон (август-сентябрь), ранний сезон дождей (октябрь-ноябрь), основной сезон дождей (декабрь-февраль) и поздний сезон дождей (март-апрель).

Климат субтропический влажный, CW6s по классификации Кеппена (Bultot, F., 1950) и характеризуется сезоном дождей (ноябрь-март), сухим сезоном (май-сентябрь) и двумя переходными месяцами (октябрь и апрель). Среднегодовая температура составляет 20 C, а среднегодовое количество осадков ~1252 **мм**, из которых 1200 по (Wikipedia), выпадают в сезон дождей. Самая низкая температура в начале сухого сезона (15-17◦C), во время которого ночная температура может опускаться до 6° С. Самые теплые месяцы сентябрь и октябрь (дневные максимумы 31-33 ° с, минимальная температура 14 ° С) (Master, et al, 2005). Согласно по этим данным самым тёплым месяцем является октябрь, его средняя температура составляет +23…+27 °С. Средняя температура самого холодного месяца — июля составляет +15…+20 °С. Среднегодовое количество осадков — 600—1400 мм (Josué Bahati Chishugi, 2010).

На широте 12° с. ш., в районе Катанги—климат приобретает определенно суданский характер, с выраженными сухими и влажными сезонами примерно одинаковой продолжительности и со средним годовым количеством осадков ~1245 мм. пики осадков связаны с прохождением зоны Межтропической конвергенции (ITCZ), представляющей собой большую зону низкого давления, вызванного чрезмерным нагревом от верхнего солнца.

С марта по октябрь в ветровом потоке преобладают сильные ветры из Юго-Восточного квадранта. В течение января, февраля, ноября и декабря в ветровом потоке преобладают легкие северо-восточные ветры.

Межтропическая зона конвергенции (ITCZ), воздушная граница Конго (CAB) и вторжение межтропической западной фронтальной системы ответственны за характер осадков в Замбии. Глобальные климатические факторы, в частности Южное колебание Эль-Ниньо (ЭНСО), влияют на погоду и климат Замбии [ZEMA 43].

## Гидрография

### Гидрография Провинция Коппербельта

Гидрология в Провнции Коппербельт определяется обилием воды в сезон дождей и дефицитом воды в конце сухого сезона, когда более мелкие ручьи в конечном итоге высыхают. В течение последнего периода времени водоснабжение зависит от ограниченного числа многолетних рек, воды, хранящейся в водохранилищах, и, особенно там, где ни одна из первых не доступна, от грунтовых вод. Сток воды характерен для полусухого тропического климата, который делит год на дождливый (ноябрь-апрель) и сухой (май-октябрь) сезоны. Общее количество осадков в Провинции Коппербельте превышает 1200 мм и выпадает в основном в сезон дождей (ноябрь-апрель).

В гидрологической сети самой длинной рекой является р. Кафуэ, она располагается полностью в пределах Замбии и имеет длину 1577 км. Река Кафуэ является крупным притоком реки Замбези, и является самой освоенной, используемой и урбанизированной, из-за того, что она протекает в Коппербелте и в других городах. Более 50% населения Замбии проживает на территории бассейна реки Кафуэ, и около 65% из них являются городскими жителями (Matakala P. et al., 2015). Расстояние от ее истока на северо-западе до впадения в реку Замбези составляет 1577 км. Кафуэ извивается вдоль её русла в плоскодонной долине реки с хорошо развитыми пойменными равнинами (Matakala P. et al., 2015).



Рис 7. Река Кафуэ (красная) и часть реки Замбези (синяя) (https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/TZ/Zambia/uk\_techn\_report\_3.pdf?\_\_blob=publicationFile&v=3)

Исток реки Кафуэ находится в северо-западной провинции Замбии на высоте ~1350 м. над уровнем моря на относительно плоском плато к югу от границы Замбии и Демократической Республики Конго, в 120 км к северо-западу от Чинголы в Провинции Коппербельт.

Она протекает недалеко от городов Чилилабомбве, Чингола и Муфулира, а также через окраины Нчанга и Китве. Наиболее важными притоками рек являются реки Мусишима, Мусакаши, Мунтимпа и Чибулума. Регион Китве дренируется несколькими небольшими реками, в том числе Миндоло, Китве, Учи и Вусакиле. Наиболее важными притоками реки Синистра являются реки Лубенгеле, Муфлира и Фимпимпа. Большинство притоков и рек поднимаются в верховьях реки плотины (болота). Эти безлесные, мелкие продолговатые углубления в форме блюдца покрывают от 10 до 12% поверхности суши (Britannica). Вода используется для водоснабжения населения, орошения, в промышленности для охлаждения и очищения, для гидроэлектростанции.

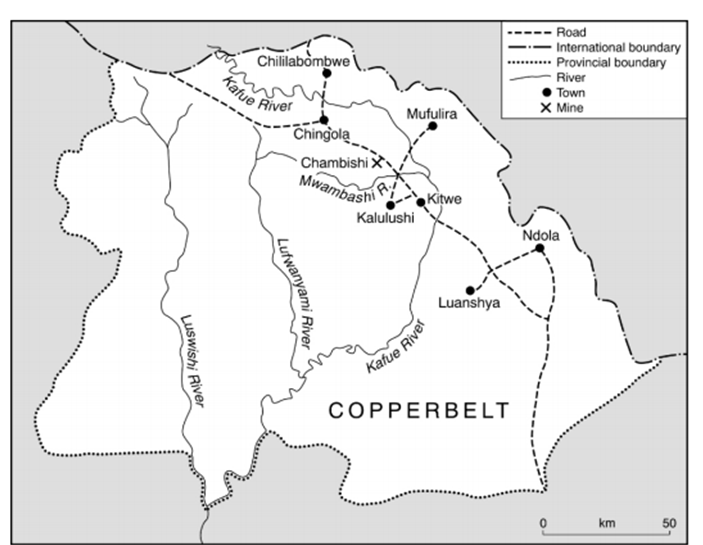


Рис 8 Гидрологическая карта, показывающая верхние части реки Кафуэ и другие главные реки в Провинции Коппербельте (Dewaele Et Al. 2008)

Коренные породы в верхней части бассейна реки Кафуэ состоят из базального комплекса докембрийских кристаллических пород, покрытых осадочными отложениями, содержащими богатые карбонатами сланцы, накопленные в морских условиях между ~1300-1000 млн лет назад (Pettersson U. et al., 2000). В пределах Коппербельта река Кафуэ следует за антиклиналью Кафуэ, которая является доминирующей структурной особенностью, обнажающей минерализации из более глубоких осадочных образований. Минерализации характеризуются пиритом (FeS), халькопиритом (CuFeS), борнитом (Cu5FeS4), халькоцитом (Cu2S), дигенитом (Cu9S5), линнеитом (Co, S4 ) и карролитом (Cu (Co,Ni), S4) (Pettersson U. et al., 2000).

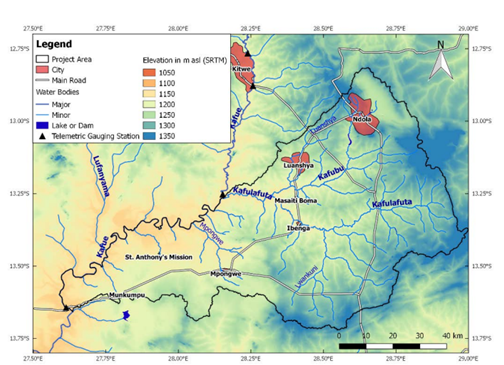


Рис 9 Карта показывающий Водосбор реки Кафулафута с рекой Кафубу

Водосбор реки Кафулафута с рекой Кафубу в карстовой зоне Мпонгве, представляющей собой известково-доломитовое плато, которое осушается несколькими более мелкими реками, такими как Мпонгве, Чисанга и Бунди. Реки сбрасывают свои воды в реку Кафуэ. В районе карста Мпонгве предполагается, что значительное количество воды сбрасывается в подземную реку Кафуэ.

### Гидрография Провинция Катанга

Провинция Катанга образовывает конголезскую границу с Анголой и Замбией. Провинция также граничит с Танзанией – хотя провинция Катанга и Танзания не имеют общей сухопутной границы, но граница проходит в пределах озера Танганьика.

Характеристика гидрологический сети в Првинции Катанге протекает Река Конго, которая в верхнем течении (выше города Кисангани) называется Луалаба. Река Конго самая полноводная и вторая по длине река Африки, вторая река по водности в мире после Амазонки (годовой сток равен 1318,2 км³, хотя это в 5 раз меньше, чем у Амазонки) и самая глубокая река в мире, имеет источник в Катанге (Wikipedia, Congo; (Wikipedia, Lualabala River) .

Бассейн реки Конго занимает площадь 3,8 миллиона км2, 3/4 из которых приходится на ДРК. Его средний расход составляет 42 000 м3 в секунду, а минимальный и максимальный-23 000 и 80 000 м3 соответственно, что делает его первой африканской рекой и второй в мире по скорости сброса. Река Конго имеет длину 4700 км и около двадцати притоков, дренирующих как северное, так и Южное полушария (Cailteux et al., 2013).

Длина Конго от истока Луалабы — 4374 км (от истока Чамбеши — 4700 км). Площадь бассейна от 3457 (ECZ, 2017) до 3820 тыс. км² [61,60]. Исток Луалабы берёт начало на юго-востоке ДРК, на плато близ границы с Замбией.

Истоки Конго находятся в высокогорьях и горах Восточноафриканского рифта, а также в озере Танганьика и озере Мверу, которые питают реку Луалаба. Река Чамбеши в Замбии обычно считается истоком Конго в соответствии с общепринятой во всем мире практикой использования самого длинного притока, как и река Нил (Wikipedia, Congo; Copperflora).

Река Конго имеет множество притоков Южном полушариях, имено в првинции Катанге, вследствие чего протекает в течение всего года. Его мощный поток в течение многих лет оставался между высоким уровнем ~65.4 тыс. м3/с (в 1908 году) и низким уровнем ~21.4 тыс. м3 / с (в 1905 году) (Cailteux et al., 2013). Однако во время необычного наводнения 1962 года он стал самым высоким за столетие, а его объем, вероятно, превысил ~73.6 тыс. м3/s (Encyclopaedia Britannica, 2007) : Cailteux et al., 2013).

Исток реки Луалаба находится на плато Катанга, на высоте ~1400 м над уровнем моря (Copperflora). Река течет на север и заканчивается у Кисангани, где официально начинается река Конго.

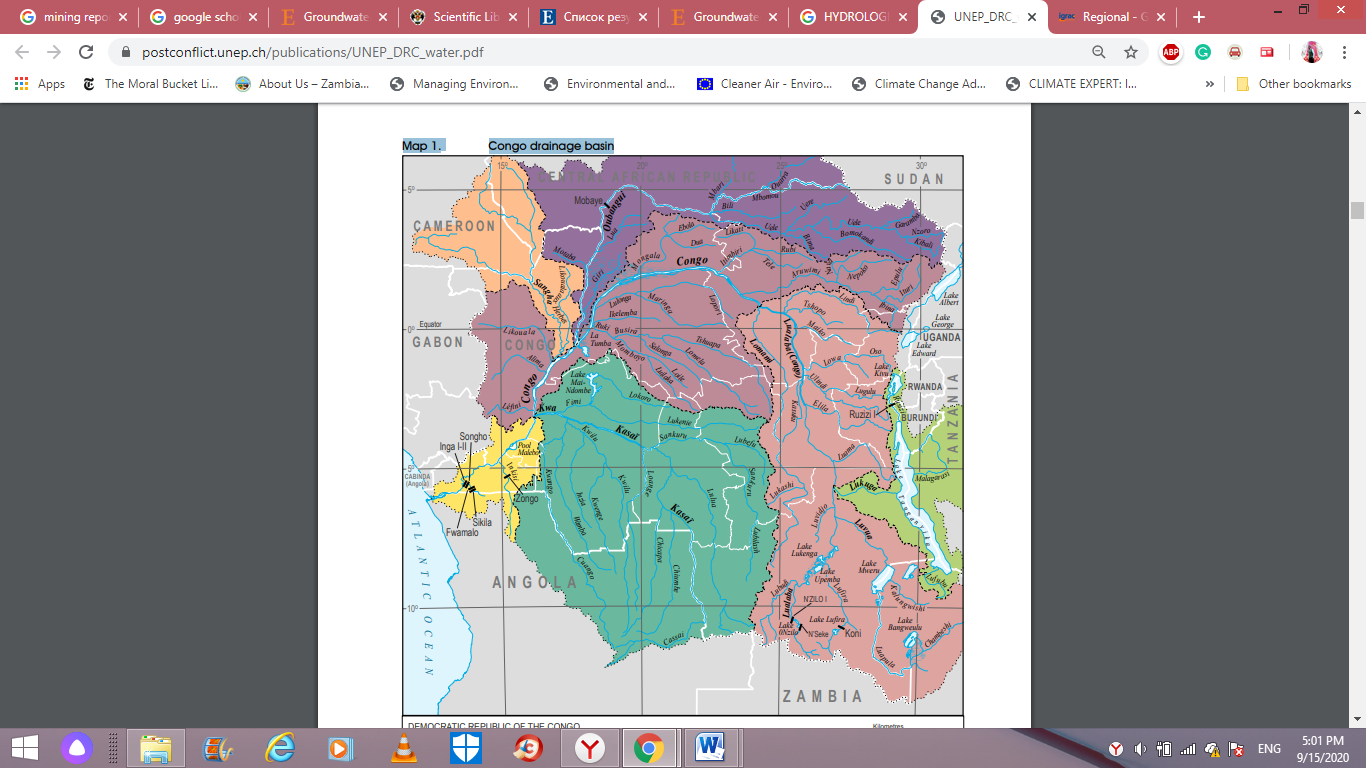
Река Луалаба протекает полностью в восточной части Демократической Республики Конго. Это самый большой по объему воды речной источник в верховьях реки Конго. Длина Луалабы составляет ~1800 км и её истоки находятся в дальнем юго-восточном углу страны, недалеко от Мусофи и Лубумбаши в провинции Катанга, рядом с Замбией (Wikipedia, Congo; .

С плато Катанга она течёт с водопадами и порогами, отмечающими спуск, на плато Маника. Она спускается через верхнюю впадину Упемба (впадина Камалондо), ~457 м в ~72 км от водопада Нзило, который запружен для гидроэлектростанции на плотине Нзило (Copperflora).

На Западе Катанга граничит с водоразделами рек Любуди и верхняя Луалаба, а на северо-востоке-с озером Танганьика (включая нагорье Марунгу). Её приблизительные северные границы соответствуют Северному водоразделу реки Лувуа и вратам Ада (Portes d'Enfer). Эти крупные пороги на реке Луалаба, по-видимому, разделяют различные водные фаунистические зоны в бассейне Конго. Река Луапула граничит с Катангой на юго-востоке и водоразделом между верховьями Конго и Замбези на юге.

Гидрогелогические строение в Провинции Катанге, очень неоднородные и анизотропные материалы с компактными меловыми породами, содержащими очень важные водные ресурсы, в основном найдены в Катанге. Этот тип геологических формаций характеризуется нормальной производительностью от 80 до 180 м3/ч, статическим уровнем от 14,7 до 21 м и нормальной производительностью при использовании GMP 40 м3 / ч;f. трещины, обусловливающие развитие зон водоносных горизонтов, являются основной геологической формацией, обнаруженной в ДРК [36]. Он простирается с северо-востока на юго-восток в Катанге, включая Киву. Статический уровень составляет около 2 м, а артезианский - около 45 м с просадкой 43 м и нормальным выходом при использовании GMP в диапазоне от 10 до 45 м3/ч (Cailteux et al., 2013).

Демократическая Республика Конго имеет ряд общих водоносных горизонтов с соседними странами. Он, например, разделяет бассейн Калахари / Катанга с Замбией. Этот бассейн мог бы стать потенциальным каналом трансграничного загрязнения вод в результате горнодобывающей деятельности в провинции Катанге.



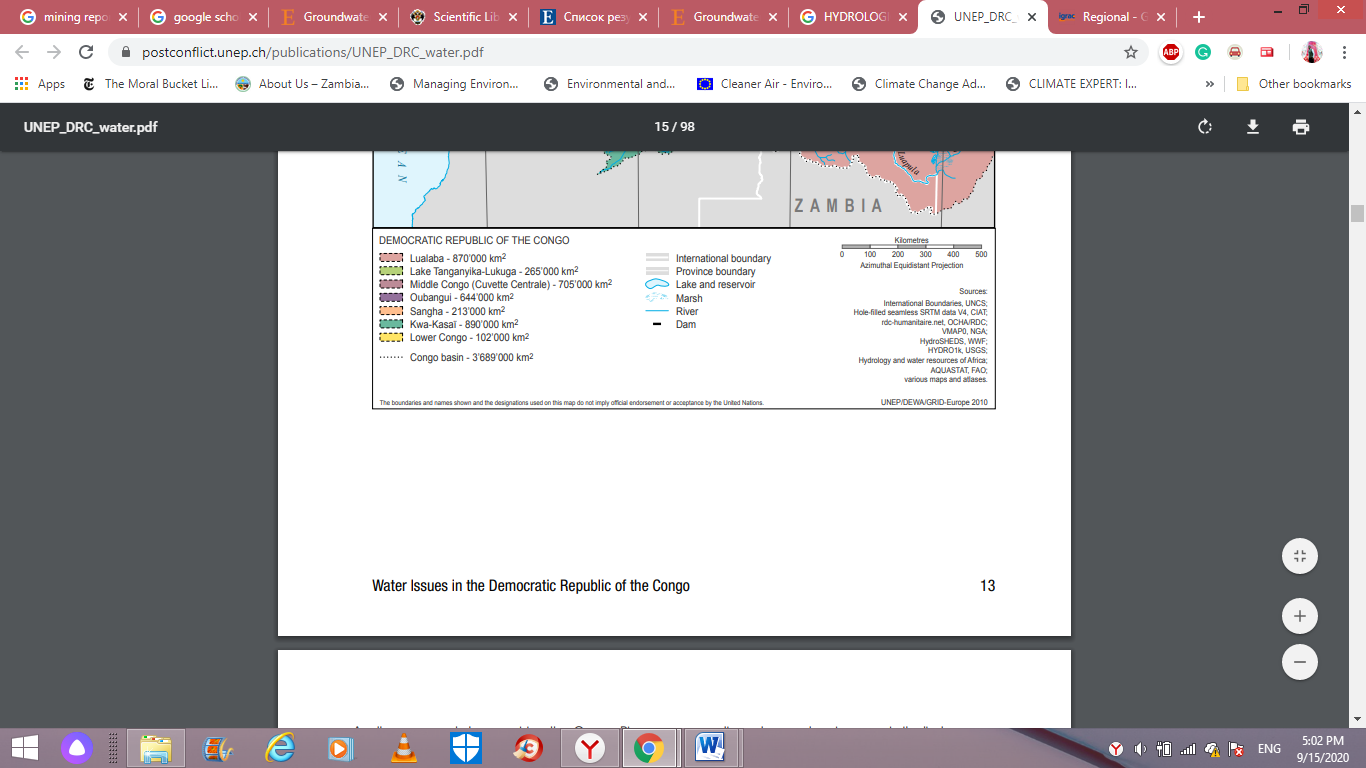


Рис 10 Гидрология ДРК (Cailteux et al., 2013).

## Почвы

Почвы имеют древнее происхождение и значительно выветриваются и выщелачиваются с низкой обменной способностью основания. Согласно Крибеку и др., (2010) почвы на Медном поясе свободно дренируются и относятся к группе Ферральных почв, которые обычно кислые, бедные углеродом и азотом и проявляют низкую катионообменную способность. Почвы в исследуемом районе происходят из материнской породы, которая минерализована медью, кобальтом и железом. Большинство почв Коппербельта представляют собой глубоко выветренные Латеритные почвы.

В соответствии с классификацией почв ФАО (Decrée S. et al. 2010) свободно дренируемые почвы региона Коппербельт могут быть отнесены к группе ферразойлов (акровые, ортовые или родовые ферразойлы). Ферральсоли в коппербельте кислые (pH KCl: 3,94-7,15), бедные органическим углеродом (<0,2–7,2 Мас.%) и азотом (<0,05–1,59 Мас.%), а также имеют низкие значения катионообменной емкости (CEC: 0,9–12,6 ммоль/100 г (Kříbek B. et al, 2010)

Описание почвы на замбийской стороне медный поясе по (Ross R et al., 2003):

1. Горизонт А1 (0-5 см), верхний слой почвы. Темно-серовато-коричневый Ил; умеренная средняя зернистая структура; слегка твердый, рыхлый, слегка пластичный; корни обильные; гладкая и постепенная граница.
2. Горизонт А2 (5-30 см). Темно-красновато-бурый ил или глина; слабая средняя зернистая структура; мягкая, рыхлая, слегка пластичная, липкая; мало корней; гладкая и диффузная граница; несколько железомарганцевых конкреций.
3. Горизонт В1 (30-50 см). Темно-красновато-бурая и листая глина; слабая средняя субангулярность, распадающаяся на слабую мелкозернистую структуру; рыхлая, слегка пластичная, слегка липкая; несколько корней; плавная и постепенная граница; обильные железомарганцевые конкреции.
4. Горизонт В2 (50-120 см). Темно-красная глина; массивная пористая, распадающаяся на слабую зернистую структуру; мягкая, очень рыхлая, слегка пластичная, слегка липкая; без корней; четкая, волнистая граница; обильные железомарганцевые конкреции.
5. Горизонт с (120-140±). Глинистый суглинок; горизонт, содержащий выветрившиеся фрагменты горных пород и материал горизонта В2.

Основными типами почв являются Ультизолы, Энтисолы, Хостизолы и Оксизолы.. Энтисолы-это минеральные почвы, не имеющие общей зоны, занимающей один процент почв в в Коппербелте (Montejano A. ,2013). Почвенный покров, как правило, песок с тисненой грунтов (Kříbek, B, Nyambe, I, 2005). Оксизолы является сильным выщелоченные, сильно кислые, красные до красноватых, глинистые и слегка илистые почвы с глинистым и мелкозернистым верхним слоем почвы (KCM. 2001 ). Оксисолы получают из местных коренных пород с низкой удерживающей способностью и характеризуются растительностью Миомбо. Ультизоли является сильным выщелоченные, сильно кислые, красноватые до коричневатых, глинистые до суглинистых почв с грубыми и мелкими суглинками сверху (KCM. 2001 ). Эти почвы, полученные из коренных пород, также характеризуются растительностью Миомбо. Они могут иметь среднюю или тонкую текстуру и обычно ограничены глубиной почвы и содержанием глины (KCM. 2001 ). Хостизолированные или тканевые почвы — это недавние аллювиальные пойменные почвы, развитые в водонасыщенной среде. Эти почвы очень плохо дренированные, глубокие, желтоватые и серые до серовато-желто-коричневых стратифицированных почв (Kříbek, B, Nyambe, I, 2005).

В саваннских районах почвы постоянно подвергаются опасности эрозии, однако речные долины содержат богатые и плодородные аллювиальные почвы.

## Растительность медный пояса

Основные лесные массивы в Коппербельтe относятся к более влажному миомбо (Brachystegia-Julbernardia) виды растительности белого цвета (1983), который занимает 90% площади (Lees, 1962), а остальные 10% составляют пастбища Дамбо в понижениях вдоль рек. Характерными видами растениями являются Marquesia macroura, M. acuminata, Berlinia giorgii, Daniellia alsteeniana, Brachystegia spiciformis, B. wangermeeana и Parinari curatellifiolia. Однако в более распространенной вторичной растительности, включающей пастбища и лесные пастбища ("миквати"), наиболее частыми огнеупорными деревьями являются Erythrophleum africanum, Dialium englerianum, Burkea africana, Diplorhynchus condylocarpon, Pterocarpus angolensis с нижним этажом, включающим виды Protea, Combretum и Strychnos с высокими травами Hyparrhenia (Wikipedia, Kafue River).

В растительности видов Коппербельта, кроме миомбо-редколесий и иногда галечных лесов, присутствие минерализации выражено через степь-саванну, кустарниковую саванну и древесную саванну ( Chidumayo E. N., Gumbo D. J, 2010 ).

Такой видмиомбо наблюдается почти во всех местах, расположенных в Замбии, но также и в Южной Катанге, недалеко от замбийской границы, а также в Дикулуши ( Chidumayo E. N., Gumbo D. J, 2010 ).

Коппербелт представляет собой лесную местность Миомбо на водоразделе Конго-Замбези, где множество разветвляющихся плотина лежит на 10-20 м ниже самой значительный точки, создавая очень мягкую волнистую топографию (Matakala P. et al., 2015). Доминирующие виды представлены родами Brachystegia, Isoberlinia и Julbernardia и включают ключевые виды, такие как Brachystegia spiciformis, B. boehmii, Julbernardia globiflora, J. paniculata; и Isoberlinia angolensis, а также диптерокарп, Marquesia macroura (Fire Management...2015).



Рис 11 Центральные Замбезианские леса Миомбо в провинции Коппербельт Замбии (ZCCM 1989).

В кроне деревьев преобладает Brachystegia spp., Julbernardia spp., Isoberlinia spp., и в меньшей степени Uapaca spp. и Моноты spp. Подлесок состоит из травянистых видов, включая такие растения, как Hyparrhenia spp., Themeda triandra и Diheteropogon amplectans (ZCCM 1989).

Флора катангской медянки включает в себя металлофиты (Malaisse F, 2016). Руда выходит на поверхность в открытом лиственном лесу (лес Миомбо) в виде холмов, покрытых травянистой растительностью. На почвенных покровных рудах холмов наблюдаются значительные уровни концентрации металлов (доступный [Cu] в почве превышает 10 тыс. ppm (частей на миллион) и [Co] 1.000 ppm (частей на миллион)). Эта флора устойчива в течение тысячи лет, как тропические леса (Veldman et al. 2015) (Malaisse F, 2016). Доминирующей естественной растительностью является открытый лиственный лес (миомбо), в котором преобладают деревья подсемейства Caesalpinioideae (Saad L. et al. 2012).



Рис 12 Открытый лес Миомбо (Brachystegia boehmii)ДРК (Malaisse F, 2016)

На вершине хазмофитная растительность колонизирует трещины и трещины слабо минерализованных пород (т. е. с концентрацией Cu составляет от 250 до 900 мг мкг-1). Затем степная растительность заселяет верхнюю часть обнаженных склонов с наибольшими концентрациями Cu в почве (от 3500 до 10000 мг. кг-1). Степная саванная растительность развивается на промежуточных и предгорных склонах в нижней части обнажений, характеризующихся более низкой концентрацией Cu в почве (т. е. с концентрациями Cu от 100 до 3500 мг. кг-1) (Malaisse F, 2016).

**2 История горнорудной промышленности в Коппербельте (Замбия) и в Катанге (ДРК)**

**2.1 История горнорудной промышленности в Коппербельте (Замбия)**

Замбия имеет долгую историю добычи полезных ископаемых благодаря его богатым запасам меди, которые оценивалось, согласно с данным (The Geological Mapping), в 2010 г., в 19 млн т из известного в мире 490 млн т запасов меди. Это ставило Замбию на 10— е место по запасам меди в мире в 2010 году с долей 4% (The Geological Mapping). Однако, По оценкам USGS в 2012г. и 2020г., запасы меди в Замбии составляют 19-20 млн т, что составляет ~2,2% от общемировых известных запасов в мире -690 млн т и 870 млн т, соответственно; что поставит Замбия на 10 месте в мире по запасом меди (USGS;US Geological Survey, 2012). Кроме того, в 2010 г. Было выявлено что в мире имеется **7,5 млн т** известные запасы кобальта, из которых 2,7•105 т находятся в Замбии (US Geological Survey, 2012). По данным (The Geological Mapping) в 2010 г., Замбия было на 4-е месте в мире по запасам кобальта.

Выявленные мировые ресурсы кобальта, в 2021 гю составляют **~15 млн т** (US Geological Survey, 2012). Большинство месторождений Cu—Co в медном поясе расположено в группе Роан, которая представляет собой самые древние известные породы (<880— 750 млн лет) Катангской супергруппы (Zientek M. L. et al. 2010; ( Chidumayo E. N., Gumbo D. J, 2010 ; Mine info). Подавляющее большинство этих ресурсов находится в никельсодержащих латеритовых отложениях, а большая часть остальных-в никелево-медных сульфидных отложениях, расположенных в мафических и ультрамафитовых породах Австралии, Канады и России, а также в осадочных медных отложениях Конго (Киншаса) и Замбии (US Geological Survey, 2012). Однако, последняя оценка по 2020 г. по запасом кобальта показываешь, что Замбия не входит в топ-10 стран по производству кобальта.

Замбийский Медный пояс является наиболее значительный минерализованным неопротерозойским бассейном на земле, сохраняя поистине впечатляющие масштабы минерализации: свыше 1 x 109 т руды (ZEITA, 2018). В Замбии медные руды содержать от 0,5 до 2% меди (что равно 1,25·107 т) и некоторых других металлов, таких как золото и кобальт (The Geological Mapping). Медь, найденная в замбийском регионе Коппербельт, имеет средний сорт 2,7% меди. В этом регионе уже добыто более 1 миллиарда тонн руды с дальнейшими оценочными запасами не менее двух миллиардов тонн, которые еще не эксплуатировались (Mining In Africa’s , 2014).

Таблица 1 Основные параметры, характеризующие: запасы руды в Замбии и работу, некоторых горнодобывающих предприятий в провинции Коппербелт: Емкость по добыче медных руд в год и запасы, среднее производство меди в год и доля добытого его из руды [88 – 96] [111–112]130].

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Запасы руд или название Рудник | Емкость по добыче медных руд и запасы, в 105 т | Количество выплавки меди, в 103 т | Доля добытого меди из руды |
| бассейн. Минерализация —свыше 1 x 109 т руды (ZEITA, 2018). Запасы пояса 3 x 109, добыто >1 x 109 (Mining In Africa’s , 2014) | <3 ·104 | >1·106 | >0.3333 |
| запасы меди, (The Geological Mapping) | 19-20 млн т из известных в мире 870 млн т | 789 (среднее суммарное количество добывается в год) | 0,0415-0,0394 |
| По данным (ZEITA, 2018) | 1,25·102 | 63-250 | 0,005 – 0,02 меди |
| Chibuluma Mines plc | 6 | 19 | 0,032 |
| Konkola Copper Mines plc | 45 | 61 | 0,0136 |
| Mopani Copper Mines plc | 55 | 98 | 0,018 |
| NFC Africa Mining plc Chambishi Main Mine | 22 | 50 медь в концентрате | 0,023 |
| Lubambe Copper Mine Ltd. | 25 | 23 | 0,0092 |

Наиболее важные — **каменный уголь, медь, кобальт, свинец**, цинк, олово и золото. Имеются также месторождения руд железа, марганца, **урана**, никеля, ниобия (с апатитом), пирита, аметиста, изумрудов, серы, гипса, флюорита и другие (ZEITA, 2016). Медная промышленность доминировала на горнодобывающей отрасли в Замбии в течение восьми десятилетий с момента открытия первого коммерческого полезных ископаемых в Луаншье (Roan Consolidated Copper Mines, 1978) в 1928 г. (Simutanyi, 2008); J. Sikamo,2016). Добыча медных руд на территории Замбии ведётся с 1907 и является одним из главных движущих сил в экономике страны. Медь добывалась в Кансанши и Бвана Мкубва соответственно в 1908 и 1911 годах. (J. Sikamo et al,2016).

Это был горнодобывающая промышленность, принадлежащий Родезийскому отборочному тесту (RST). С 1928 по 1969 год две частные горнодобывающие фирмы работали в Северной Родезии (ныне Замбия), а именно: Rhodesia Select Trust (RST) и Англо— Американская Корпорация (AAC). Это были филиали предприятии двух международных корпораций, American Metal Climax Inc. и Anglo American Corporation соответственно (Sinkala, et al, 2013).

В Замбии последствия от добычи связаны с историческими и текущими операциями по добыче полезных ископаемых. Большинство предприятии по добыче полезных ископаемых расположено в районе Коппербелт; наиболее крупные из них — "Нчанга" (7,6 млн. т руды в год, около 70% добывается открытым способом), "Муфулира" (~5,5 млн. т руды подземным способом), "Рокана" (месторождения Нкана, Миндола — 5,5 млн. т руды подземным способом), "Рон— Антелоп" (Луаншья — 5,7 млн. т в основном подземным способом) (Minig). Подземным способом добывается 75% руды, горные работы ведутся на глубине до 1200 м ("Рокана") (Горная Энциклопедия) Выщелачивание ведутся от ~1000м до 1400м глубины.

Шахта Нкана работает с 1932 года и к настоящему времени произвела 6•106 т меди. Его подземные запасы включают 69•106 т сортамента, 16•106 т меди и 98•103 т кобальта. Его ресурсы включают 126•106 т сортамента, 43•106т меди и 3•105 т кобальта (Mining in Zambia). Медно— кобальтовое оруденение стратифицировано в пределах аренитов, сланцев и карбонатных пород Нижнекатангской серии рудников. Медная минерализация в месторождениях изменяется от преимущественно халькопирита в Южном рудном теле дохалькопирит— борнита в Центральном районе и до борнита— халькопирита в Миндоле.

В горнодобывающей промышленности в открытом так и подземных, применялись различные методы добычи и переработки полезных ископаемых со значительным воздействием на окружающую среду. Вскрытие месторождений осуществляется сдвоенными вертикальными и наклонными стволами (один для выдачи руды, другой — породы размещено в осадочных породах Нижней группы Роан вдоль юго— западной окраины антиклинали Кафуэ и в рудных сланцах в скипах ёмкостью 8 — 15 т) (Горная Энциклопедия). Для проходки вертикальных выработок используются буровые установки. Преобладающей системой разработки является подэтажное обрушение с отбойкой руды буровзрывным способом. Используется также камерно— столбовая система разработки (месторождение Чибулума) (Горная Энциклопедия). Схваченная руда доставляется по рудным каналам доставочными машинами емкостью ковша 2,5 м3. Откатка руды на основных горизонтах контактными электровозами (грузоподъёмность вагонов 20— 25 т), на промежуточных — дизельными локомотивами и аккумуляторными электровозами. Производительность труда рабочего при подземной добыче составляет 1,5— 2,5.103 руды (Горная Энциклопедия).

Когда Замбия получила политическую независимость в 1964 г., правительство возлагало большие надежды на развитие, которое оказало бы влияние на быстрый рост медной промышленности благодаря благоприятным мировым ценам на медь в конце 1960— х и начале 1970— х годов (Sinkala, et al, 2013). На пике своего развития в конце 1960— х и начале 1970— х годов добыча меди приносила более 80% валютных поступлений страны, более 50% государственных доходов и не менее 20% общей занятости (Simutanyi, 2008). В это же время возросло использования современных технологий, что привело к увеличению эффективности и интенсивности добычи полезных ископаемых. Последовательно, увеличение, добычи меди и других полезных ископаемых, привело к большему воздействие на окружающую среду.

С 1969 года минерально-сырьевая промышленность была постепенно национализирована, и после этого добыча полезных ископаемых осуществлялась государством через "Замбию Консолидейтед Медные рудники Лимитед" (ZCCM)». Горнодобывающие компании в то время не обращали на внимание на экологические обязательства, которые правительство не оценивало, поскольку они были более сосредоточены на получении прибыли. Таким образом, это привело к кумулятивному воздействию, которое еще больше ухудшило состояние окружающей среды в шахтерских городах. Это создало прецедент на многие годы вперед и в значительной степени определило и сформировало то, как правительство с помощью экологических законов и политики будет регулировать и смягчать загрязнение окружающей среды (почвы, воды и воздуха).

В 2000 г. шахты были приватизированы, а активы «Zambia Consolidated Copper Mines Limited (ZCCM)» были разделены и проданы различным инвесторам. Во время национализации правительство не обращало внимания на воздействие горнодобывающей промышленности на окружающую среду, хотя было ясно, что в городах вблизи шахт, таких как Муфулира, где расположено большинство плавильных производств, наблюдается загрязнение воздуха. Правительство Замбии сохраняло доли в некоторых операциях во время приватизации, и сегодня по— прежнему владеет миноритарным пакетом акций многих рудников через холдинговую компанию под названием ZCCM— Investment Holdings (ZCCM— IH) (Lindahl, 2014)

В 1982 г. Roan Select Trust (RST) и Nchanga Consolidated Copper Mines (NCCM) были объединены в Zambia Consolidated Copper Mines Limited (ZCCM), в которой государству принадлежали 60,3% акций, а оставшиеся акции принадлежали Anglo American Corporation (AAC). Приватизация ZCCM, как ожидается, ознаменует собой поворотный момент в экономической реформе Замбии, обеспечивая основу для улучшения управления окружающей средой, экономической стабильности и роста. Однако с экологической точки зрения не так уж много было сделано для укрепления столь необходимых стратегий экологического менеджмента, которые со временем улучшили бы качество окружающей среды за счет уменьшения воздействия, которое каким— то образом упускалось из виду в целях увеличения прибыли.

В конце 1990-х гг. приватизация Замбийского консолидированного Медного Рудника (ZCCM) началась в 1996 г., и иностранный капитал потек от таких инвесторов, как Glencore (Швейцария) и First Quantum Minerals (FQM, Канада-Австралия). Не имея ресурсов для оживления медной промышленности, правительство решило в 1995 г. начать процесс приватизации активов ZCCM. Предполагалось, что приватизация повысит эффективность медной промышленности, привлечет иностранные инвестиции в Замбию и тем самым ускорит развитие частного сектора. Во время приватизации ZCCM была обременена огромной "экологической ипотекой", накопленной за 70 лет добычи полезных ископаемых, которую она не могла решить из-за отсутствия необходимых ресурсов (World Bank). Надлежащее обращение с экологическими обязательствами было ключевым вопросом в ходе переговоров, особенно в случае ККМ, которая стала движущей силой, определившей обсуждение вопроса об обращении с экологическими обязательствами после приватизации следующим образом (World Bank). Несмотря на масштабы и серьезность воздействия на окружающую среду и здоровье населения, задокументированные в EISs, консорциум KCM не желал брать на себя какую-либо юридическую ответственность за исторические экологические обязательства, особенно за воздействие на население и экосистемные функции в нижнем течении.

Падение цен на медь привело к падению годового производства до 2•105 Т. После завершения приватизации горнодобывающего сектора Замбии в 2000 г. добыча полезных ископаемых в стране ведется преимущественно частным сектором.

По информации, предоставленной крупными горнодобывающими компаниями, Министерством горнорудного и минерального развития и другими правительственными учреждениями, медь и кобальт являются основными сырьевыми товарами, производимыми в Замбии. Производство меди возросло с 2000 года, достигнув уровня 5,7•105 т в 2007 г. (Kamona et al, 2002). В 2009 г. это были пять компаний, производящих медную руду, медный концентрат и/или кобальт, особенно в провинции Коппербельт. Компании, инвестирующие в крупные медные рудники, представлены в таблице ниже (The Geological Mapping).

Согласно данным, представленным крупными горнодобывающими компаниями, медь и кобальт были основными сырьевыми товарами, произведенными в Замбии. В 2012 г. объем производства составил 6,8 •105 т меди и 2•103 т кобальта (Manda, B.k, 2010). В 2013 г., производство составило 7,4 •105 т меди и 2•103 т кобальта (Minerals Engineering, 1989).

В 2015 г. Как показан в таблице 3, объем производства составил ~7,1•105 (2014 год; 7,1•105 т) т меди. Также в 2015 г. добывающими компаниями Замбии было добыто ~1•105 (2014;159 151). 103 т угля, 3,6 •104 кг (2014; 6,3•103) изумрудов и 4•103 т (2014; 5,4•103) золота (ZEITA, 2009).

Четыре крупнейшие горнодобывающие компании Замбии— медные рудники Конкола и медные рудники Мопани из провинции Коппербельт, а также Кансанши и Лумвана из Северо— Западной провинции— обеспечивают более 85% производства меди в Замбии (U.S. Geological Survey, 2010). Производство меди незначительно выросло на 0,3% с 7,1 •105 до 7,1•105 т в 2015 г.. Этому предельному росту способствовало начало добычи на шахте Калумбила, которая принесла 3,2•104 млн т) меди. Поскольку запасы действующих шахт в Замбии не сообщаются ГСД, невозможно получить точное представление о запасах на отдельных шахтах.

Производство меди неуклонно растет с ~5,1•105 т в 2007 г. до пика в ~9,97•105 т в 2013 г. (ZEITA, 2013). Однако производство снизилось в 2014 и 2015 годах из— за снижения цен на медь. Горнодобывающая промышленность, стимулируемая ростом в Китае, Индии и других развивающихся странах, с тех пор восстановилась, и, по оценкам, производство меди в Замбии в 2010 г. достигло примерно 7,20•105 т, что в последний раз достигалось в 1970— х годах (ZEITA, 2012).

Согласно отчету ZEITI, по горнодобывающему сектору, в 2016 г. производство меди в Замбии достигло 7,3•105 т, а производство кобальта — 8,3•104 т (ZEITA, 2016) {БЫЛО — 2•103 т кобальта (Minerals Engineering, 1989). Производство меди в 2017 г. выросло на 3,5 % до 8•105 т (ZEITA, 2017). По (ZEITA, 2018) производство меди выросло на 7,6% до ~8,6•105 т в 2018 г. с ~8•105 т в 2017 г.. Добыча угля также увеличилась на 65,2% до ~3,4•105 т с 2,1•105 т в 2017 г.. Это произошло в результате увеличения добычи на большинстве крупных рудников (ZEITA, 2018).

Таблица 2 Суммарное производство: меди, кобальт и угля, т в год в 2011— 2019 годах (Zeiti-Report-2013-2018; The Mineral Industry Of Zambia, 2016; KPMG International)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Год | Суммарное производство меди,  103 т в год | Суммарное производство кобальта,103 т в год | Суммарное производство углях, 103 т в год | Суммарное производство: меди, кобальт и угля, 103 т т в год |
| 2011 | 819 | 6 | 415 | 1240 |
| 2012 | 681 | 2 | 90 | 773 |
| 2013 | 997 | 6 | 415 | 1418 |
| 2014 | 708 | 5 | 159 | 872 |
| 2015 | 711 | 3 | 103 | 817 |
| 2016 | 725 | 0,8 | 59 | 784,8 |
| 2017 | 797 | 3 | 208 | 1008 |
| 2018 | 857 | 2 | 344 | 1203 |
| 2019 | 807 | 379 | 335 | 1521 |
| Итог | **7102** | **403,8** | **2128** | **9641** |

По данным (ECCP, 2008) Медеплавильного производства по странам: Топ— 20 стран в 2019 г.: Замбия на 7— м месте. Как показано на диаграмме, ДРК не входило в топ— 20 стран по выплавке металла. Следует также отметить, что Замбия как Россия входила в Топ— 20 стран по производству рафинированной меди в 2019 г. (ECCP, 2008).

В Замбии залежи урана имеются в различных геологических условиях. Производство оксида урана (UO) в Замбии было ограничено только 1,2•105 кг, добытыми на шахте Нкана в 1957— 59 годах. Ограничения ураны связано с тем, что добыча урана сопряжена с новыми и ранее неизвестными проблемами экологического регулирования в Замбии. Тот факт, что добыча урана сопряжена с серьезными рисками как для окружающей среды, так и для населения, требовал, чтобы она была ограничена до тех пор, пока не появится соответствующее оборудование и не будут приняты соответствующие меры по эксплуатации. В настоящее время один урановый проект уже одобрен природоохранным органом, и за ним обязательно последуют другие (Lindahl, 2014). однако утвержденный урановый проект еще не начал добычу из— за низких цен на сырье. Существует опасение, что проекты с значительным риском утверждаются без правильных условий, при которых проект должен функционировать.

**2.1.1** **История добычи полезных ископаемых компанией в Провинции Коппербельте за последнее десятилетие.**

В 2014 г. на рудниках Чамбиси было произведено 4,3•103 т кобальта тогда, как в 2015 г. — ~3•103 (The Mineral Industry Of Zambia, 2015). В 2016 г. компания произвела ~4,7•103 т кобальт (The Mineral Industry Of Zambia, 2016). Увеличение добычи было связано с большим извлечением переработанных хвостов на руднике ERG Босса в Демократической Республике Конго [Конго (Киншаса)], которые были переработаны в Чамбиси. Четыре прямые (или косвенные) китайские компании по добыче цветных металлов (смешанная камеруно— нигерийская комиссия) в 2014 г. произвели ~3•105 меди то тогда как, ~9,3•104 т в 2015 г. (U.S. Geological Survey, 2012). Снижение производства объяснялось недостаточным энергоснабжением.

В 2010 г. Konkola Copper Mines plc (KCM) произвела 2•105 т меди тогда как - 2•105 т в 2011 году (U.S. Geological Survey, 2011). Из общего объема продукции KCM 69% было получено из медной руды, добываемой компанией.

В 2014 г. на медных рудниках Шахты Конкола (KCM): Нкана и хвостохранилище Нчанга было произведено 1,9•105 т катодной меди т тогда, как в 2015 г. — 1,8•105 (The Mineral Industry Of Zambia, 2015). Еще в 2014 г. было произведено 1,2 •105 т меди, содержащейся в добытой руде, тогда, как в 2015г. —1,2•105 т (The Mineral Industry Of Zambia, 2015). Увеличение производства медных было связано с большей доступностью оборудования на Нчангском хвостохранилище выщелачивания. В 2016 г. было произведено в общей ~1,8 •105 т катодной меди на НПЗ Нкана и заводе хвостового выщелачивания Нчанга. В 2017 г. было произведено 1,1•105 т меди, содержащейся в добытой руде (The Mineral Industry Of Zambia, 2016). Снижение добычи меди произошло в основном из— за того, что подземный рудник Нчанга находился в состоянии ухода и технического обслуживания большую часть 2016 г.

В 2010 г. компания Mopani Copper Mines Plc, на медных рудниках Муфулира и Нкана произвела 94 400 т меди и 800 т кобальта тогда как -1•105 т меди и ~6•102 т кобальта, в 2011 г. (Minerals Yearbook, 2011) Снижение производства кобальта было связано с более низкими качества кобальта в переработанной руде и тем, что кобальтовая жаровня Нкана была переведена в состояние ухода и технического обслуживания (Minerals Yearbook, 2011).

В 2014 г. на медных рудниках Мопани было произведено ~1,1·104 т меди, тогда, как в 2015 г. — 9,2·104 т, что на 16% меньше. Также на медных рудниках Мопани было произведено дополнительно 9,3 •104 т меди из руды, в 2015 г. (The Mineral Industry Of Zambia, 2015). Снижение производства медного металла объяснялось частичной приостановкой работы плавильного завода.

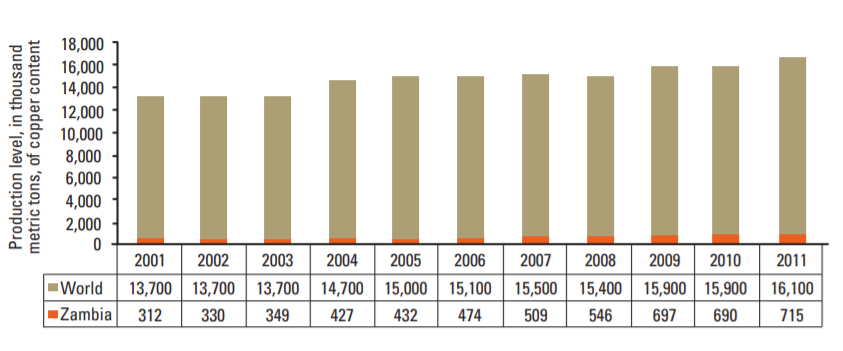


Рис 13 показаны уровни производства меди в Замбии по сравнению с мировыми уровнями 2001— 11 годов (KPMG, 2014).

Таблица 3 Тип шахты практикуется некоторыми горнодобывающими предприятиями в провинции Коппербельт и их емкость по добыче медных руд, в 2015г. (The Mineral Industry Of Zambia, 2015).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Название Рудник | Тип Рудник | Емкость по добыче медных руд, в 105 т | Количество полученных выплавки, в 103 т | Доля добытого металла из руды в % |
| Chibuluma Mines plc | Подземная добыча полезных ископаемых (Chibuluma south) | 6 | 19 | 3,2 |
| Konkola Copper Mines plc | Подземная (Нчанга и Чингола) и открыто (Нчанга и Чингола) добыча полезных ископаемых) | 45 | 61 | 1,36 |
| Mopani Copper Mines plc ( | подземная (Муфулира и Нкана) и открыто (Нкана) добыча полезных ископаемых)  Выщелачивание -муфулирский медеплавильный завод (650 м) | 55 | 98 (Вышелачивание-12 т меди) | 1,8 |
| NFC Africa Mining plc -Chambishi Main Mine | Подземная и открыто добыча полезных ископаемых) | 22 | 50 | 2,3 |
| Lubambe Copper Mine Ltd. | Подземная добыча полезных ископаемых | 25 | 23 | 0,92 |

**2.1.1 Экологические проблемы, возникающие в результате горнодобывающей деятельности**

Добыча полезных ископаемых привели к загрязнению воздуха, воды и земли. До 1980 года мало внимания уделялось экологическому воздействию горнодобывающей деятельности в Замбии. Загрязнение и ухудшение состояния окружающей среды, а также их воздействие на здоровье населения и экосистемные функции рассматривались как приемлемый компромисс с учетом экономических выгод и рабочих мест, обеспечиваемых добычей полезных ископаемых. Только с середины 1970— х годов, гражданское общество и правительства стали все больше осознавать необходимость смягчения долгосрочных экологических последствий промышленной деятельности для поддержания качества жизни. Однако низкие экономические показатели горнодобывающего сектора Замбии в 1980-х и 1990-х годах привели к все более неудовлетворительному решению экологических проблем, связанных с добычей полезных ископаемых. В результате накопилась огромная "экологическая ипотека", которую необходимо было решить после принятия решения о приватизации горнодобывающих активов (World Bank ).

Основными экологическими проблемами на Коппербельте являются плохая городская санитария, незапланированное городское развитие и вредные сорняки, возникающие в результате эвтрофикации водных путей сточными водами. Однако основные экологические проблемы, связанные с добычей полезных ископаемых в Коппербельте является загрязнение воздуха, загрязнение почвы и Загрязнение воды.

Основной экологической проблемой, связанной с исторической добычей полезных ископаемых, является серьезное загрязнение почвы в результате плавки и выбросов пыли из отвалов. Содержание свинца в почвах при нормальной условия составляет ~260 мг/кг в наиболее загрязненных районах, высокое содержание также можно обнаружить в сельскохозяйственной продукции (Czech Geological Survey , 2007). Уровень загрязнения почвы может быть таким повышенным до ~260 из— за богатых минеральных почв медного пояса.

С начала 20 века промышленная добыча меди переместила земли ~206 465 гаи радикально изменила ландшафт Коппербельта. Несмотря на значительные изменения в почве, воздухе и воде этого района, экологические аспекты добычи меди в значительной степени игнорировались до начала 1990— х годов (Peša I. 2018 ).

Экологические проблемы, непосредственно связанные с прошлыми горными работами в Коппербельте, в значительной степени связаны с горными свалками. Согласно 3-му докладу Замбийского агентства по управлению окружающей средой (ECZ, 2008), существует по меньшей мере 21 отвал отработанных пород с 7,7•107 т отходов, образовавшихся в результате подземной шахтной разработки, занимающий площадь более 388 га, 9 отвалов шлака, содержащих 4•107 т отходов -площадью 279 га; и, наконец, более 45 хвостохранилищ, содержащих 7,9•108 т, занимающих площадь ~ 9,1·103 га, и в итоге 2,2•105 га были покрыты вскрышными породами, хвостами слизней и отвалами отработанных пород, занимающими земли (Simutanyi, 2008;J. Sikamo et al,2016). Подземная добыча полезных ископаемых также повлияла на окружающую среду, затронув площадь в 4·103 га, которая подвержена просадке и, таким образом, защищена (ECZ, 2008;J. Sikamo et al,2016). В целом, более 5•104 га в Медном поясе покрыты минеральными отходами и, таким образом, представляют собой «потерю возможностей» для местного населения с точки зрения другого землепользования, такого как: сельское хозяйство 2,2•105 га, лесное хозяйство, жилье, разведение скота и т.д. (ECZ, 2008;Simutanyi, 2008;J. Sikamo et al,2016).

Шахтовые отходы, содержащие сульфидные минералы, являются потенциальным источником кислотного дренажа шахт (ВМД), если они подвергаются воздействию кислорода и воды. Кислота образуется, когда сульфидные минералы подвергаются окислению, и если нейтрализующая способность окружающей породы слишком мала, чтобы буферизировать полученную кислоту, результатом будет низкий рН воды с повышенным содержанием металлов. Как правило, геология в районе Коппербельта обогащена карбонатами, которые действуют как буфер против подкисления. Однако кислотные шахтные дренажные воды являются общей чертой медного месторождения, поскольку в некоторых районах почвы значительно минерализованы, поскольку кислотный шахтный дренаж является одной из самых сложных проблем, связанных с отходами шахт.

Единственным крупным исключением является бывший рудный склад площадью 2 гектара в Чибулуме к западу от Китве (ZCCM, 2005). Дренажная вода из этого района имеет рН 2— 3 и высокое содержание в основном меди и кобальта. Ни один человек не проживает в пределах загрязненной территории или в непосредственной близости к северу от загрязненного водотока (ZCCM, 2005 ; Environment Outlook Report, 2010). Помимо дренажа кислотных шахт в Чибулуме и проблем деградации земель, описанных выше, все исторические рудники, естественно, также вызывают другие экологические последствия, такие как выпадение пыли и сброс взвешенных твердых веществ в поверхностные воды. Однако обширное исследование утверждает, что вклад старых участков добычи полезных ископаемых является незначительным, по сравнению с текущими операциями по добыче полезных ископаемых (ZCCM, 2005 ) .

Согласно отчету агентства по охране окружающей среды Замбии, в 2010 г. содержание мышьяка в свежих сельскохозяйственных продуктах из листьев маниоки и сладкого картофеля достигает 7 мг/л (14 раз больше доля ПДК—0,5 мг/л ) кобальта— 18,9 мг/л ( 37,8 раз больше доля ПДК-0,5 мг/л) , меди— 253,8 мг/л (169,2 раз больше доля ПДК—1,5 мг/л) , никеля— 3,4 мг/л, свинца— 5,04 мг/л ( 10,08 раз больше доля ПДК—0,5 мг/л)  и цинка— 161 мг  (Environment Outlook Report, 2010). Установлено, что высокое содержание микроэлементов в почвах наряду с выбросами оксидов серы является причиной резкого снижения сельскохозяйственного производства кукуруза, маниока и сладкого катофеля в загрязненных районах Муфулира, Нкана, Китве Чингола Калулуши Чилилабомбве Чамбиши. Также, листья и корни маниоки и сладкого картофеля, выращенные на загрязненных участках Коппербельта, содержат повышенные концентрации металлов, в то время как огороды на заднем дворе поражаются некрозом из-за накопления тяжелых металлов в почве и SO2 на листьях растений. Исследование концентраций SO2 в дымовых газах и на коре австралийского красного кедра в Коппербельте показало уровни 1402 мкг/л в сырых дымовых газах (превышающие пороговое значение 1000 мкг/л) почти на расстоянии 25 км от источника выбросов (Mwansa, Chalwe C., 2016). Недавние инциденты со случайными прорывами выщелачивающих резервуаров горнодобывающих компаний привели к тому, что более 100 гектаров кукурузы и овощных культур были уничтожены выбросами SO2 вдоль дорог Китве-Чингола на Коппербельте (Norrgren U. et al., 2000).

Большинство исследований показали, что поверхностные образцы почвы содержат в десять 50 раз более значительные концентрации меди, чем подповерхностные образцы в большинстве медных сплавов (Mwansa, Chalwe C., 2016). Загрязнение почв и растительности, в том числе сельскохозяйственной продукцией, от добычи полезных ископаемых происходит в основном за счет осаждения пыли, а также стока с отвалов шахт.Корнеплоды содержат больше свинца, чем листовые или плодовые культуры. В менее загрязненных районах Медянки только листья маниоки и сладкого картофеля содержат повышенные концентрации металлов. Однако в сильно загрязненных почвах даже корни показали высокую концентрацию металлов. Люди, проживающие в некоторых районах Китве на Коппербельте, не могут выращивать огороды на заднем дворе, которые страдают от некроза из-за накопления тяжелых металлов в почве и SO2 на листьях растений (Mwansa, Chalwe C., 2016).

согласно отчету, ориентировочное соотношение меди в поверхностных почвах к подповерхностным почвам в районе Китве, который является основным районом добычи полезных ископаемых, указывало на более значительные положительные значения в диапазоне от— 2х до +50х (Environment Outlook Report, 2010). Большая часть медной коры имеет в 50 раз более значительные концентрации меди в поверхностной почве, чем в подповерхностных (Mwansa, Chalwe C., 2016). Положительные значения указывали на то, что медь была выше в поверхностных почвах, чем в подповерхностных почвах (под землей). Тот факт, что это соотношение было высоким, например, вблизи плавильного завода и отвалов, указывал на то, что медь поступала из районов горнодобывающей промышленности. Как показано, Загрязнение от продолжающихся горных работ еще более усугубляется переносимыми ветром частицами пыли (от сухих хвостохранилищ), приводящими к накоплению металлов (меди, кобальта и других элементов) в почве (Mwansa, Chalwe C., 2016).

Кроме того, за десяти лет произошло дальнейшее загрязнение почвы в результате горных работ, химических и нефтяных разливов (World Bank ). Почву с участков, загрязненных нефтью, содержащей ПХД, избыточные химические вещества или другие опасные отходы (включая радиоактивные отходы и асбест), следует надлежащим образом утилизировать.

В Замбии на горнодобывающую промышленность приходится более 98% выбросов оксидов серы в стране которые вызвали кислотные дожди, эрозию почвы, повреждение сельскохозяйственных культур и загрязнение воздуха и воды (Kříbek et al., 2014;Mwansa, Chalwe C., 2016). В начале 2000-х годов общий выброс оксидов серы составлял 3,5·105 т/год (ECZ, 2008), более 98 процентов, из которых приходится на горнодобывающую промышленность. Концентрация SO2 в воздухе колеблется от 500 до 1000 мкг/л, что значительно превышает замбийский норматив в 50 мкг/л (ECZ, 2008; Lindahl, 2014; Mwansa, Chalwe C., 2016). Основными загрязнителями являются диоксид серы (SO2), оксиды азота (NOx), твердые частицы, окись углерода (CO), пыль, углекислый газ, неприятные запахи и черный дым (ZCCM, 2005; Mwansa, Chalwe C., 2016). Выбросы SО2 из плавильного завода преобразуются в HS04 (серную кислоту), а затем воздействуют на почву и вызывают потерю растительности с подветренной стороны выбросов дымовых труб плавильного завода. Деятельность по выплавке меди на Медной коре приводит к выбросам в атмосферу от 3·105 до 73·105 тонн в год, что значительно превышает установленный ВОЗ лимит в 1,3·105 тонн в год (Lindahl, 2014; Mwansa, Chalwe C., 2016).

Основными отраслями промышленности, способствующими загрязнению воздуха, являются плавильные заводы в Чамбиши, Муфулире и Чинголе (Kříbek et al., 2014;ECZ, 2008;Mwansa, Chalwe C., 2016). Твердые частицы размером менее 10 мкм (ТЧ10), образующиеся на плавильных заводах, а также пыль хвостохранилищ и грунтовых дорог оказали значительное воздействие на окружающую среду в результате воздействия кислых паров. В районах к северо-западу и западу от крупных плавильных заводов Нкана и Муфулира концентрация SO2 составляет от 500 до 1000 мкг/л, что превышает замбийский норматив в 50 мкг/л (Mwansa, Chalwe C., 2016). Так обстоит дело с большинством жилых районов в городах Коппербельт Муфулира и Китве.

Некоторые хвостохранилища расположены вблизи населенных пунктов, и их разрушение может привести к значительному физическому ущербу, экологическому ущербу и даже гибели людей.

Воздействие загрязнения от горнодобывающей деятельности усугубляется тем фактом, что почти 90% населения — Коппербельта— это городские жители, живущие вблизи шахтерских районов. Это привело к концентрации спроса на природные ресурсы, такие как вода, энергия и продовольствие, в таких городах, как чингола и китве. Из— за конкурирующего спроса на воду со стороны промышленности и домашних хозяйств шахтерские города столкнулись с проблемой нехватки количества воды для населения. Таким образом, устойчивое использование водных ресурсов стало проблемой в связи с увеличением количество горнодобывающих компаний, получающих лицензии на добычу полезных ископаемых.

Основными загрязнителями поверхностных вод в Китве являются кобальт, медь, марганец, сульфаты, кальций, железо и магний (Environment Outlook Report, 2010). Река Кафуэ показала очень значительные концентрации (<0,45 мкм) растворенной меди и кобальта в районах добычи (Mwansa, Chalwe C., 2016). РН сбрасываемых сточных вод колеблется, что приводит к выделению металлов из донных отложений ручья. Сток и утечка из существующих отвалов отработанных пород и хвостохранилищ загрязняют потоки, вытекающие из лицензий на добычу полезных ископаемых, вызывая широкое негативное воздействие вниз по течению от шахт, которые простираются до реки Кафуэ и затрагивают водно— болотные угодья и притоки (Environment Outlook Report, 2010). Загрязнение оказывает воздействие на здоровье человека и экологические функции.

В последнее десятилетие средние концентрации тяжелых металлов в бассейне реки Кафуэ превышали предельные значения для сточных вод и сточных вод, особенно в районах добычи полезных ископаемых (Pourret et al., 2016)[36]. Вода, откачиваемая из шахты и сбрасываемая в водную систему водоснабжения, часто загрязнена. Токсичные металлы, такие как свинец, ртуть и мышьяк, содержатся в кислотных шахтных дренажах (ВМД), которые, если их должным образом не обработать перед сбросом в реку, могут оказать долгосрочное пагубное воздействие на окружающую среду и здоровье человека (Environment Outlook Report, 2010; (World Bank ).

Главной экологической проблемой в медном поясе является загрязнение воздуха. Согласно исследованию, проведенному в 2000 г. информационной сетью по загрязнению воздуха для Африки, значительным общим объемом выбросов в Замбии были выбросы ТЧ10, которые составляли 4.1·105 т/г) и составляли 35% от общего объема выбросов, SO2-3,6·105 т/г (31%), PM2-2,5·104 т/г, выбросы NOx-7,3·104 т/г. (ECZ, 2008).

Медеплавильные заводы выделяют от 3•105 до 7•105 т диоксида серы (SO2) в год. SO2 может серьезно повлиять на здоровье соседних популяций (особенно респираторные проблемы). Плавильный завод Муфулира не было оборудован для улавливания каких— либо выбросов SO2. В начале 2000-х годов общий выброс оксидов серы составлял 3,5·105 т/год (ECZ, 2008), более 98 процентов, из которых приходится на горнодобывающую промышленность, в основном на медеплавильные заводы. Значительные концентрации оксидов серы непосредственно влияют на здоровье человека, также и биоты. Окислы серы (SOx) могут раздражать дыхательные пути и усугублять астму, эмфизему и бронхит. От плохого качества воздуха серьезно пострадали районы к северо-западу и западу от Крупных заводов Нкана и Муфулира. Измерения, проведенные в этих районах, показали концентрацию SOх между 500 и 1000 мг/м3 (ZCCM, 2005), которая многократно превышает допустимое годовое значение в 50 мкг/м3 (EPPC, 2012).

Горнодобывающая промышленность также потребляет ископаемые виды топлива, такие как уголь, мазут, дизельное топливо и бензин, чтобы поддерживать свою деятельность (Environment Outlook Report, 2010) . В 2015 г., согласно исследовапние (ERB, 2016) потребление нефти в горнодобывающем секторе составило 22% от общего национального потребления. Потребление ископаемого топлива приводит к выбросам парниковых газов, а именно CO2, CO и NOx. Кроме того, выбросы от переработки полезных ископаемых включают диоксид серы (SO2), взвешенные частицы, мышьяк, кадмий и свинец. Эти выбросы могут вызвать проблемы со здоровьем, такие как респираторные и кожные заболевания.

Другими экологическими воздействиями в горнодобывающей промышленности являются образование кислотных дождей и вырубка лесов. Кислотные дожди возникают в результате реакции выбросов диоксида серы с дождем в атмосфере, который образует слабую кислоту и, в свою очередь, снижает плодородие почвы, тем самым ставя под угрозу производство сельскохозяйственных культур

По исследование (Lees, 1962) В 1960— х годах, медная промышленность в большей степени зависела от природных лесных массивов для добычи древесины и столбов, а также древесного топлива для производства электроэнергии и древесного угля на нефтеперерабатывающих заводах. Например, в 1947— 56 годах для выработки электроэнергии было вырублено ~ 1,3•105га лесных массивов (World Bank )

В 2001 г. по данным ECZ 2001 районы Вусакили и Нкана испытали загрязнение атмосферы. Это было связано с процессом плавки концентратов и производством кислоты, которая выбрасывала оксиды серы в атмосферу. Выбросы диоксидов серы (SO2) на плавильных заводах достигали в среднем 70 мкг/м3 ежегодно, что отрицательно сказывается на растительности, а также на имуществе в подверженных риску районах (Environment Outlook Report, 2010) .

Различные исследования показали, что тяжелые металлы и параметры качества воды находятся выше допустимых пределов в водоемах вблизи мест добычи полезных ископаемых на Замбийском Коппербельте (ZCCM, 2005;Lindahl, 2014;Auditor General Report, 2014).

Отчет округа Китве за 2010 г. показал (Environment Outlook Report, 2010) , что добыча полезных ископаемых, продолжавшаяся в течение длительного времени, имела значительные экологические и социальные последствия следующим образом:

* Подземные воды могут быть загрязнены взвешенными веществами, нефтью и фильтратом. При закачке на поверхность он может загрязнять поверхностные водные объекты;
* Хранение, транспортировка и использование масел, реагентов и т.д. приводят к потенциальному загрязнению почв и подземных вод;
* Сточные воды или сточные воды могут вызывать загрязнение в результате разливов и переполнений при промывке руды и вымывании мелких частиц из отвалов и рудоперерабатывающих предприятий. Сбросы шахтных вод могут содержать Взвешенные и растворенные твердые вещества, которые могут могут оказывать воздействие на местные водотоки;
* Добыча полезных ископаемых производит отходы горных пород, которые требуют соответствующей утилизации для предотвращения загрязнения окружающей среды путем просачивания загрязненной воды из отвалов горных пород;
* Хвостохранилища могут оказывать воздействие на окружающую среду в результате выщелачивания кислот и тяжелых металлов в водные ресурсы и выбросов пыли. Поскольку хвосты транспортируются по трубам, разрывы трубопроводов могут привести к загрязнению окружающей среды;
* Шлак — это отходы, образующиеся при выплавке концентратов. Он также может выщелачивать тяжелые металлы в водные объекты; и

Исследование (Lindahl, 2014) показало, что из шахты Конкола в реку Кафуэ сбрасывается 15000 тонн ила в год, а из шахты Нчанга-91000 тонн в год.

Исследования Мундайка (2004) по загрязнению ручья Мункулунгве показали, что пострадали более 300 мелких фермеров, чья жизнедеятельность зависит от этого ручья. Местная община жаловалась на то, что выбросы в результате выщелачивания из шахт Бвана Мкубва влияют на их поголовье скота, урожайность сельскохозяйственных культур, кислотность почвы и доступ к пресной воде для домашнего использования.

Сравнение нескольких пробах рыбы, найденных в незатронутых водах выше по течению от горных работ и ниже по течению в затронутых водах, показало повышенные концентрации кобальта и меди наблюдали, что трехспотовая тилапия (рыба в клетке) обнаруживала биоаккумуляцию тяжелых металлов в течение двух недель после воздействия горных работ.

**2.2 История горнорудная промышленность в регионе Катанге (ДРК)**

Наиболее важными минералами для ДРК являются кобальт, медь и алмазы. По данным USGS, в 2010 г. доля страны в мировом производстве кобальта составила 51%, промышленных алмазов— 25%, тантала— 14%, алмазов ювелирного качества — 5%, медь—3% и олова— по 3% (KPMG, 2014). Страна также производит некоторое количество золота, олова, железа, никеля и тантала. По оценкам USGS в 2012г. И 2020г., запасы меди в ДРК, как и в Замбии составляют 19 млн т и 20 млн т соответственно; что составляет ~2,2% от общемировых известных запасов в мире -690 млн т и 870 млн т соответственно; и также поставит ДРК на одном место c Замбию (10 место в мире) по запасом меди (US Geological Survey, 2012;USGS). Проведенная в 2014г. Геологической службой США оценка месторождений меди показала, что выявленные ресурсы содержат ~2,1 миллиарда тонн меди, а неизвестные ресурсы ~3,5 миллиарда тонн (USGS). Геологическая служба США указала в сводках по сырьевым товарам за 2020г., что запасы меди в нескольких странах мира были пересмотрены в соответствии с минеральными данными, предоставленными горнодобывающими компаниями или правительствами.

Выявленные мировые наземные ресурсы кобальта составляют ~25 млн т (Было по разному, в частности в мире имеется 7,5 млн т) известные запасы кобальта. Подавляющее большинство этих ресурсов находится в отложениях страти-формных месторождений меди в Конго (Киншаса) и Замбии. По оценкам USGS в 2020 г., Запасы кобальта составляют 3,6•106 т, 50% из известных в мире 7 млн т что поставить ДКР на первом месте по производстве кобальта в мире (104 тыс.-100 тыс. т. в год) (The Geological Mapping;USGS). USGS Запасы кобальта для нескольких стран были пересмотрены на основе отраслевых отчетов (USGS).

Провинция Катанга, на юго— востоке Демократической Республики Конго, был местом интенсивной горнодобывающей деятельности на протяжении веков. В колониальный период, когда ДРК была колонизирована Бельгией, добыча меди (Cu) и кобальта (Co), а также урана (U) представляла собой один из основных источников доходов бельгийского правительства. В Конго известны месторождения нефти, природного газа, битуминозных песчаников, руд железа, вольфрама, золота, меди, ниобия, олова, свинца, тантала, цинка, фосфоритов, алмазов и калийных солей (Studopedio).

Таблица 4 Основные параметры, характеризующие работу, некоторых горнодобывающих предприятий в провинции Катанге: Емкость по добыче медных руд в год и запасы, среднее производство меди в год, и доля добытого его из руды в 2015г

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Запасы руд или название Рудник | Емкость по добыче медных руд и запасы, в 105 т | Количество выплавки меди, в 103 т | Доля добытого меди из руды |
| Неопротерозойский бассейн. Минерализация —свыше 1 x 109 т руды (ZEITA, 2018). Запасы пояса 3 x 109, добыто >1 x 109 (Mining In Africa’s , 2014) | <3 ·104 | >1·106 | >0.3333 |
| запасы меди, (USGS) | 19-20 млн т запасы из известных в мире 490 млн т | 979 (среднее суммарное количество добывается в год | 0,0515-0,0489 |
| Tenke Fungurume Mining SARL | 225 | 200 | 0,8889 |
| Mutanda Mining SPRL | 220 | 17 | 0,0773 |
| Ruashi Mining SPRL | 38 | 35 | 0,9211 |
| MMG Ltd. Кинсевер шахты | 80 | 80 | 1 |
| Kamoto mine | 250 | 113 | 0,452 |

Однако промышленная эксплуатация природных ресурсов Катанги началась в начале XX века, а промышленная добыча полезных ископаемых началась в Элизабетвилле (Лубумбаши) в 1907 г. Контролируемый бельгийским обществом "Société Générale de Belgique", а также компанией "Tanganyika Concessions Ltd", Союз Minière du Haut Katanga (UMHK) был создан в 1906 г., после того как в этом регионе был обнаружен ряд богатых месторождений меди. Первоначально у UMHK были проблемы с началом работы из— за географической изоляции района и отсутствия местной и стабильной рабочей силы (Cuvelier J., 2011). Однако, как только компании удалось решить эти две проблемы, построив железную дорогу до Атлантического побережья (EPPC Act, 1990), она стала одним из крупнейших производителей меди и кобальта в мире. UMHK открыл несколько шахт, диверсифицировал производство, создал дочерние предприятия по поставкам электроэнергии, угля и серной кислоты, транспортировке и т.д. В 1959 г. ежегодное производство UMHK достигло 280 млн т меди, 118 млн т цинковых концентратов, 8,4 млн т кобальта, 148 т серебра, 14 т германия и значительного количества свинца, марганца и радия (Lindahl, 2014). В колониальный период УМХК удалось превратить Катангу из региона, характеризующегося экстенсивным сельским хозяйством, в модель горнодобывающей промышленности, одновременно превратив саванну в урбанизированный район с фабриками, миссионерскими станциями и школами (Cuvelier J., 2011).

Экономическое развитие с 1900 года привело к созданию комплекса горнодобывающих и промышленных городов, транспортных и коммуникационных сетей. Из— за этого регион является самым высокоиндустриальным в Конге за пределами Киншасы, национальной столицы (Britannica Katanga).

С минералами, содержащими в среднем 65% U235, Шинколобве представлял собой одно из богатейших урановых месторождений в мире. открытие урана в Катанге имело значительные последствия для окружающей среды, частично для воды и почвы, особенно во время Второй мировой войны, когда резко возрос спрос на уран.

В 1960— х годах, после того как ДРК получила независимость, здесь были как открытые карьеры, так и подземные шахты с промывочными установками и обогатительными фабриками, что приводило к образованию крупных хвостохранилищ. такие минералы, как медь и кобальт, были очищены на нескольких гидрометаллургических заводах и плавильных заводах, которые также производили цинк (Zn), мышьяк (As) и кадмий (Cd) в качестве побочных продуктов (Minerals Engineering, 1989). В 1967 г. UMHK был захвачен Заирским государством. Название Катангского горного завода последовательно менялось с Gécomin (General congolese des minerais) на Gécomines (Généralecongolaise des Mines) и, наконец, на Gécamines (Générale des Carrières et des Mines) (Cuvelier J., 2011). Отделение Катанги, провозглашенное 1960 года, явилось результатом сговора между интересами добычи меди, бельгийским правительством и местными политическими деятелями, выступавшими за сохранение иностранного контроля над рудниками в регионе (Cuvelier J., 2011).

Национализация самой крупной горнодобывающей компании Заира имела неоднозначные последствия. С одной стороны, это отразилось на экономике, с другой— привело к небрежному отношению к экологическим проблемам, вызванным шахтами. Целью правительства было максимизировать прибыль. Поэтому воздействие на окружающую среду, такое как загрязнение воздуха, не принималось во внимание. оборудование устарело, а экологические обязательства в виде хвостохранилищ, загрязнения воды и загрязнения почвы стали еще более выраженными.

Компания гекамины (GECAMINES), которая является основным горнодобывающим предприятием в Республике Заир, в 1982— 1996 производил по среднем 4.7•105 т меди и 1,5•104 т кобальта и занимал пятое место по величине производителя меди и основного производителя кобальта в мире (Minerals Engineering, 1989). гекамины (Gecamines) владели концессионными правами на территорию площадью 1,8•104 км2, которая простирается с востока на запад от Лубумбаши— Ликаси— Колвези в провинции Шаба в южной части Заира на 300 км в длину и 60 км в ширину (Minerals Engineering, 1989). В 1986 г. гекамины (Gecamines) достигли исторического пика производства с 476 млн т меди, 14,5 млн т кобальта, 64 млн т цинка и занятостью 3,3•104 рабочих ( Kitungano, 2008).

Начатая в 1994 г. программа сосредоточения внимания на производстве кобальта с повышеной удельной стоимостью дала некоторую отдачу, поскольку добыча кобальта на рудниках увеличилась на 25%, а очишение кобальт с упором на переработку накопленных гидратов кобальта увеличился на 52% в 1996 г. по сравнению с 1995 годом, однако с истощением запасов и снижением производительности в результате войны производство очищеного кобальта сократилось на 50%, до 3•103 т, в 1997 г. (Горная Энциклопедия).

Подземные шахты включают в себя: подземная шахта Кипуши расположена в 30 км к востоку от Лубумбаши и является самой старой шахтой, работающей в компании; Подземный рудник камбове. Камбове расположен 25 км к северо— востоку от Ликаси и Рудник камото который является крупнейшим из всех подземных рудников Гекаминов и добывает исключительно сульфидную руду с годовой мощностью 3,2 млн т руды с содержанием меди 4,17% в марке (Minerals Engineering, 1989). В этой шахте в 1987 г. были использованы три метода добычи, а именно метод подуровневого обрушения (SLC) для извлечения более плоской западной части рудной зоны, которая постепенно заменяется поперечным механизированным методом разрезки и засыпки, и, наконец, восточная часть плоской части добывается комнатным и Столбовым методом (Minerals Engineering, 1989).

Открытые шахты включали в себя открытый карьер Каканда— расположен в 30 км к северо— западу от Камбове и открытых рудниках Колвези. Общая добыча руды на открытых рудниках Колвези оценивалась в объеме от 38 млн м2 в 1987 г. до 40 млн м2 в 1996 г., что соответствует 3,4•105 т меди в 1987 г. и 2,9 •105 т меди в 1996 год (Minerals Engineering, 1989). Рудник Кипуши — это концессия Гекамина, впервые эксплуатируемая в 1926 г. и закрытая в 1993 г. из— за нехватки средств. В конце 1980— х годов этот медно — цинковый рудник производил до 1,4•105 т цинка и 4,3•104 т меди в год (SNC-Lavalin International, 2004).

У Gecamines было 23 совместных проекта, включая разработку месторождений Тенкефунгуруме, которые, как она надеялась, вернут уровень добычи меди до 4•105 т и кобальта до 2,5•105 т к 2000 г. (De Putter, T, 2014). В 2002 и 2003 годах эксперты SNC Lavalin обследовали 39 объектов в горнодобывающих районах Лубумбаши, Ликаси и Колвези и, оценив экологические показатели на 32 из этих объектов, пришли к выводу, что экологическая ситуация на посещенных объектах и в регионе в целом была весьма проблематичной: Из общего числа 32 оцененных объектов 13 (41%) считаются представляющими приоритетные экологические проблемы 1 (требующие немедленных корректирующих мер), а 10 объектов (31%) представляют умеренные приоритетные проблемы 2 (требующие корректирующих мер в краткосрочной перспективе). Наконец, 9 объектов рассматриваются как представляющие мало или вообще не представляющие экологических проблем и требующие мало или вообще не требующие корректирующих мер (приоритеты 3 и 4) (SNC-Lavalin International, 2004)

В 2000 г. ДРК передала ОМГ права на добычу примерно 5•103 т кобальта в год и 9•103 т меди в год— проект, который, как полагают, был осуществлен в Южной Катанге (U.S. Geological Survey, 2000). По данным USGS [103— 107], ДРК "по— прежнему остается ведущим мировым источником добываемого кобальта, обеспечивая более половины мирового производства кобальтовых рудников".

В 2011 г. добыча меди в ДРК увеличилась примерно на 28%, достигнув, по данным USGS, 5,2 •105 т. Это эквивалентно примерно 3,2% мирового производства меди. Производство меди значительно возросло в последние годы благодаря крупным проектам международных горнодобывающих компаний, вступающим в строй. По оценкам USGS, запасы меди в ДРК составляют ~20 миллионов т, что составляет ~2,8% от общемировых известных запасов (KPMG, 2014).

Согласно отчетности, инициатива прозрачности добывающих отраслей (EITI), производство меди в 2014 г. достигло 1,1 млн т. производство кобальта значительно увеличилось с 2014 по 2015 г. и составило ~0,84•106 т,

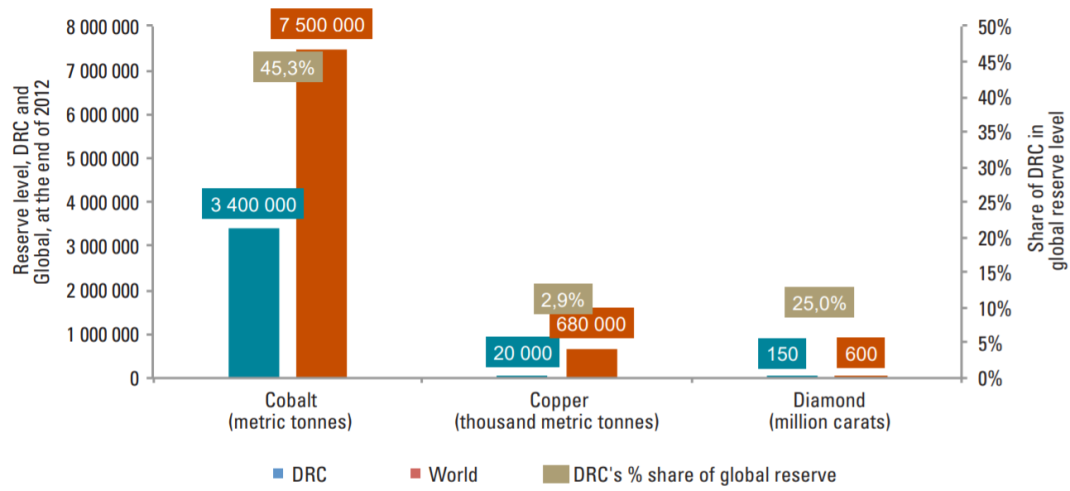


Рис 14 Запасы полезных ископаемых в ДРК, 2012 (KPMG, 2014)

По последним оценкам USGS, в 2012 г. ДРК добыла 55% мирового кобальта и имеет запасы в 3,4•106 т. Tenke, крупнейший добытчик кобальта в ДРК, в 2012 г. произвел 1,2 •104 т кобальта по данным Lundin Mining Corporation, владеющей 24% от Tenke (KPMG, 2014).

В 2010 г. Катанга увеличила мощность на Луилу до 110•104 т/год рафинированной меди с 7•104 т/год, следовательно, объем производства увеличился до ~1,2•105 т очищенной меди и 9•103 т содержащегося кобальта в гидроксиде с 7•104 рафинированной меди и 3•104 т содержащегося кобальта в 2009 г. (U.S. Geological Survey, 2010).

**2.2.1 История добычи полезных ископаемых компанией в регионе Катанге (ДРК) за последнее десятилетие.**

В 2010 г. на проекте Тенке Фунгуруме было произведено 1,2•105 меди и 9.2•103 т кобальта (Minerals Yearbook, 2012). В 2011 г. добыча полезных ископаемых на проекте Тенке Фунгуруме увеличилась до 1,3•105 т меди и 1,1•104 т кобальта [115-116]. В 2012 г. На руднике было произведено 2•105 т/год меди, 1,5•104 т/год кобальта. Таким образом, добыча на руднике Тенке Фунгуруме увеличилась до 1.6•105 т меди и 1,2•105 т кобальта (Minerals Yearbook, 2012). В 2013 г. добыча на руднике Тенке Фунгуруме увеличилась до 2,1•105 т меди и 1.3•104 т кобальта. Добыча превысила проектную мощность рудника в 2•105 т меди в год (т/год); проектная мощность кобальта составила 1.5•104 т/год [117]. В 2015 г. добыча на руднике Тенке Фунгуруме составила 2•105 т меди и 11.6•104т кобальта. В 2014 г. добыча на руднике составила 202.6 т меди и 1,3•104 т, так как добыча превысила проектную мощность рудника (Minerals Yearbook, 2012).

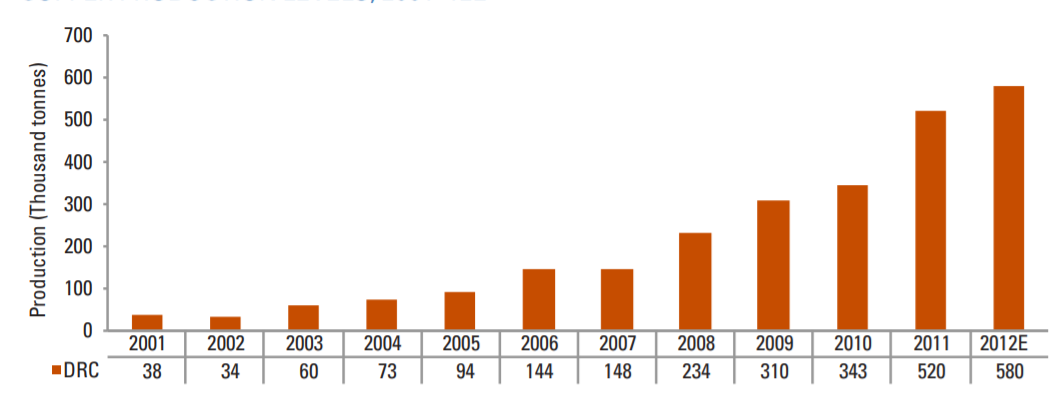


Рис 15 Уровень производства меди в ДРК, 2001— 2012 г (KPMG, 2014).

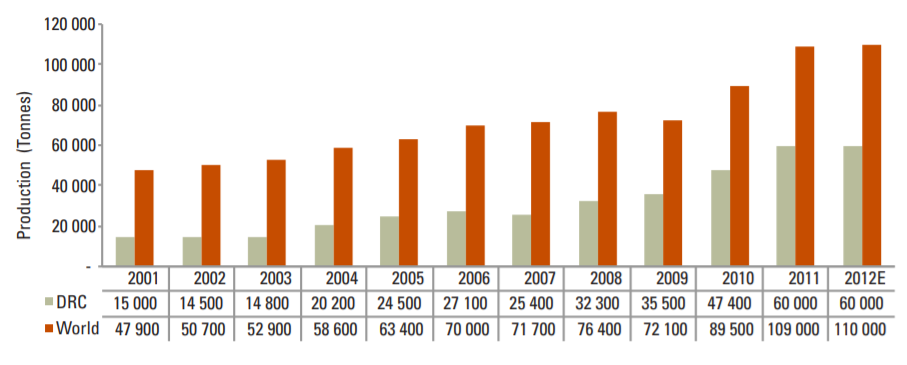


Рис 16 Уровень производства кобальта в ДРК по сравнением с мировой, 2001-2012 г. (KPMG, 2014)

В 2010 г. На руднике Катанга Майнинг Было производно 8,6•104 т меди и 3.5•103 т кобальта (Minerals Yearbook, 2012). Производство ООО "Катанга Майнинг" в 2011 г. составило 5.8•104 т меди и 2•103 кобальта (Minerals Yearbook, 2012). Катанга также увеличила мощность завода в Луилу до 1,5•105 т/год меди и 8•103 т/год кобальта. В 2013 года расширение мощностей в Катанге увеличило производство меди до 2,7•105 т/год, и до 3,1•105 т/год производство кобальта (Minerals Yearbook, 2012) . В 2012 г. объем производства полезных ископаемых составил 9,3•104 т меди, 2•103 т кобальта (Minerals Yearbook, 2012). В 2013 г. Производство полезных ископаемых составило 1,4•105 т меди и 2,3•104 т кобальта (Minerals Yearbook, 2012).

В 2010 г. На руднике Мутанде было произведено 1,3•104 т меди (Minerals Yearbook, 2012) . В 2011 г. объем производства на Мутанде составил 6,4•104 т меди. Годовая производственная мощность рудников Мутанды оценивается в 2•104 т меди и 8•103 т кобальта, с расширением до 1,1•105 т меди и 2,3•104 т кобальта в 2012 года (Wikipedia Mutanda mine). Производство кобальта снизилось с 8,9•103 т до 7,9•103 т. В 2012 г. объем производства на Мутанде составил 1,2•104 т меди (Minerals Yearbook, 2012). В 2013 г. объем производства на Мутанде составил 1,5•105 т меди, из которых ~1,4•105 т было переработано [117]. В 2015 г. на Мутанде было произведено 2,2•105 т меди, из которых 2,1•105 т было переработано. В 2014 г. объем производства составил 2•105 т меди, из которых ~2•105 т было переработано. В 2015 г. Производство увеличилось примерно до 1,7•104 т (Minerals Yearbook, 2012).

В 2011 г. На руднике Кемаф было произведено 3,7•104 меди, из которых 2•104 та была переработана, и добыча кобальта составила 4,4•103 т (Minerals Yearbook, 2012) . Производство меди и кобальта увеличилось на 49,4% и 16,1% соответственно из— за увеличения добычи и переработки руды, что компенсировало снижение марок руды. В 2012 г. Производство кобальта и меди сократилось примерно на 16% и 7% соответственно (Minerals Yearbook, 2012). В 2013 г. На руднике Кемаф было произведено 1,9•104 т меди (Minerals Yearbook, 2012). Однако, в 2014 г. На руднике Кемаф было произведено 1,5•104 меди что меньше по сравнение с количество которые было произведено в 2013 г.

В 2010 г. На руднике Руаше было произведено 3•104 т меди и 3,6•103 т кобальта, тогда, как в 2011 г. — 3,5•104 т меди и 3,6•103 т кобальта (Minerals Yearbook, 2012) В 2012 г. было произведено 2,7•104 т меди и 3•103 т кобальта. В 2013 г. объем производства составил 3,5•104 т меди и 3•103 т кобальта (Minerals Yearbook, 2012). В 2014 г. На руднике Руаше было произведено 7•104 т меди и 4•103 т кобальта тогда, как в 2015 г. 3,5•104 т меди и 4,3•104 т кобальта, (Minerals Yearbook, 2012).

В 2010 г. На Кинсевер шахты было произведено 1,6•104 т меди тогда, как в 2011 — ~2,9•104 т меди. В 2012 г на медных рудниках ММГ было произведено 4•104 меди, тогда как, в 2013 г. — 6,2•104 т меди; объем производства превысил заводскую мощность в 6•104 т/год (Minerals Yearbook, 2012). В Кинсевере в 2014 г. было произведено 6,9•104 т меди, тогда как, в 2015 г. 8•104 т; объем производства превысил целевой показатель в 7,3•104 — 7,8•104 т (Minerals Yearbook, 2012).

В 2011 г. На "Гекамин" было произведено 1,7•104 т меди и 7,1•102 т кобальта, тогда как в 2012 г. — 3,5•104 т меди и 837 т кобальта (Minerals Yearbook, 2012) . В 2012 г. компания увеличила мощности своих обогатительных фабрик и заводов по переработке меди на 67% и 76% соответственно. "Гекамин" также эксплуатировал рудник "Лусвиши", мощность которого составляла 1•104 т меди в год и 4•103 т кобальта в год (Minerals Yearbook, 2012). Gécamines на своих рудниках Камфундва, Центральная Камоя, Южная Камоя, Киламусембу и Шангалове в 2013 г. фактически произвели 4•104 т меди тогда как, в 2014 г. 1,6•104 т г. (Minerals Yearbook, 2012). Общий объем производства меди компанией в 2015 г. составил ~ 1,5•104 т и кобальта до 240 т (Minerals Yearbook, 2012).

Добыча на горном руднике Мукондо и заводах Луита в 2010 г. составила 1,7•104 т меди и 8•103 т. кобальта, тогда как, в 2011 г. ~2,7•104 т меди и 9,2•104 т. кобальта, из— за увеличения мощности по производству меди и более значительнных марок медной и кобальтовой руды. Так, как мощность производства меди увеличилась с 2•104т/год до 4•104 т (Minerals Yearbook, 2012).

Общий объем добычи меди на горе Мукондо и Комиде увеличился примерно до 5,2•104 т с 3,5•104 т в 2012 г. Производство меди выросло до 2,9•104 т в 2013 г. Производство кобальта выросло примерно до 9,7•103 т в 2013 г. с 9,6•103 т в 2012 г. (Minerals Yearbook, 2012). В 2014 г. производство кобальта снизилась примерно до 8,5•104, тогда как, в 2015 г. — 3,5•103 т, из— за истощения запасов оксидных руд (Minerals Yearbook, 2012).

Таблица 5 Тип шахты практикуется некоторыми горнодобывающими предприятиями в провинции Катанга и их емкость по добыче медных руд в 2015 году. [(Minerals Yearbook, 2012)]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Название Рудник | Тип рудник | Емкость по добыче медных руд, в 105 т | Количество полученных металлов, в 103 т | Доля добытого меди из руды |
| Tenke Fungurume Mining SARL | Добыча открытым способом и Выщелачивание | 225 | 200 | 0,8889 |
| Mutanda Mining SPRL | Добыча открытым способом и Выщелачивание | 220 | 17 | 0,0773 |
| Ruashi Mining SPRL | Добыча открытым способом и Выщелачивание | 38 | 35 | 0,9211 |
| MMG Ltd. Kinsevere mine | Добыча открытым способом | 80 | 80 | 1 |
| Kamoto Mine | подземный медно - кобальтовый рудник | 250 | 113 | 0,452 |

В 2011 г. компания Моусон Уэст произвела 4•103 т меди и 10,1 кг серебра, тогда как, в 2012 г. 5,8 т меди и 13,3 кг серебра (Minerals Yearbook, 2012) . В 2014 г. На рудинике Моусон Уэст было произведено 3•103 т меди и 6,5•103 кг серебра, тогда как, в 2015 г. 256 т меди и 340 кг серебра [118].

Таблица 6. Основные параметры, характеризующие: запасы руды в ДРК и работу, некоторых горнодобывающих предприятий в провинции Коппербельт: паспортная мощность добычи руды в год, среднее производство меди и кобальта в год и доля добытого металла из руды: меди, кобальт и цинка т в год (USGS)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Год | Суммарное производства меди в 103  т в год | Суммарное производства кобальтав 103  т в год | Суммарное производства цинк в 103  т в год | Суммарное производство: меди, кобальт и цинка в 103  т в год |
| 2011 | 520 | 10 | 15 | 545 |
| 2012 | 580 | 12 | 12 | 604 |
| 2013 | 919 | 77 | 12 | 1008 |
| 2014 | 1 065 | 76 | 13 | 1154 |
| 2015 | 1 069 | 84 | 13 | 1166 |
| 2016 | 1035 | 69 | 13 | 1117 |
| 2017 | 1 094 | 82 | 12 | 1188 |
| 2018 | 1230 | 104 | — | 1334 |
| 2019 | 1300 | 100 | — | 1400 |
| Итог | **8812** | **704** | **90** | **9516** |

**2.2.2 Экологические проблемы, возникающие в результате горнодобывающей деятельности**

Ключевые экологические проблемы в ДРК и особенно в провинции Катанга включают: деградацию земель, главным образом эрозию почв, которая влияет на сельскохозяйственную и продовольственную безопасность; обезлесение, утрату биоразнообразия, загрязнение воды из— за отсутствия санитарии и очистки сточных вод из некоторых шахт, а также загрязнение воздуха.

Между 1924 и 1992 годами, когда плавильня перерабатывала большую часть меди в районе Хаут— Катанги, шлаковая куча постепенно увеличивалась в высоту (De Putter T. et al, 2011). Эта огромная куча отходов вызывал загрязнение окружающей среды, от которого жители близлежащих районов страдали ежедневно, особенно в июне и июле, когда сухие ветры распространяют минеральную пыль по всему городу.

По данным ВВЗ 2008 исследование показал, что серьезные проблемы со здоровьем населения, такие как легочное и глазное раздражение, были выявлены у людей, живущих вблизи мест сброса и в самом городе (Van Brusselen D. et al., 2020). Еще более серьезно повторные эпидемии холеры вспыхнули в Кипуши и других шахтерских городах, таких как Ликаси, что напрямую связано с низким качеством питьевой воды.

В ДРК была предпринята программа модернизации, на период 1986— 1990 годов, для повышения эффективности предприятия по всей цепочке производства до коммерциализации металлов для повышения производительности труда предприятия на шахтах и металлургических заводах, но, как и в замбийский коппербелте, также в Катанге экологические аспекты добычи меди в значительной степени игнорировались.

Данные Gecamines за 35 лет хвостохранилищ обогатительных фабрик Дима, Камото и Колвези, сброшенных в Люлу, показали, что размер отвала составляет от 20 до 30 млн т, содержащих примерно от 2 до 3% меди и от 0,2 до 0,4% кобальта (U.S. Geological Survey, 1997). Урановый рудник Шинколобве, расположенный недалеко от города Ликаси на территории Камбове, в районе Хаут— Катанга, был закрыт в 1960— х годах, но добыча, по— видимому, продолжалась и в 2007 г., когда 18 т медных минералов с значительный концентрацией урана были сброшены в реку Мура, недалеко от Ликаси (Manda, B.k, 2010). Наличие этих металлов в хвостохранилищах, несомненно, обусловлено антропогенной деятельностью в окружающей среде, которая может быть прослежена вплоть до исторических и современных горнодобывающих отраслей промышленности. Хвостохранилища в ДРК представляют собой огромную проблему, поскольку они оставлены на открытых участках вблизи местных общин и в основном расположены вблизи источников воды, поэтому они представляют собой неразрешимую проблему, поскольку жидкость в конечном итоге вымывается в реки, вызывая загрязнение как грунтовых, так и поверхностных вод.

Хотя Катанга находится далеко от тропических лесов, однако добыча полезных ископаемых независимо от их типа в большинстве случаев требует расчистки огромных участков нетронутой земли. Экосистема этих районов подверглась существенному и необратимому воздействию, сказавшемуся на разнообразии в провинции. На пример с начала двадцатого века промышленная добыча меди переместила 20 млн гектаров земли и радикально изменила ландшафт Катанги. Аналогично, изменения в почве, воздухе и воде этого района, экологические аспекты добычи меди в значительной степень как в Провинции Коппербелте игнорировались, вот поэтому из— за присуствие кумулятивные экологические воздействие стали более труднее исправиться с экологическими проблемами как загрязнение воды и почвы.

Оценка загрязнения пищевой цепи микроэлементами — **Cu, Co**, Zn, **Pb**, Cd, **U,** V и As— в 2010 г., в бассейне Верхней Луфиры, Катанга (ДР Конго) указало на высокое содержание меди— 70,9 промилле и кобальта— 32,3 промилле в сточных водах, подтвердило загрязнение бассейна сточными водами из Луфирского комплекса гидрометаллургического Шитуру (Manda, B.k, 2010).

В 2016 г. исследование содержания в почве Катанги показало, что при естественном высоком содержании металлов и химическом фракционировании Cu, Co, As, Zn, Pb и Cd концентрации которых колебались от 11 мг/кг до 126 013 мг/кг, от 2 мг/кг до 22 467 мг/кг, от 5 мг/кг до 233 мг/кг, от 11 мг/кг до 21 886 мг/кг, от <1 мг/кг до 1666 мг/кг и от <1 мг/кг до 120 мг/кг соответственно, однако обилие элементы в почвах горных районов также отражали (I) их высвобождение из частиц горно — металлургического производства, особенно из плавильных заводов Лубумбаши, и (II) их разделение на различные почвенные отсеки (Van Brusselen D. et al., 2020). При исследовании загрязнения воды в реке Люлю были обнаружены значительные уровни концентрации элементов 60,0, 1648,3, 191,9 мг для Na, Mg и K соответственно и значения Cu 5,7 и 2,0 мг/л; значения 7,0 мг/л и 5,5 мг/л для Co были обнаружены в реке. Тогда как в реке Мусонои были обнаружены значения 0,5 мг/л и 0,2 мг/л для Cu и Co соответственно (Atibu E. K. et al. 2013).

Значительные концентрации металлов наблюдались в сточных водах горных работ, речных водах и пробах донных отложений рек Луилу и Мусонои. Значительные уровни загрязнения, особенно Cu, Co, Pb, были обнаружены в донных отложениях рек Луилу со значениями 13 199 мг/кг, 47 468 мг/кг и 851,9 мг/кг соответственно, были обнаружены в районах, близких к сбросу горных сточных вод, а для пробы воды и донных отложений концентрации металлов были значительно высокими во всех исследованных районах (Atibu E. K. et al. 2013). При исследовании загрязнения воды в реке Люлю были обнаружены значительные уровни концентрации элементов 60,0, 1648,3, 191,9 мг для Na, Mg и K соответственно и значения Cu 5,7 и 2,0 мг/л; значения 7,0 мг/л и 5,5 мг/л для Co были обнаружены в реке. Тогда как в реке Мусонои были обнаружены значения 0,5 мг/л и 0,2 мг/л для Cu и Co соответственно (Atibu E. K. et al. 2013).

Деятельность горнорудной компании UMHK привело к таким экологическим последствиям в районе, как разрушение лесов и деградации почв. В шахтах, как открытых, так и подземных, применялись различные методы добычи и обработки полезных ископаемых, что привело к загрязнеие почвы.

В Катанге, и особенно в Колвези, Ликаси, Кипуши и Лубумбаши, большая концентрация горнодобывающих концессий (Гекамин, Форрест и др.), каменоломни и отрасли промышленности, занимающиеся очищением металлов (медь, кобальт, цинк, Уран и др.) несет ответственность за полную деградацию почвы и экосистем, а также за потерю больших площадей сельскохозяйственных угодий.

Согласно Mbenza et al., 1989; Malaisse, 1997 более десяти различных типов источников загрязнения в окрестностях Лубумбаши. выбросы SO2 (который вызывает кислотное осаждение) и металлоносных частиц медеплавильной промышленностью в течение более чем 80 лет привели к деградации лесов миомбо (доминирующего открытого леса региона Замбези) и вызвали его замену открытыми лугами и голой почвой в районе, расположенном с подветренной стороны от медеплавильного завода . В таком сильно деградированном ландшафте большие участки голой почвы подвергаются эрозии дождями во влажный сезон и переносу частиц ветром в сухой сезон. Это реальная проблема для здоровья человека из— за значительный плотности населения в загрязненной зоне.

Недавно, чтобы оценить воздействие загрязнения на человека в Катанге, Банза и др. (2009) измеряли концентрацию металлов и металлоидов в моче людей, живущих вблизи шахт или плавильных заводов. Концентрации Co и других металлов были выше у людей, живущих вблизи шахт или плавильных заводов (включая участок, загрязненный медеплавильной промышленностью Лубумбаши), что превышало исходное значение центров по контролю и профилактике заболеваний (CDC). Need for data (amount of chemical pollution) Согласно исследованию, которое определило пути воздействия кобальта на человека в районе добычи полезных ископаемых Катанга, среднее общее потребление кобальта взрослыми было оценено от 63 (±42) мкг/сут до 94 (±55) мкг/сут в приозерных деревнях и 570 (±100) мкг Co/сут в загрязненных районах (Atibu E. K. et al. 2013); De Putter, T, 2014).

Хвостохранилища шахты были выброшены в долину реки Кипуши, занимая площадь около 240 ге на расстоянии 2,5 к. Река сохранила около 38 т остатков (0,02% цинка и 1% флотореагентов). Хвостохранилища расположены в нескольких метрах от замбийской границы.

Считается, что он содержит 38 млн Т остатков с концентрацией меди 0,2% и цинка 1%, а также реагенты, используемые при флотации. Помимо загрязнения воды, циркулирующей на поверхности остатков и впадающей в реку Кафубу, существующие бассейны являются важным источником пыли, которая дует в сторону общины преобладающими ветрами. Эти выбросы содержат мышьяк, кадмий, свинец и цинк (SNC-Lavalin International, 2004).

**3. Анализ загрязнений объектов окружающей среды в Коппербелте (Замбия)** **и Катанга (ДРК)**

## Анализ загрязнений объектов окружающей среды в Коппербелте (Замбия)

#### Воздействие на воды (поверхностные и подземные)

Шахты могут влиять на качество воды многими способами, включая: сброс шахтных вод в окружающую среду, просачивание шахтных отходов в подземные и поверхностные воды, нарушения или сбои в работе хвостохранилищ и хранилищ воды, химические разливы и выброс неконтролируемых ливневых вод (IRMA, 2018; Ashton et al, 2001). Добыча полезных ископаемых в Коппербелте ведется в пределах водосборного бассейна реки Кафуэ. Шахта Конкола является одной из самых влажных в мире, расположенная примерно в 35 км к западу от шахты Муфулира, выше по течению реки Кафуэ, в общей сложности из подземной шахты ежедневно откачивается 300 тысяч м3 воды, в день, чтобы обеспечить поддержание очистных работ в обезвоженном состоянии, а добыча из рудного тела Чилилабомбве в Конколе составляет ~ 2 млн т в год, и эта руда обрабатывается с помощью обычной дробильно - фрезерной и флотационной установки (Whyte, RM, 2001). Одновремено, она закачивает в среднем 300 000 м3/сут воды в реку Кафуэ. Вода, вероятно, содержит тяжелые металлы и ил, которые могут повлиять на качество речной воды и изменить ее биохимию, что оказывает прямое или косвенное влияние на водную жизнь.

Рудник цветной меди, Медный рудник Мопани, Медный рудник Конкола Нчанга и Конкола выбрасывали воду в окружающую среду, которая была до 4,8·105 мг/л или на 480% выше разрешенного лимита Замбийское Aгентство по управлению окружающей средой (ZEMA) в 100 мг/л Общего количества взвешенных твердых веществ (TSS) (Auditor General Report, 2014). Таким образом, устойчивое использование водных ресурсов стало проблемой не только из-за загрязнения, но также, в связи с увеличением количество горнодобывающих компаний, получающих лицензии на добычу полезных ископаемых, которые требуют много вод. Согласно отчетам, представленным горнодобывающими компаниями в ZEMA, отчеты о мониторинге соблюдения и физические проверки, проведенные на объектах, показали, что горнодобывающие компании сбрасывают сточные воды в окружающую среду с физическими и химическими параметрами выше и/или за пределами минимальных пределов, установленных ZEMA (Auditor General Report, 2014).

Основными загрязнителями поверхностных вод в Китве являются **кобальт, медь, марганец, сульфаты, кальций, железо и магний** (Kříbek et al., 2014); Environment Outlook Report, 2010;(Auditor General Report, 2014). Так же шахты сбрасывают сточные воды в водную среду, в которой общее количество растворенных твердых веществ превышало разрешенный ПДК в 3·103 мг/л, например, подразделение KCM шахта Нчанга выпускало сточные воды из водосброса хвостохранилища Мунтимпа, содержание TDS в котором достигало 5,4·103 мг/л (Auditor General Report, 2014).

Добыча полезных ископаемых на реке Коппербельт продолжает серьезно влиять на водные пути из-за обширного заиливания. В 2005 г. хвосты, образующиеся на заводе, сбрасывались в два отдельных хвостохранилища, через которые вода проходила до тех пор, пока не достигала точки поверхностного сброса. Затем вода была сброшена через пенсток в ручей Любенгеле, который в конечном итоге присоединился к реке Кафуэ. (KCM, 2005) (Auditor General Report, 2014).

Согласно исследованию (Lindahl, 2014), 15 тыс. т ила в год сбрасывалось с шахты Конкола в реку Кафуэ, в то время как шахта Нчанга сбрасывала 91 тыс. т ила в год. Накопление ила в ручьях и реках может повлиять на его мутность-меру взвешенных твердых веществ в воде и представляет собой степень помутнения ручья или реки ( Mudenda L., 2018;Auditor General Report, 2014). Мутность может быть вызвана грязью, илом, растительными остатками, древесной золой, опилками, водорослями или другими микроорганизмами и осажденными химическими веществами, которые попадают в водоем или процветают в нем. Взвешенные частицы, выделяющиеся из сточных вод, поглощают тепло солнца, делая воду теплее и, таким образом, снижая концентрацию кислорода в воде; тем самым влияя на выживание водных организмов и ограничивая фотосинтетическую активность растений и водорослей, тем самым уменьшая кислород . Слишком большое количество осадков или водорослей в реках и ручьях может привести к тому, что вода станет непригодной для отдыха, а также может увеличить стоимость очистки воды для питья, а также для пищевой промышленности ( Mudenda L., 2018).

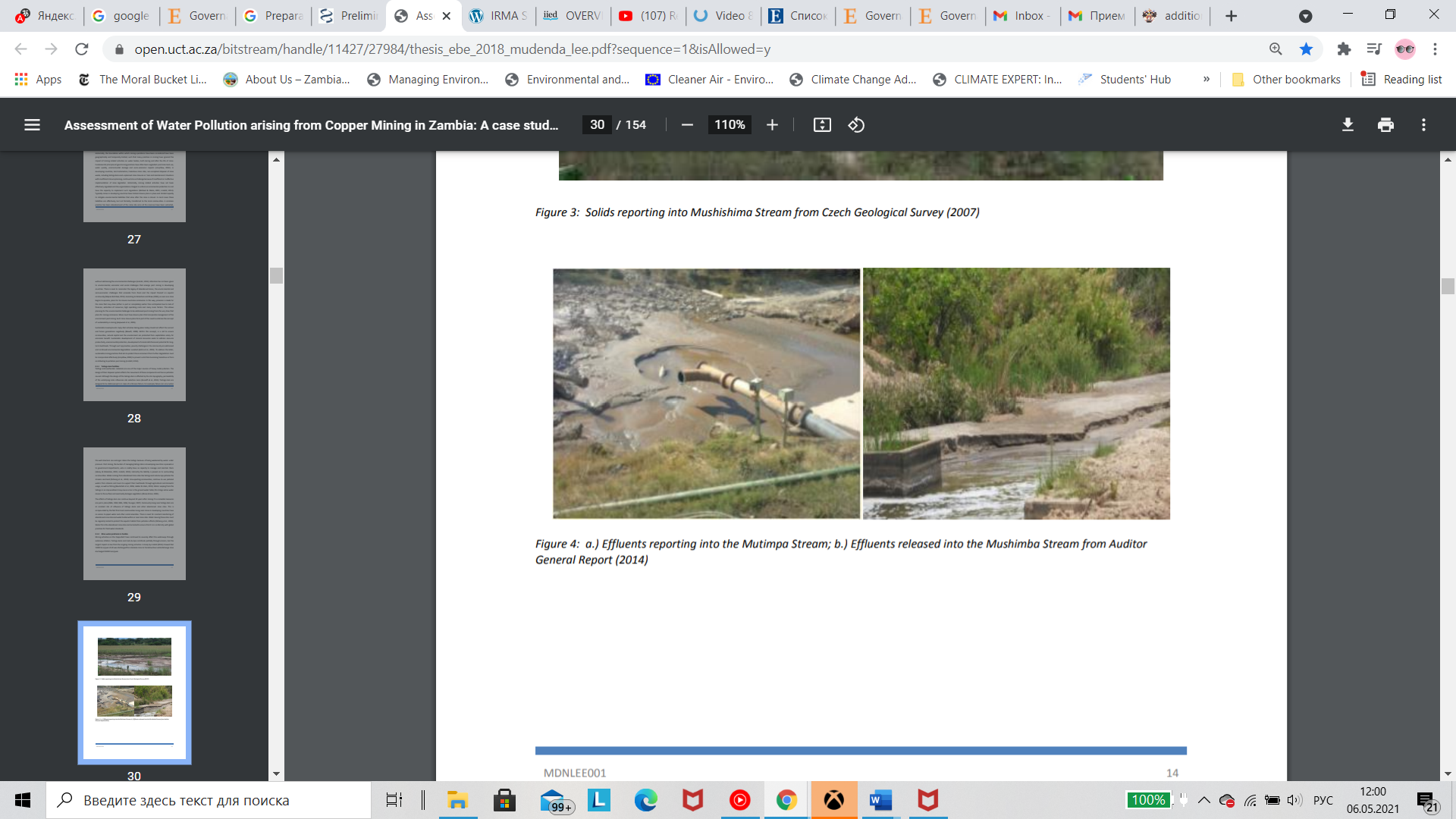


Рис 17 а) Сточные воды, поступающие в поток Мутимпа; б) Сточные воды, поступающие в поток Мушимба 2014г. (Auditors General Report, 2014)].

Хвостохранилища и отвалы горных пород частично способствуют эрозии, но наибольшее влияние оказывает продолжающаяся добыча полезных ископаемых. Однако, несколько исследований (ZCCM, 2005) показали повышенные концентрации многих растворенных элементов (то есть ионов) в Кафуэ и ее притоках в пределах Медного пояса. Выбросы металлов могут отрицательно влиять на биоразнообразие и изменять видовой состав обитателей в ручьях.

В Муфулире хвостохранилища находятся примерно в 10 км ниже по течению от поселка Канкойо, и сброс из хвостохранилищ протекает за пределами поселка в поток Муфулира и, наконец, в реку Кафуэ. Это представляет собой путь загрязнения воды из ручьев в реку Кафуэ. В реке Кафуэ, вследствие, загрязнения от горнодобывающей промышленности, взвешенные концентрации меди и кобальта можно увидеть вплоть до слияния с рекой Замбези (Norrgren et al, 2002). Общее содержание металлов в донных отложениях показывает, что река Кафуэ, особенно ее притоки ниже по течению от основных источников загрязнения - сильно обогащены медью (ECZ, 2008). Существует значительный вклад меди и кобальта от нескольких источников загрязнения вблизи города Чингола, расположенного на притоке Мусисима, но оба металла связаны с взвешенными частицами (на которые приходится более 95% общей нагрузки загрязняющих веществ), которые оседают в реке Кафуэ. Концентрация растворенного кобальта, меди и в некоторых местах марганца, селена и сульфатов в поверхностных водах наиболее загрязненных притоков реки Кафуэ превышает ПДК Замбии по сбросам этих элементов (Kříbek et al., 2014; EPPC Act, 1990). Показано, что содержание растворенной меди значительно выше стандартов защиты водных организмов на большинстве станций мониторинга в регионе Коппербелт (EPPC, 2012) 143, 152]. Добыча полезных ископаемых в Нчанге, Нкане и Конколе является наиболее значительным фактором, который способствует загрязнению тяжелыми металлами (ECZ, 2017;Auditor General Report, 2014;Mwaanga,A,B, 2019).

Загрязнение поверхностных вод и водотоков происходит путем заиления в результате вымывания мелких частиц из отвалов и рудо перерабатывающих заводов, переполнения, утечек воды из хвостохранилищ и дренажа технологической воды из плавильных и кислых заводов. Значительная степень загрязнения была обнаружена в отложениях рек Мусисима и Чанга (район Чингола), а также в реках. Учи и Ваньшимба (район Китве) (Kříbek et al., 2014;Auditor General Report, 2014). Чрезвычайно Значительная концентрация растворенной меди была обнаружена в водах реки Мусисима, также, значительная концентрация кобальта была обнаружена в реках Мусисима, Чанга и Учи (Kříbek et al., 2014).

**Таблица** 7 Речные отложения: сравнение с канадским руководством по отложениям. Руководство по качеству пресноводных отложений в Канаде (Norrgren et al, 2002).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вешества | ISQG (концентрация, выше которой наблюдаются биологические эффекты) мг/л | % образцов, превышающих значения мг/л  ISQG | PEL (концентрация, выше которой наблюдаются биологические эффекты) мг/л | % образцов, превышающих значения PEL  мг/л |
| Мышяк | 5,9 | 8,2% | 17 | 2% |
| Кадмий | 0.6 | 0% | 3.5 | 0% |
| Кобальт | 37,3 | 22,9% | 90 | 2% |
| Медь | 35,7 | 98,4% | 197 | 55,7% |
| Серебро | 0,17 | 8,2% | 0,49 | 0% |
| Свинец | 35 | 6,6% | 91,13 | 2% |
| Цинк | 123 | 0% | 315 | 0% |

Руководство по качеству пресноводных отложений в Канаде. Эти руководящие принципы в основном применяются в некоторых африканских странах, которые не имеют руководящих принципов по пресноводным осадкам, например в Замбии.

Вниз по течению от горных работ концентрации загрязняющих веществ, связанных с добычей, быстро снижаются, главным образом, из-за образования вторичных частиц, которые быстро оседают в русле реки. Так как сильное загрязнение от шахт в основном сосредоточено в горячих точках, водопроводные компании вокруг Коппербелта неплохо справляются с производством питьевой воды. Однако есть исключения. Особенно компании по водоснабжению и канализации в Мулонге и Нкане. Они часто сталкиваются с проблемой качества воды. В сезон дождей расход воды в Кафуэ увеличивается, и вторичные частицы ресуспендируются и транспортируются вниз по течению. Горнодобывающая деятельность в Коппербелте также серьезно влияет на водные пути из-за обильного заиления. Фоновые концентрации взвешенных веществ, в Кафуэ, очень низкие.

Ежегодный экологический аудит 2008 года был проведен внешним консультантом, и результаты, показали, что шахта "Конкола" не соответствует законодательству. Это имело последовательное воздействие на окружающую среду как на водную среду, так и на почву в окрестностях шахты. Это было связано с разделением твердых отходов, которое происходило на месте, но подрядчик, собиравший отходы, повторно смешивал их перед утилизацией; Хранение отработанного масла в обогатительной фабрике производилось в пределах участка без обвязки или непроницаемой поверхности, что приводило к загрязнению подземных вод; Высокая концентрация общих взвешенных веществ (ТСС) в сточных водах сбрасывалась в реку Кафуэ из-за нехватки складских помещений и отстойных мощностей на шахте (KCM, 2005). В 2006 г. высококислотные хвосты были сброшены в реку Кафуэ из-за разрушения плотины хвостохранилища, что привело к высоким концентрациям меди, марганца и кобальта. Общее содержание металлов в донных отложениях показывает, что река Кафуэ, особенно ее притоки ниже по течению от основных источников загрязнения - сильно обогащены медью (ECZ, 2008). Исследование показало, что значения рН в реке Кафуэ и ее притоках являются щелочными в загрязненной зоне, а концентрации сульфатов постепенно увеличиваются ниже по течению. Поскольку существует значительный вклад меди и кобальта из нескольких источников загрязнения вблизи города Чингола, расположенного на притоке Мусисима, но оба металла связаны с взвешенными частицами, на долю которых приходится более 95% от общей нагрузки загрязняющих веществ, оседающих в реке Кафуэ (Auditor General Report, 2014).

По ислледованием (ZCCM, 2005; Auditor General Report, 2014;Mwaanga,A,B, 2019) показали, что основными источниками загрязнения донных отложений рек Кафуэ являются притоки в районах Чингола и Китве . Повышенную опасность представляет собой дренаж кислотных шахт, характеризующийся высоким уровнем минерализации, повышенными концентрациями сульфатов, повышенным уровнем тяжелых металлов, таких как кадмий, кобальт, медь, молибден и цинк (Pettersson, 2002). . Кислота образуется, когда сульфидные минералы выветриваются в результате окисления, и, если нейтрализующая способность окружающей породы слишком мала для буферизации образующейся кислоты, результатом будут воды с низким pH и высоким содержанием металлов. Горные породы в районе Коппербелта богаты карбонатами, которые действуют как буфер против подкисления (Kříbek et al., 2014). Из-за этого кислотные шахтные воды - редкая особенность в медном поясе. Единственным серьезным исключением является большой запас руд в 2 гектара в Чибулуме к западу от Китве (ZCCM, 2005). Дренажная вода из этого района имеет рН 2-3 и высокое содержание преимущественно меди и кобальта (Lindahl, 2014;Auditor General Report, 2014;Mwaanga,A,B, 2019).

8:

Таблица 8 Нормативные лимиты/ПДК сточных вод Замбии (EPPC Act, 1990)

|  |  |
| --- | --- |
| **Сброс сточных вод** | (мг/л) |
| Взвешенные вещества | 100 |
| Мышьяк (суммарное) | 0,5 |
| Кадмий (суммарное) | 0,5 |
| Медь (суммарное) | 1,5 |
| Свинец (суммарное) | 0,5 |
| Ртуть (суммарное) | 0,002 |
| Железо (суммарное) | 2 |

Согласно (Auditor General Report, 2014) отчетам Генерального аудитора за 2014 г., большая часть сточных вод, сбрасываемых с шахт, превышала ПДК (ZEMA) для тяжелых металлов. Медный рудник Конкола и рудник NFC сбрасывали сточные воды TDS сверх разрешенного предела в водную среду. Медеплавильный завод в Чамбеши и медный рудник в Конколе, который является одним из крупнейших рудников на коппербельте, сбрасывали сульфатные стоки в водную среду выше разрешенного предела в 1500 мг/л, как показано в ***таблице 9.***

**Т**аблица 9 Показывает для некоторых горнодобывающих отраслей в 2011-2013 годах в разных местах на медном поясе расход Общее количество Нерастворенных твердых веществ TDS и сульфатов, TCu, TCo, TMn и TFe которые было выброшено в воде (Отчет Генерального аудитора, 2014 г.) по сравнению с ПДК (ZABS, 2010 г.) (Auditor General Report, 2014).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Медный рудник NFCA - Ручей Чамбеши** | | | | | **Медный рудник Конкола - Ручей Мушисима** | | | | |
| Мг/л | Мин | Медиана | Макс | Средний значение | Мин | Медиана | Макс | Среднее значение | ПДК  (ZABS, 2010 г.) |
| **TDS** | 500 | 2800 | 6000 | 4100 | 600 | 2400 | 9867 | 5411 | 3000 |
| **сульфит** | 170 | 1323 | 3500 | 2189 | 329 | 1,800 | 4,222 | 3,270 | 1,500 |
| **TCu** | 0.9 | 9.4 | 106 | 24.6 | 0 | 1.1 | 17 | 3.1 | 1 |
| **TCo** | 0.1 | 2.1 | 51,5 | 8 | 0.9 | 3.6 | 10 | 3.9 | 0.05 |
| **TMn** | 0.8 | 5.7 | 49.5 | 12.4 | 4.4 | 11.5 | 73.9 | 20.5 | 0.02 |
| **TFe** | - | - | - | - | 2.3 | 237 | 465.1 | 236.5 | 0.3 |
| **Конкола Медная Нкана Южно - Учинский Ручей** | | | | | **Медный рудник Мопани Ручей Нкана - Унчи** | | | | |
| Мг/л | Мин | Медиана | Макс | Средний значение | Мин | Медиана | Макс | Среднее значение | Предел |
| **TDS** | 230 | 1,400 | 3,251 | 1,512 | 50 | 1,333 | 2,000 | 1,563 | 3,000 |
| **сульфит** | 100 | 650 | 1,300 | 959 | 120 | 800 | 1,740 | 1,215 | 1,500 |
| **TCu** | 0 | 1,6 | 55,5 | 7 | 0,5 | 1,6 | 13 | 2,7 | 1 |
| **TCo** | 0 | 0,7 | 311 | 19,7 | 0,4 | 1 | 4,3 | 1,6 | 0,05 |
| **TMn** | 0,3 | 2,3 | 9,7 | 2,8 | 0,5 | 2,4 | 14,7 | 3,5 | 0,02 |
| **TFe** | 0 | 1,5 | 35,2 | 4,2 | 0,3 | 1,5 | 6,3 | 1,7 | 0,3 |

В 2009 по 2011 г.Шахты сбрасывали сточные воды в окружающую среду с сбросом сточных вод выше установленных ПДК 1,5 мг/л, оцененных в диапазоне от 1,6 мг/л до 787 мг/л общего количества соединений меди (TCu) с плотиной контроля загрязнения рудник Конкола, регистрирующей самые значительные уровни загрязняющих веществ в их сброшенной воде. Несмотря на то, что пять (5) шахт, а именно шахта Чамбиши, Шахта цветной меди, шахты KCM Конкола, KCM Нчанга и MCM Муфулира сбрасывали сточные воды в водную среду в десяти(10) лицензированных точках сброса, они имели значительный уровень содержания ТСо, превышающий установленные пределы в двадцать три (23) раза, причем самый высокий зафиксированный выше предел составлял 311 мг/л открытым карьером KCM Нчанга, который сливается в поток Нчанга. Кроме того, они выпустили сточные воды выше установленного предела в 1,0 мг/л в десяти (10) лицензированных точках сброса с максимальным содержанием TMn в диапазоне от 4,0 мг/л до 201,1 мг/л . Эти шахты также сбрасывали сточные воды с содержанием TFe выше разрешенного предела 2,0 мг/л в водную среду в семи (7) точках сброса с максимальными значениями в диапазоне от 6,3 мг/л до 6,7·103 мг/л. Общий кобальт (TCo) на кобальтовом заводе рудник Мопани Nkana mines составил до 4,2∙103 мг/л для глубокого водоносного горизонта и 2,7∙103 мг/л для мелкого водоносного горизонта по сравнению с разрешенным пределом в 1,0 мг/л. Избыточное потребление кобальта через загрязненную питьевую воду для человек имеют серьезные последствия для легких, включая астму, пневмонию, а также хрипы и кожные высыпания, о которых сообщалось у человек, подвергшихся воздействию более высоких уровней кобальта, включая некоторые виды рака, которые, как сообщалось, были вызваны воздействием кобальта. Общее содержание марганца (TMn) в скважинных испытаниях MCM Mufulira и MCM Nkana было выше установленного предела до 235 мг/л, что противоречил установленным правилам (Auditor General Report, 2014). Значительная токсичность марганца, согласно нескольким исследованиям, вызывает такие заболевания, как болезни Паркинсона и Вильсона.



Рис. 18 Графика показывает шахты, сбрасывающие сточные воды с значительным содержанием общего количества растворенных твердых веществ (TDS), которые превышают максимально допустимый предел (Auditor General Report, 2014).

Шахта KCM Nchanga сбрасывал сточные воды из водосброса хвостохранилища Мунтимпа с содержанием TDS 5,4∙103 мг/л, что выше разрешенного нормативы -3000 мг/л ZEMA (Auditor General Report, 2014). Некоторые минералы, входящие в состав TDS, такие как нитраты, сульфаты, натрий, медь, фтор, барий и кадмий (Mudenda L., 2018), могут создавать проблемы со здоровьем у человек при потреблении в больших количествах.

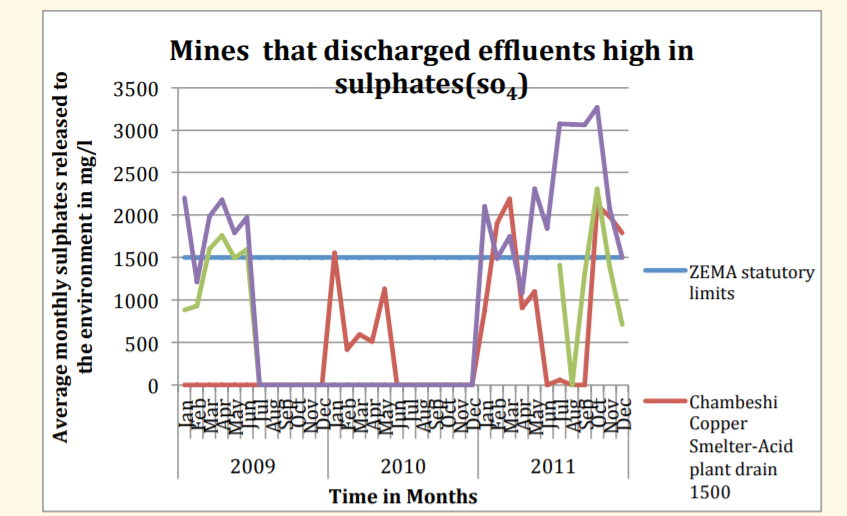


Рис 19 показаны шахты, сбрасывающие сточные воды с значительным содержанием сульфатов(so4) в 2009 по 2011 (Auditor General Report, 2014).

Сточные воды с содержанием сульфатов (so₄) (Auditor General Report, 2014) выше 3,3∙103 мг/л были сброшены в окружающую среду подразделением KCM Нчанга (фиолетовый), в то время как Медный рудник Чамбеши (красный) сбросил сточные воды, содержащие сульфаты (so₄) выше 2,2∙103 мг/л в 2011 г. (Auditor General Report, 2014).

Низкий уровень рН в водоемах означает, что вода очень кислая, и это представляет ряд рисков, включая гибель водных видов, таких как рыбы, головастики и раки, а также вред растениям и животным при воздействии кислой среды. Сточные воды, образующиеся из отвалов горных пород и хвостохранилищ, содержащих минеральные сульфиды, могут быть источником кислотного дренажа шахт в реках и ручьях (Lindahl, 2014; Auditor General Report, 2014; Mwaanga, 2019). Низкие значения рН приводят к деградации почвенных ресурсов, что приводит к значительным потерям в производстве, поскольку выбор сельскохозяйственных культур ограничивается кислотоустойчивыми видами и сортами, что влияет на выгодные рыночные возможности для затронутых сообществ.

Тип используемого метода добычи, химические вещества, используемые для обработки минералов, и тип минерализации в конечном итоге повлияли на качество воду. Аналитическое исследование применяемых мини-метондов показывал, что в основном загрязнение происходит в процессе выщелачивания и в месте сброса сточных вод (Mudenda L., 2018). Таким образом, загрязнение ручьев и рек сточными водами горнодобывающей промышленности относится к числу проблем, затрагивающих природные сообщества и экосистемы на коппербельте. Металлы и другие растворенные соли, такие как сульфаты, фосфаты и нитраты, попадают в ручьи и реки через различные источники, такие как сброс очищенных и необработанных жидких отходов, выщелачивание из твердых отходов и сток. Согласно исследованиям, как заброшенные, так и действующие рудники могут вносить основной вклад в ухудшение качества и количества воды в ручьях, а также в реках в непосредственной близости от горных работ. Следовые количества тяжелых металлов, таких как Pb, Cu, Co, Mn, Zn и Fe, являются важными питательными веществами для животных и растений (Auditor General Report, 2014), однако тяжелые металлы токсичны при значительным значение. Река Кафуэ показала очень высокие концентрации (<0,45 мкм) растворенной меди и кобальта в районах добычи (Ministry Of Mines). В последнее десятилетие средние концентрации тяжелых металлов в бассейне реки Кафуэ превышали ПДК значения для сточных вод и сточных вод, особенно в районах добычи полезных ископаемых (Pourret O et al, 2015; Mining Zambia). pН сбрасываемых сточных вод колеблется, что приводит к выделению металлов из донных отложений ручья. Сравнение нескольких образцов рыбы, найденных в незатронутых водах выше по течению от горных работ и ниже по течению в затронутых водах, показало повышенные концентрации кобальта и меди (ZCCM, 2005; Norrgren et al, 2002) наблюдали, что трёхспоровая тилапия (рыба в клетке) обнаруживала биоаккумуляцию тяжелых металлов в течение двух недель после воздействия горных работ.

Также, токсичные металлы, такие как свинец, ртуть и мышьяк, содержатся в кислотных шахтных дренажах (ВМД), которые, если их должным образом не обработать перед сбросом в реку, могут оказать воздействие на окружающую среду, на пример Согласно отчету ZEMA 2017, проверка качества воды в районе водосбора реки Кафуэ показала, что сточные воды, сбрасываемые в реку Кафуэ в провинции Коппербельте, в значительной степени способствовали загрязнению реки (ECZ, 2008, ECZ, 2017); и оказывают влияния на здоровье человека (Environment Outlook Report, 2010; U.S. Geological Survey, 2010).

Хвостохранилища также приводят к загрязнению поверхностных водных объектов, Загрязнению подземных водных объектов. Например, Четыре (4) хвостохранилища (TSFS), а именно: 4 Медных рудника Конкола ( KCM )– Лубенгеле, Хвостохранилище Мунтимпа , хвостохранилище Бвана Мкубва, все показали признаки загрязнения подземных водных объектов и загрязнения поверхностных водных объектов, в то время как хвостохранилище Чибулума Юг показали только загрязнение поверхностных водных объектов с точки зрения общего количества взвешенных твердых веществ и в некоторых случаях Общего количества железа, Общего кобальта, Общей меди и Общего марганца (Auditor General Report, 2014).

Несомненно, хвостохранилища, построенные вблизи водных объектов, могут быть источником загрязнения, даже когда плотина не активна, особенно там, где эти плотины недостаточно выровнены, часто обнаруживается, что старые хвостохранилища загрязняют водные объекты. Поэтому объемами воды, вытекающей из хвостохранилища, необходимо управлять на постоянной основе, чтобы свести к минимуму воздействие на водную экосистему и окружающие сообщества. Результаты исследований ( Mudenda L., 2018), согласующиеся с общей картиной потоков на Замбийском медном поясе вблизи мест добычи полезных ископаемых, в которых было отмечено, что на качество воды влияет сброс сточных вод (Auditor General Report, 2014).

Одно исследование, проведенное в 2016 г., сравнило средние результаты (из каждой точки отбора проб) на потоке Мункулунгве с результатами других потоков на Коппербельте в соответствии с (Auditor General Report, 2014) и со стандартами ZABS и IRMA. Исследование показало, что концентрация тяжелых металлов в ручьях вблизи действующих шахт была выше ПДК, представленных ZABS и IRMA для питьевой воды, причем самая высокая концентрация Cu была зарегистрирована в ручье Чамбеши, Co в ручье Учи и Mn и Fe в ручье Мушишима, как показано в таблице 10 ( Mudenda L., 2018).

Таблица 10. Концентрация тяжелых металлов (Cu, Co, Mn и Fe) и TDS из пяти ручьев на Замбийском медном поясе ( Mudenda L., 2018)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Мг/л | Ручьей Чамбиши (2011) | Ручьей Мушишима (2011) | Ручьей Учи (2011) | Ручьей Унчи (2011) | Ручьей Мукулунгве (2011) | ZABS  предел | IRMA  предел |
| TDS | 4100 | 5411 | 1512 | 1563 | 252,4 | 3000 | 500 |
| TCu | 24,6 | 3,1 | 7 | 2,7 | 0,23 | 1 | 1 |
| TCo | 8 | 3,9 | 19,7 | 1,6 | 0,24 | 0,05 | 0,05 |
| TMn | 12,4 | 20,5 | 2,8 | 3,5 | 0,22 | 0,02 | 0,01 |
| TFe |  | 236,5 | 4,2 | 1,7 | 0,36 | 0,3 | 0,3 |

В ходе исследования был сделан вывод о том, что концентрация в потоке Мункулунгве является низкой по сравнению с другими потоками вблизи действующих шахт, за исключением Cu, поскольку она превышала допустимые локальные (ZABS) и глобальные (IRMA). Согласно исследованиям ( Mudenda L., 2018), концентрация металлов увеличивается с изменением сезона и, как правило, наиболее высока после сезона дождей на временной основе и в 2 точках отбора проб вблизи хвостохранилища на основе местоположения. Поэтому для защиты нынешнего здоровья человека и экосистем, а также будущих конечных пользователей воды необходимо осуществлять мониторинг состояния водных объектов для обеспечения соответствия приемлемой глобальной практике.

Вода из ручьев и рек используется для сельского хозяйства, домашнего хозяйства и рыболовства. Продолжающееся загрязнение ручьев и рек, вероятно, повлияет на урожайность сельскохозяйственных культур с точки зрения потерь сельскохозяйственного производства и скота, поскольку ручьи и реки имеют жизненно важное значение для поддержки сельскохозяйственной деятельности. Загрязненные водные объекты представляют собой проблему для здоровья населения, поскольку они продолжают потреблять тяжелые металлы в результате потребления сельскохозяйственной продукции, воды и рыбы из них. Средства к существованию местных общин на Замбийском медном поясе зависят от рыболовства и сельского хозяйства, поэтому загрязнение ручьев имеет серьезные последствия для общины (Mwaanga P. et al. 2014).

Деградации окружающей среды, вызванной добычей полезных ископаемых, было отмечено, что очень мало делается для снижения дальнейшей деградации экосистемы из-за деятельности по добыче полезных ископаемых. В докладе далее отмечалось, что ZEMA не имеет возможности обеспечить соблюдение экологических требований всеми горнодобывающими компаниями в Замбии и не имеет постоянной системы мониторинга. Следовательно, загрязнение воды тяжелыми металлами является одной из наиболее серьезных экологических проблем в Замбии и имеет значительные последствия для здоровья человека и водных организмов.

#### Воздействие на воздух

Главной экологической проблемой в медном поясе является загрязнение воздуха. Согласно исследованию, проведенному в 2000 г. информационной сетью по загрязнению воздуха для Африки, значительным общим объемом выбросов в Замбии были выбросы ТЧ10, которые составляли 4.1·105 т/г и составляли 35% от общего объема выбросов, SO2-3,6·105 т/г (31%), PM2-2,5·104 т/г, выбросы NOx ~7,3·104 т/г. (ECZ, 2008). Плавильные заводы в Чамбиши, Муфулира и Чингола считаются основными отраслями промышленности, которые способствуют загрязнению воздуха, однако производство древесного угля, расчистка кустарников для сельскохозяйственных целей и лесные пожары являются другими основными источниками дыма, влияющими на качество воздуха в провинции коппербелте. (Ministry Of Mines ).

Медеплавильные заводы выделяют от 3•105 до 7•105 т диоксида серы (SO2) в год. SO2 может серьезно повлиять на здоровье популяций (особенно респираторные проблемы). Плавильный завод Муфулира не было оборудован для улавливания каких— либо выбросов SO2. По объему подавляющее большинство загрязняющих веществ в воздухе составляют твердые частицы, такие как пыль от взрывных работ, движения крупных грузовиков и оборудования, конвейеров и дробления руды, а также загрязнения от диффузионной деятельности, такие как летучая пыль, выделяемая взрывными работами или движением грузовиков, или ветром, сдуваемым с открытых поверхностей, таких как дороги, ямы и сваи отходов, или с высушенных поверхностей хвостохранилищ (IRMA, 2018).

В Замбии на горнодобывающую промышленность (в основном на медеплавильные заводы) приходится более 98% выбросов оксидов серы в стране (Kříbek et al., 2014; ECZ, 2017]. В начале 2000-х годов общий выброс оксидов серы составлял 3,5·104 т/г, более 98 процентов, из которых приходится на горнодобывающую промышленность, в основном на медеплавильные заводы ECZ, 2008; ECZ, 2017; Mwaanga P. et al. 2014). Значительные концентрации оксидов серы непосредственно влияют на здоровье человека, также и биоты. Окислы серы (SOx) могут раздражать дыхательные пути и усугублять астму, эмфизему и бронхит. От плохого качества воздуха серьезно пострадали районы к северо-западу и западу от Крупных заводов Нкана и Муфулира. Измерения, проведенные в этих районах, показали концентрацию SOх между 500 и 1000 мг/л (ZCCM, 2005; Auditors Generl Reports, 2014), которая многократно превышает допустимое годовое значение в 0,05 мк/л (EPPC, 2012; Mwaanga P. et al. 2014). Когда сера соединяется с влагой в воздухе, выбросы диоксида серы из плавильных заводов превращаются в серную кислоту, которая повреждает почву и убивает растительность с подветренной стороны. Выбросы из шахт также содержат частицы пыли, содержащие медь, оксиды азота и органические кислоты, которые могут попадать в ручьи и влиять на водную фауну.

Твердые частицы размером менее 10 мкм (РМ10) образуются как на плавильных заводах, так и на пылящих хвостохранилищах. Наибольший вклад вносят медеплавильные заводы. Дети, подвергшиеся воздействию высоких концентраций твердых частиц, подвержены заболеваниям нижних дыхательных путей и снижению функций легких (ZCCM, 2005; Auditor General Report, 2014). В течение три (3) года (2009-2011) наибольшее количество пыли было зафиксировано на одной шахте - Ндола в 5,5·103 мг/л, что в 111 раз превышало установленный ПДК в 50 мг/л (Auditor General Report, 2014). Тщательный анализ приведенных данных приводит к выводу, что все шахты выбрасывали пыль, которая превышала установленный ПДК в течение 3-годвой оценки. Это свидетельствует о том, что экологические последствия для медного пояса возникают из-за ветровой пыли и оползней из-за нестабильности хвостохранилищ, шлаковых и вскрышных отвалов.

Экологический аудит в 2015 г. (Auditor General Report, 2014) показал, что среднее значение диоксида серы, выброшенного в окружающую среду четырьмя (4) из пяти (5) горнодобывающих компаний, колебалось от 358,6 мг/л до 86 155 мг/л. Анализ отчетов об эмиссии горнодобывающих компаний, представленных в 2009-2011 годах, показал, что они превышали установленные законом пределы ZEMA в 1000 мг/л . Кроме того, 4 шахтных объекта (шахты мопани-Нкана, муфулира; шахты конкола-чингола китве) выбросили от одного (1) до тридцати (30) раз больше установленного законом предела (1000 мг/л) из 36 месяцев (3 года) оценки. В течение 3 лет медный рудник Мопани выбросил до 1,5·105 мг/л, что на 155% превысило установленный предел в 1000 мг/л.

Антропогенные загрязнители также, могут вызвать деградацию зданий в результате загрязнения, коррозии и эрозии, воздействия на материалы, которые легко можно увидеть с точки зрения обесцвечивания, потери материала и загрязнения. Несмотря на то, что это пока не научно доказано, очевидно, что кислотные дожди оказывают негативное влияние на большинство зданий в Муфуриле. Диоксид серы может выпадать как во влажном, так и в сухом осаждении, он часто выпадает в виде сухого осаждения даже на расстоянии до 30 км от своего источника (Ministry Of Mines ). Таким образом, потенциал или склонность к возникновению кислотных дождей в городе Муфулира провинции Коппербельт довольно высока.

Анализ показал, что концентрация диоксида серы в окружающем воздухе составляет 1,6·105 мг/л, а концентрация пыли-1,5·105 мг/л, соответственно в 165 и 30,11 раза, что превышает предельную величину. Концентрация тяжелых металлов; меди и кобальта составила 187,8 мг/л и 1,12 мг/л соответственно, что в 120 и 2,20 раза превышает средний предел выбросов (Auditor General Report, 2014). Было установлено, что концентрация свинца составляет 43,9 мг /л, что в 219,5 раза превышает ПДК.

Добываемая медь перерабатывается либо выщелачиванием, либо плавкой. В процессе плавки образуется газообразный диоксид серы (SO2) и тяжелые металлы в застрявшем шлейфе. Газ SO2 является кислым, и в Муфулире он был основным источником загрязнения воздуха (ECZ, 2008). Туберкулез, хотя обычно не только у шахтеров, представляет собой еще одно бремя болезней в Замбии, которое связано с воздействием вдыхаемой кремнеземной пыли в подземных шахтах. Туберкулез, связанный с кремнеземом, стал угрозой для шахтеров, пострадавших от силикоза. Были изучили медицинские записи 2114 замбийских шахтеров за период с 1945 по 2002 г.. У 22,7% (480 шахтеров) был силикоз, у 65,4% (1383 шахтеров) был туберкулез, а у 11,9% (252 шахтеров) - силикотуберкулез (Mwaanga,A,B, 2019). Было также установлено, что в провинции Коппербелт в 2013 г. уровень заболеваемости туберкулезом составил 415 на 100 000 человек, что более чем в 10 раз превышает национальный показатель заболеваемости туберкулезом (Mwaanga, P et al, 2002).

Таблица 12 Концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе по сравнение с ПДК, данные о концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за рассматриваемый период в течение 4 лет. Цифры представляют собой средние месячные показатели (Chanda S.,2017).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Поллютант | Средняя Концентрация (мг/м3) | ПДК (Замбия;мг/л) | в разы выше лимита мг/л) |
| SO2 | 164 995 | 1000 | 165.00 |
| Пыль | 1505.636 | 50 | 30.11 |
| Сu | 187.7873 | 1.0 | 187.79 |
| Co | 1.1159 | 0.5 | 2.23 |
| Pb | 43.89 | 0.2 | 219.49 |

Как показано в Таблице 12, концентрация всех загрязняющих веществ в окружающем воздухе была выше предельного уровня выбросов, предписанного Зема и ВОЗ.

**Замбийского Организована контроля за воздушных масс (лицензирование и нормы выбросов)**

Tаблица 13 Рекомендуемые значения разных загрязняющих вешеств для ограничения загрязнения атмосферного воздуха (ECZ, 2008; ECZ, 2017)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| поллютант | эталонное время | | Ориентировочая Допустимая Концетрация |
| 1. Диоксид серы (SO2) | 10 минут | | 500 мг/л |
| 1 час | | 350 мг/л |
| 1. Диоксид серы (SO2) в сочетании с общим количеством взвешенных частиц (TSP)\*1 и (PM10) | SO2 | 24 часов | 125 мг/л |
| 6 месяц | 50 мг/л |
| количеством взвешенных частиц (TSP | 24 часов | 120 мг/л |
| 6 месяц | 50 мг/л |
| PM10 | 24 часов | 70 мг/л |
| Вдыхаемые твердые частицы (ТЧ10\*2) | PM10 | | 70 мкг/л |
| Оксиды азота (NOx) | 1 час | | 400 мг/л |
| 24 часов | | 150 мг/л |
| угарный газ (СО) | 15 минут | | 100 мг/л |
| 30 минут | | 60 мг/л |
| 1 час | | 30 мг/л |
| 8 часов | | 10 мг/л |
| Свинец атмосферного воздуха  (Pb) | 3 месяц | | 1.5 мг/л |
| 12 месяц | | 1.0 мг/л |
| Пыль | 30 дней |  | 7.5 т/км2 |

1. Общие взвешенные частицы (ТСП) - это частицы диаметром менее 45 микрометров (µm).

\*2. вдыхаемые частицы (PM10) - это частицы диаметром менее 10 микрометров (µm). Они могут проникать в вспомогательные области легких.

Таблица 13:

Tаблица 14 долгосрочных предельных значений выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в разбивке по видам промышленности/процессам

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Промышленный/ Технологический | Параметр | Долгосрочный Предел Выбросов |
| производство меди |  |  |
| Плавильные заводы | диоксид серы (SO2) | 1000 мг/л |
|  | Пыль | 50 мг/л |
| Содержание тяжелых металлов | Мышяк (As) | 0.5 мг/л |
| Кадмий (Cd) | 0.05 мг/л |
| медь (Cu) | 1.0 мг/л |
| Свинец (Pb) | 0.2 мг/л |
| Ртуть (Hg) | 0.05 мг/л |

Было ожидано, что модернизация плавильного завода 25 Муфулира в 2014 г. позволит сократить выбросы диоксида серы на 97 процентов (Lindahl, 2014). Однако, в течение 3 года медный рудник Мопани выбросил до 1,6·105 мг/л, что на 155% превысило установленный ПДК в 1·103 мг/л и в 2013 г. выбрасывал диоксид серы в диапазоне от 1,5·105 до 6·105 мг/л в месяц по сравнению с установленным ПДК в 1000 мг/л (Auditor General Report, 2014). Среднее количество пыли, которая была выброшена горнодобывающей промышленностью на медной полосе в 2009-2011 годах, было выше установленного предела в диапазоне от 157,1 мг/л до 2,7·103 мг/л (Auditor General Report, 2014).

Выбросы тяжелых металлов в районах добычи медной руды также являются значительными. В 2015 г. среднее содержание мышьяка, выброшенного в окружающую среду в провинции Коппербельт, составляло от 0,4 мг/л до 4,7 мг/л. Медь - от 2,7 до 151,3 мг/л, свинец-от 0,3 до 23,4 мг/л, а медный рудник Мопани имел выбросы; мышьяк - 38,8 мг/л, что в 77,6 раза превышало установленный ПДК в 0,5 мг/л; медь-854,2 мг/л, что в 854 раза превышало установленный ПДК; свинец-до 75,9 мг/л, что в 379 раз превышало установленный ПДК (Auditor General Report, 2014). Выбросы тяжелых металлов и серы оказали значительное влияние на общины, расположенные в непосредственной близости от шахты, такие как жилой район Канкойо. Исследование, проведенное Экологическим проектом Copperbelt (CEMP II) в 2005 г., показало, что дети в Муфулире (городок Канкойо) имели более высокие респираторные инфекции, высокую концентрацию свинца и кадмия в крови, чем дети в Китве. Негативное влияние высокого содержания свинца у детей, заключается в нарушении работы головного мозга, очевидно, что выбросы тяжелых металлов и диоксида серы повлияли на рост и развитие населения. в частности, тяжелые металлы попадают в организм человека через пищу.

Исторически, проблема загрязнения воздуха в этом районе всегда существовала с момента начала горнодобывающей деятельности, особенно на медеплавильных заводах вблизи населенных пунктов, которые внесли значительный вклад в загрязнение воздуха. Имеющиеся данные по уровням диоксида серы за последние два десятилетия для Канкойо показывают значительное снижение с более чем 4 мг/л/24 ч в 1995 г. до менее чем 1,1 мг/л/24 ч в июне 2018 года (Mwaanga,A,B, 2019). Результаты отражают значительные инвестиции в технологии улавливания диоксида серы на медеплавильных заводах после 2010 года, которые улучшили улавливание диоксида серы более чем на 90%. Городок Канкойо-один из самых загрязненных районов с момента начала добычи полезных ископаемых в 1937 г.. Несмотря на то, что технологические усовершенствования помогли сократить выбросы диоксида серы на 92% к 2018 г, летучие выбросы диоксида серы по-прежнему остаются основной проблемой загрязнения воздуха в поселке Канкойо.

Согласно (Mwaanga,A,B, 2019), собранным данным с четырех станций мониторинга SO2, которые были установлены горнодобывающей компанией в разных клиниках жилых районов города Муфулира. Было обнаружено, что концентрация SO2 была очень значительной в клиниках 3 и 5, представляющих соответственно населенные пункты Кантанши и Канкойо, которые находились в непосредственной близости от плавильного завода, а также в подветренном направлении плавильного завода. С другой стороны, в других клиниках, которые были расположены дальше и либо с подветренной стороны завода (клиника 8 в районе с низкой плотностью населения города Муфулира), либо не непосредственно на пути доминирующих ветров (клиника 7 поселка Бутондо), были зафиксированы относительно низкие уровни SO2 (таблица 16)

Taблица 15 Среднесуточные концентрации SO2 (мг/л) на станциях мониторинга в городе Муфулира (Mwaanga,A,B, 2019)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Год** | **СТАНЦИИ ОТБОРА ПРОБ** | | | | **Замбийское ежегодное руководство по SO2** | **Замбийское, ЕС и ВОЗ 24-часовое руководство по SO2** |
| **Clinic 3** | **Clinic 5** | **Clinic 7** | **Clinic 8** |
| 1995 | 145 | 427 | 63 | 29 | 50 | 125 |
| 1996 | 189 | 485 | 74 | 41 | 50 | 125 |
| 1997 | 149 | 342 | 41 | 22 | 50 | 125 |
| 1998 | 103 | 407 | 50 | 34 | 50 | 125 |
| 1999 | 141 | 480 | 74 | 45 | 50 | 125 |
| 2000 | 76 | 247 | 44 | 35 | 50 | 125 |
| 2001 | 131 | 377 | 81 | - | 50 | 125 |
| 2002 (April to December only) | 707 | 447 | 55 | - | 50 | 125 |
| 2003 | 400 | 388 | 66 | - | 50 | 125 |
| 2004 | 369 | 514 | 82 | - | 50 | 125 |

Данные в таблице 15 далее показано, что уровни SO2 в клиниках 3 и 5 значительно превышали ежегодные нормативы- 1000 мг/л и даже превышали суточное нормативное значение-125 мг/л в течение большей части лет. Клиника 7 расположена относительно далеко с подветренной стороны плавильного завода, но ее уровни SO2 часто превышали годовое нормативное значение-1000 мг/л. Только в клинике 8, на подветренной стороне плавильного завода, где уровни SO2 были ниже рекомендуемых значений. Как упоминалось в предыдущих пунктах, последствия загрязнения шахтного воздуха хорошо видны в растительности некоторых населенных пунктов, расположенных вблизи шахтных районов. хорошим примером является тематическое исследование района Канкойо в Муфулире, где есть открытые пространства без растительности, и только отдельные кустарники и деревья, такие как кактусы, манго и авокадо, могут расти (Krˇíbek et al, 2014).

В соответствии с (Ncube E., Banda C., Mundike J., 2012) исследовали степень ущерба, причиненного загрязнением шахтного воздуха растительности в Муфулире, и отметили, что выбросы SO2 из шахт вызвали физические повреждения, такие как некротическое пятно, пожелтение листьев, дефолиация и отмирание деревьев, которые были ближе к источнику выбросов.



Рис 20. Воздействие загрязнения воздуха на виды растений (Mwaanga, 2019)

#### Воздействие на почвы

Загрязнение наземных систем (почва и растительность) в основном объясняется осаждением пыли. Концентрация в почвах вблизи плавильных заводов и хвостохранилищ достигает: Меди -4,2·104 **мг**/**л- что выше ПДК** 1 мг/л кобальта - 606 **мг**/**л что выше ПДК** 0,5 мг/л , мышьяка - 255 **мг**/**л** **что выше ПДК** 0,5 мг/л и ртути - 8,2 **мг**/**л что выше ПДК** 0,05 мг/л (Auditor General Report, 2014). Накопление металлов в почве происходит в результате переноса ветром пылевых частиц (с сухих хвостохранилищ) и выпадения частиц из плавильных печей (Kříbek et al., 2014). Основными загрязнителями почвы, которые встречаются в концентрациях (EPPC, 2012), чтобы представлять значительную опасность для здоровья человека, являются медь и кобальт (ZCCM, 2005). Большие площади в пределах горнорудного региона загрязнены по сравнению с естественными фоновыми значениями, и различные элементы встречаются в повышенных концентрациях в дополнение к меди и кобальту. Исследование по загрязнению почв в Копербелте показало, что наиболее значительные концентрации многих элементов географически непосредственно связаны с районами Китве, Муфулира и Чингола, а также в меньшей степени с районами Калулуши, Чилилабомбве и Чамбиши (Kříbek et al., 2014).

Трудно оценить, сколько жителей Коппербельта непосредственно живут на загрязненных почвах или используют их для сельского хозяйства. Следует отметить, что почвы в богатых минералами районах часто естественным образом обогащены металлами. Образцы почвы из недр (70-90 см) показывают, что хром и никель во многих местах на самом деле находятся выше, чем поверхностный слой почвы. В случае с медью подземные пробы показывают, что поверхностный слой почвы содержит по крайней мере в десять раз, а нередко и более чем в 50 раз более высокие концентрации в более или менее целом Медном поясе ((Kříbek et al., 2014). Согласно исследованию, проведенному Чешской геологической службой в 2007 году, загрязнение почвы особенно сильно накапливается в листьях и даже корнях маниоки и сладкого картофеля, выращенных с загрязненной водой, в то время как кукуруза страдает в меньшей степени. В исследовании рекомендуется сократить выращивание и потребление маниоки и сладкого картофеля в районах, где мышьяк (As) превышает 5 мг/кг, медь (Cu) 200 мг/кг и свинец (Pb) 4 мг/кг. Это относится к большей части медной ленты, как показано в таблице ниже.

Taблица 16 Показывает значительное поглощение загрязнения почвой в провинции Коппербельт. Средние величины концентрации загрязняющих элементов в мг/кг представлены по городам вместе с информацией о населении и действующих шахтах.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Китве** | **Муфулира** | **Чингола** | **Калулуши** | **Чилилабомбве** | **Чамбиши** |
| добыча полезных ископаемых | Никана и Миндоло | Муфулира | Нчанга и Чингола | Чибулума | Конкола | Чамбиши |
| As (мг/кг) | >5 | >5 | 3 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| Co (мг/кг) | >60 | >60 | >60 | 35 | 9 | 19 |
| Cr (мг/кг) | 36 | 36 | 36 | 16 | 25 | 16 |
| Cu (мг/кг) | >2200 | >2200 | >2200 | 1800 | 600 | 300 |
| Hg (мг/кг) | >0,06 | >0,06 | 0,035 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Ni (мг/кг) | 12 | 22 | 7 | 5 | 7 | 5 |
| Pb (мг/кг) | >60 | >60 | >60 | 5 | 5 | 5 |
| Zn (мг/кг) | >60 | >60 | >60 | 20 | 40 | 10 |

\*Из отчета Центрального статистического центра Замбии 2010г.

Концентрации, отмеченные зеленым, превышают местные и международные нормативы по загрязнению (EPPC, 2012)6] для почвы, пригодной для жилых и сельскохозяйственных целей, и концентрации, отмеченные синим, также могут быть выше (Lindahl, 2014).

Согласно отчету (Auditor General Report, 2014) в 2014 г. среднее содержание мышьяка, выброшенного в окружающую среду в провинции Коппербельт, составляло от 0,4 мг/л до 4,7 мг/л. ПДК Медь - от 2,7 до 151,3 мг/л, свинец-от 0,3 до 23,4 мг/л, а медный рудник Мопани имел выбросы; мышьяк - 38,8 мг/л, что в 77,6 раза превышало установленный ПДК в 0,5 мг/л; медь-854,2 мг/л, что в 854 раза превышало установленный ПДК; свинец-до 75,9 мг/л, что в 379 раз превышало установленный ПДК (Auditor General Report, 2014). В районах добычи полезных ископаемых были обнаружены чрезвычайно значительные концентрации металлических элементов, намного превышающие любые естественные уровни, что серьезно угрожает окружающей среде и местным сообществам вокруг них. Выбросы тяжелых металлов в районах добычи медной руды также являются значительными.

Taблица 17 Средняя концентрация общего количества металлов (Царская водка, медиана T) и средняя концентрация доступных металлов (медиана G) в районе плавильного завода Нкана, а также количество доступных металлов в почве, выраженное в процентах от общей концентрации металлов в почве (R %).

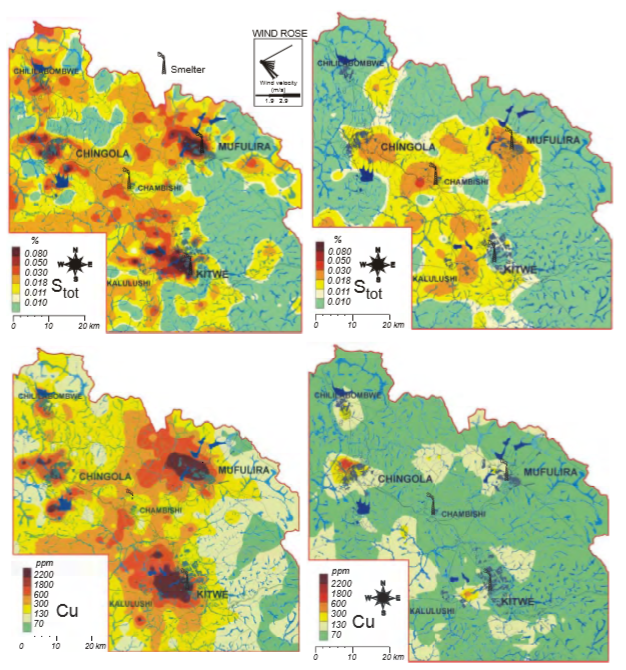
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Район плавильного завода нкана | | | |
| Металлов | Медиана G | Медиана G | R % |
| As | 2.91 | 0.86 | 29.6 |
| Co | 90 | 32 | 36 |
| Cu | 2027 | 1190 | 59 |
| Fe | 1.52 | 0.04 | 2.6 |
| Pb | 30 | 24 | 80 |
| Zn | 44 | 19 | 43 |

Таблица 18 Средняя концентрация общего количества металлов (Царская водка, медиана T) и средняя концентрация доступных металлов (медиана G) в Районах добычи Чингола, а также количество доступных металлов в почве, выраженное в процентах от общей концентрации металлов в почве (R %).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Районах добычи Чингола* | | | |
| Металлов | *Медиана G* | Медиана G | R % |
| As | *0.81* | 0.04 | 4.9 |
| Co | *18* | 7 | 38 |
| Cu | *457* | 223 | 49 |
| Fe | *1.43* | 0.03 | 2.1 |
| Pb | *20* | 4 | 20 |
| Zn | *24* | 9 | 38 |

По данным результатам рекомендуется сократить выращивание и потребление маниоки и батата в районах, где содержание мышьяка превышает 5 мг/кг, меди-200 мг/кг и свинца-4 мг/кг. В тех же районах следует поощрять выращивание кукурузы, поскольку было показано, что это не влияет на нее (Czech Geological Survey, 2007). Согласно отчету агентства по охране окружающей среды Замбии, в 2010 г. содержание мышьяка в свежих сельскохозяйственных продуктах из листьев маниоки и сладкого картофеля достигает 7 мг/л (14 раз больше доля ПДК—0,5 мг/л ) кобальта— 18,9 мг/л (37,8 раз больше доля ПДК-0,5 мг/л) , меди— 253,8 мг/л (169,2 раз больше доля ПДК—1,5 мг/л) , никеля— 3,4 мг/л, свинца— 5,04 мг/л (10,08 раз больше доля ПДК—0,5 мг/л)  и цинка— 161 мг  ( Environment Outlook Report, 2010; Auditor General Report, 2014). Установлено, что высокое содержание микроэлементов в почвах наряду с выбросами оксидов серы является причиной резкого снижения сельскохозяйственного производства кукуруза, маниока и сладкого катофеля в загрязненных районах Муфулира, Нкана, Китве Чингола Калулуши Чилилабомбве Чамбиши.

Согласно (Kříbek et al., 2014), почвенный горизонт В, как полагают, представляет естественный геохимический фон. Содержание Sобщ., Cu, Co, Cu и Hg выше в верхнем горизонте почвы по сравнению с нижележащим горизонтом (таблицы 17 & 18). Максимальные значения Sобщ. (рисунок. 7 A, B) и меди (рисунок. 7 C, D) в верхнем горизонте почвы характерны для районов, сильно подверженных осаждению пыли от плавильных печей и хвостохранилищ (Auditor General’s Report , 2014; Mwaanga P. et al. 2014). Напротив, средние значения Fe, V, Cr и Ni выше в нижележащем горизонте почвы, что указывает на их геогенное (естественное) происхождение. Исключение для этого горизонта составляет повышенное содержание никеля, обнаруженное в непосредственной близости от плавильных печей (Lindahl, 2014).



**Рис 21.** **Распределение общей серы (Stot) в верхнем слое почвы (A) и в горизонте В (B), а также распределение меди в верхнем слое почвы (C) и в горизонте В (D) в обследованном районе Коппербельт (Lindahl, 2014)**

Таблица 19 Средние, минимальные и максимальные значения параметров (pH, Sобщ., Fe…) В горизонте почвы А -от 10-20 см в районе Копербелта(Lindahl, J. 2014).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Переменная | Минимальное значение | Среднее значение | Максимальное значение |
| Sобщ., % веса (wt.%) | <0,01 | 0,02 | 1,42 |
| Fe, % веса (wt.%) | 0,10 | 0,97 | 7,13 |
| As, мг/л | <0,10 | 0,46 | 254,90 |
| Co, мг/л | <5 | 10 | 606 |
| Cr, мг/л | 1,6 | 16 | 595 |
| Cu, мг/л | 15 | 289 | 41,900 |
| Hg, мг/л | 0,002 | 0,014 | 8,2 |
| Ni, мг/л | <5 | <5 | 42 |
| Pb, мг/л | <10 | <10 | 21 |
| V, мг/л | <10 | 21 | 52 |
| Zn, мг/л | <5 | 13 | 450 |

Taблица 20 Средние, минимальные и максимальные значения в почвенном горизонте B района Копербелта (Kříbek et al., 2014)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Показатель | Мин. значение | Среднее значение | Макс. значение |
| Sсум. | <0,01 | <0,01 | 0,04 |
| Fe | 0.47 | 2.58 | 13,1 |
| **As** | <0,1 | 0,47 | 33,20 |
| **Co** | <5 | 5 | 65 |
| Cr | 20 | 54 | 256 |
| **Cu** | 6 | 35 | 1560 |
| **Hg** | <0,002 | 0,009 | 0,072 |
| Ni | <5 | 15 | 132 |
| **Pb** | <10 | <10 | 67 |
| V | <10 | 56 | 330 |
| Zn | <5 | 13 | 185 |

Накопление металлов в почве происходит в результате переноса ветром пылевых частиц (с сухих хвостохранилищ) и выпадения частиц из плавильных печей (Kříbek et al., 2014)7,143,152,155]. Основными загрязнителями почвы, которые встречаются в концентрациях (EPPC, 2012), достаточно высоки, чтобы представлять значительную опасность для здоровья человека, являются медь и кобальт (ZCCM, 2005; Auditor General Report, 2014; Mwaanga, 2019). Большие площади в пределах

Воздействие тяжелых металлов на человека может происходить в результате употребления в пищу продуктов, загрязненных металлами. Чрезмерное потребление пищи с высоким содержанием тяжелых металлов может вызывать токсические (острые, хронические или субхронические), нейротоксические, канцерогенные, мутагенные или тератогенные эффекты у людей. Потребление пищи, загрязненной тяжелыми металлами, может истощить некоторые важные питательные вещества в организме и вызвать ослабление иммунитета, задержку внутриутробного развития, и высокую распространенность рака верхних отделов желудочно-кишечного (Mwaanga, P et al., 2019; Ettler V et al, 2014). Кроме того, Cd и Pb могут вызвать ряд сердечно-сосудистых заболеваний, заболеваний почек, нервной системы, крови и костей и даже считаются потенциальными канцерогенами (Auditors Report 2014).

Производство меди -16 000 и добыча золота-6000 были одними из основных источников выбросов ртути в окружающую среду (ECZ, 2008(ECZ, 2017).

Согласно экологическому отчету за 2017 г, производство меди было одним из способов, ответственных за значительное количество выбросов ртути. При первичном производстве меди из концентратов используется более 16 т ртути, с другой стороны, примерно 6 т ртути используется для извлечения золота методами, отличными от амальгамации. Многие старые хвостохранилища остались необработанными новыми владельцами, что привело к продолжающемуся загрязнению окружающей среды и воздействию на соседние общины. Переносимые ветром частицы пыли из сухих хвостохранилищ приводят к накоплению металлов как меди, кобальта и других элементов в почве. Выбросы плавильных заводов, а также пыль, поднимаемая ветром из хвостохранилищ шахт и шлаковых отвалов плавильных заводов, как правило, являются основными точечными источниками загрязнения почвы в Замбийском Медном поясе (Auditor General Report, 2014). Некоторые хвостохранилища были расположены близко к человеческому жилью; их дестабилизация из-за отсутствия технического обслуживания и демонтажа вандалами дренажных сооружений, как опасались, может привести к значительному физическому и экологическому ущербу и, возможно, гибели человек . Исследование показали, что в загрязненных районах Медеплавильного завода, особенно в окрестностях плавильных заводов, концентрация меди в почвах достигает 3067 мг/кг, а концентрация кобальта-84,2 мг/кг (Krˇíbek et al, 2014). Также, выбросы S02 с плавильных заводов после преобразования в серную кислоту (H2S04) повлияли на почвы и вызвали потерю растительности с подветренной стороны выбросов из дымовых труб плавильных заводов (CEP, 2011).

Было обнаружено, что концентрации Cu в листьях маниоки из загрязненных районов горнодобывающего района Коппербельт чрезвычайно высоки и колеблются от 12,3 до 611,9 мг/кг (медиана 131,1 мг/кг), что отражало высокую степень загрязнения почвы (Krˇíbek et al, 2014). В ходе исследования был сделан вывод о том, что из-за высокого уровня загрязнения некоторых районов Замбийского района добычи медной руды, вызванного добычей и переработкой медных руд, местные культивируемые почвы и растения маниоки содержат повышенные концентрации меди.

Исследование, проведенное (Konečný L. et al., 2014), показало, что почвы в поселке Канкойо и других прилегающих районах, расположенных с подветренной стороны завода Муфулира, подверглись подкислению. Почвы были обнаружены с избыточным содержанием металлов в диапазоне 37-8980 мг Cu/кг, 3-46 мг Co/кг, <2,5–42 мг Pb/кг и 16-83 мг Zn/кг; с наименьшими значениями, соответствующими верхнему слою почвы с эталонных участков, расположенных в 24 км с подветренной стороны от плавильного завода (таблица 13).

Taблица 22 Расположение и свойства изученных почв в Муфулире (Konečný L et al., 2014).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Расстояние до плавильного завода (км)** | **Описание местоположения и глубины отбора проб** | **pH** | **Cu (мг/кг)** | **Co (мг/кг)** | **Pb (мг/кг)** | **Zn (мг/кг)** |
| 3.6 | Пастбища с подветренной стороны, 0–1 cm | 5.46 | 8980 ± 60.5 | 45.8 ± 0.48 | 41.6 ± 1.85 | 63.2 ± 0.14 |
| 3.6 | Лесная зона, с подветренной стороны, 0–1 cm | 5.39 | 2830 ± 39.6 | 21.0 ± 0.06 | 21.3 ± 0.14 | 64.8 ± 0.52 |
| 3.6 | Лесная зона, с подветренной стороны, 1–3 cm | 6.30 | 1140 ± 7.50 | 20.0 ± 0.23 | 23.2 ± 2.10 | 55.0 ± 0.95 |
| 3.6 | Лесная зона, с подветренной стороны, 3–10 cm | 6.70 | 1020 ± 5.52 | 19.9 ± 0.13 | 21.5 ± 0.22 | 51.4 ± 0.58 |
| 8.0 | Пастбища с подветренной стороны, 0–1 cm | 5.34 | 5480 ± 22.0 | 25.2 ± 0.10 | 39.1 ± 0.29 | 83.3 ± 1.41 |
| 8.0 | Пастбища с подветренной стороны 10–20 cm | 5.15 | 530 ± 448 | 14.2 ± 3.37 | 14.7 ± 6.62 | 49.0 ± 7.06 |
| 8.0 | Лесная зона, с подветренной стороны 0–1 cm | 6.85 | 3320 ± 58.2 | 23.5 ± 0.07 | 17.9 ± 0.02 | 50.8 ± 0.80 |
| 8.0 | Лесная зона, с подветренной стороны, 3–15 cm | 5.78 | 694 ± 24.4 | 5.41 ± 0.08 | 10.0 ± 0.03 | 28.5 ± 0.93 |
| 24 | Пастбища с подветренной стороны, 0–1 cm | 6.55 | 37.4 ± 0.22 | 2.70 ± 0.05 | 2.5 | 25.1 ± 0.12 |

Почвы также были протестированы на биотоксичность, которая показала, что размножение Enchytraeus crypticus (червей) было полностью подавлено в почвах с самой заначительнной концентрацией Cu 8980 мг/кг (таблица 12). Таким образом, загрязнение почвы является причиной плохого роста растительности и низкого биоразнообразия в Коппербельте. Исследований показали, что поверхностные образцы почвы содержат в десять 50 раз более высокие концентрации меди, чем подповерхностные образцы в большинстве медных сплавов (Ministry Of Mines ). Корнеплоды содержат больше свинца, чем листовые или плодовые культуры. Человек, проживающие в некоторых районах Китве на Коппербельте, не могут выращивать огороды на заднем дворе, которые страдают от некроза из-за накопления тяжелых металлов в почве и SO2 на листьях растений (Ministry Of Mines ).

Согласно отчету, ориентировочное соотношение меди в поверхностных почвах к подповерхностным почвам в районе Китве, который является основным районом добычи полезных ископаемых, указывало на более высокие положительные значения в диапазоне от— 2х до +50х ( Environment Outlook Report, 2010). Положительные значения указывали на то, что медь была выше в поверхностных почвах, чем в подповерхностных почвах (под землей). Так как, большая часть медной ленты имеет в 50 раз более высокие концентрации меди в поверхностных почвах, чем в подземных пробах (Auditor General Report, 2014). Как показано, загрязнение от продолжающихся горных работ еще более усугубляется переносимыми ветром частицами пыли (от сухих хвостохранилищ), приводящими к накоплению металлов (меди, кобальта и других элементов) в почве (Ministry Of Mines ).

Среднее количество пыли, которая была выброшена горнодобывающей промышленностью на медной полосе в 2009-2011 г., было выше установленного предела в диапазоне от 157,1 мг/л до 2679,5 мг/л (Auditor General Report, 2014). Это свидетельствует о том, что экологические последствия для медного пояса возникают из-за ветровой пыли и оползней из-за нестабильности хвостохранилищ, шлаковых и вскрышных отвалов.

#### Воздействие на Фауну и Флору

Проанализировано содержание металлов и мышьяка в листьях и клубнях маниоки (Manihot esculenta) и батата (Ipomoea batatas), произрастающих на незагрязненных и загрязненных почвах Замбийского горнорудного района Коппербельт. Содержание меди в листьях маниоки и батата (лат. Ipomoéa batátas), произрастающих на загрязненных почвах, достигает 612 мг/кг см2 и 377 мг/кг см2 соответственно. Содержание Cu в листьях обоих растений, произрастающих на незагрязненных почвах, значительно ниже (до 252 и 198 мг/ кг **Cu** соответственно) (Kříbek et al., 2014). Содержание **Co, As** и Zn в листьях маниоки и батата, произрастающих на загрязненных почвах, выше по сравнению с незагрязненными участками, в то время как содержание Pb существенно не отличается. В исследовании рекомендуется сократить выращивание и потребление маниоки и сладкого картофеля в районах, где мышьяк (As) превышает 5 мг/кг, медь (Cu) 200 мг/кг и свинец (Pb) 4 мг/кг.

Выбросы из шахт также содержат частицы пыли, содержащие медь, оксиды азота и органические кислоты, которые могут попадать в ручьи и влиять на водную фауну. накопление тяжелых металлов в почве и диоксида серы на листьях растений приводит к риску заражения некрозом. Инциденты со случайными прорывами выщелачивающих резервуаров горнодобывающих компаний привели к тому, что более ста гектаров кукурузы и овощных культур были уничтожены выбросами диоксида серы вдоль дорог Китве-Чингола на Коппербельте (ECZ, 2008; ECZ, 2017). Металлы могут как накапливаться в посевах, так и прилипать к ним через загрязненную воду, почву или воздух. Поскольку овощи и фрукты составляют значительную часть местного питания, их употребление в пищу является одним из путей воздействия на человека потенциально токсичных металлов (Kříbek et al., 2014; Auditor General Report, 2014). В случае маниоки и батата было показано, что в менее загрязненных районах только листья растений содержат повышенные концентрации металлов (Kříbek et al., 2014). По сравнению с маниокой и батата зерна кукурузы меньше подвержены промышленному загрязнению (ZCCM, 2005). В коппербелте многие люди прямо или косвенно зависят от ресурсов, предоставляемых водными экосистемами, главным образом за счет рыболовства. Помимо реки Кафуэ, хвостовые плотины в Коппербельте являются важным источником рыбы для местных сообщества. Несколько проб рыбы из Кафуэ и различных хвостохранилищ показали повышенные концентрации, особенно меди и кобальта, по сравнению с рыбой из незатронутых вод выше по течению горных работ (ZCCM, 2005).

Исследовательский эксперимент с рыбой в клетке (трехспотная тилапия) показал биоаккумуляцию многих микроэлементов уже после двухнедельного воздействия ниже по течению горной добычи (Norrgren et al, 2002). Было показано, что существует корреляция между расстоянием вниз по ветру от плавильных заводов Нкана и Муфулира и содержанием меди и мышьяка как в листьях маниоки, так и в листьях батата (Kříbek et al., 2014). При оценке концентраций металлов в рыбе по сравнению с руководящими значениями для перорального приема ясно, что непосредственный риск для здоровья не связан с потреблением рыбы из Медного корня (ZCCM, 2005). С эко-токсикологической точки зрения загрязнение металлов в Кафуэ является серьезным и влияет на здоровье водных животных (Kříbek et al., 2014).

Тяжелые металлы в основном воздействовали на чувствительных макропозвоночных каменных мух, поденок и ручейников, в то время как толерантные макропозвоночные амфиподы и пиявки наблюдались в реке Гангку ( Mudenda L., 2018). Несколько исследований по загрязнению ручьев в провинции Коппербельт показали, что концентрация тяжелых металлов превышает рекомендуемые национальные и глобальные стандарты для аквакультуры. в результате этого пострадал рост рыбы в реке Кафуэ, что повлияло на местное население, средства к существованию которого зависят от рыбоводства (ZCCM, 2005).

Taблица 23 Концентрации (мг/кг) металлов в немытых и тщательно промытых листьях маниоки с загрязненной территории региона Медного поля и количество химических элементов, удаляемых промывкой (% от концентраций в немытых листьях). MED = медианное значение, MAD = медианное абсолютное отклонение, количество выборок: 5 (Kříbek et al., 2014).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Название Элемент** | **Немытые листья MED ± MAD** | **Вымытые листья MED ± MAD %** | Выстиранный вешеств |
| As | 0.08 ± 0.01 | 0.07 ± 0.01 | 12.0 |
| Co | 1.30 ± 0.05 | 0.60 ± 0.03 | 53.8 |
| Cu | 35.95 ± 5.74 | 20.12 ± 1.12 | 44.0 |
| Fe | 800.20 ± 51.0 | 183.00 ± 0.0 | 77.1 |
| Pb | 0.71 ± 0.11 | 0.61 ± 0.11 | 14.3 |
| Zn | 345.20 ± 6.16 | 316.27 ± 4.43 | 8.4 |

Промытые листья маниоки на загрязненной территории также содержат более высокие концентрации Zn, Co и As, в то время как концентрация Pb низка и более или менее одинакова в растениях как из загрязненных, так и из незагрязненных районов. однако концентрации Cu, Co, Zn и Pb в промытых и очищенных клубнях маниоки оказались значительно ниже, чем концентрации в листьях. Таким образом, загрязненная почва также была связана со значительными уровнями тяжелых металлов-Cu, Co, As и Cd на медной полосе. Последствия загрязнения шахтного воздуха отчетливо видны в растительности некоторых населенных пунктов вблизи шахтных районов. Хорошим примером является тематическое исследование района Канкойо в Муфулире, где есть открытые пространства без растительности, и только отдельные кустарники и деревья, такие как кактусы, манго и авокадо, могут расти. (Krˇíbek et al, 2014).



Рис 20 В некоторых поселках Муфулира могут расти только устойчивые к загрязнению воздуха растения (Mwaanga,A,B, 2019).

Почвы в поселке Канкойо были обнаружены с избыточным содержанием металлов в диапазоне 37-8980 мг Cu/кг, 3-46 мг Co/кг, <2,5–42 мг Pb/кг и 16-83 мг Zn/кг (Mwaanga,A,B, 2019). Почвы также были протестированы на биотоксичность, которая показала, что размножение Enchytraeus crypticus (червей) было полностью подавлено в почвах с самой высокой концентрацией Cu 8900 мг Cu/кг. Таким образом, загрязнение воздуха является причиной плохого роста растительности и низкого биоразнообразия. В соответствии с (Ncube E., Banda C., Mundike J., 2012) исследовали степень ущерба, причиненного загрязнением шахтного воздуха растительности в Муфулире, и отметили, что выбросы SO2 из шахт вызвали физические повреждения, такие как некротическое пятно, пожелтение листьев, дефолиация и отмирание деревьев, которые были ближе к источнику выбросов.

#### Воздействие на здоровья человека

Научные исследования показали, что существует значительное загрязнение медного пояса, однако влияние загрязнения горнодобывающей промышленности на человека не установлено. было проведено несколько исследований, направленных на изучение последствий для здоровья. Ретроспективное исследование вышедших на пенсию шахтеров показало, что они страдали респираторными заболеваниями, связанными с загрязнением воздуха. По данным Всемирного банка (2005), загрязнение воздуха в городах, по оценкам, ежегодно приводит к 250 000 смертей и миллионам случаев респираторных заболеваний. Исследования показали, что токсикологические данные о загрязнении воздуха, собранные во всем мире, свидетельствуют о том, что человеческие жертвы могут быть вызваны кратковременным воздействием атмосферных уровней SO2, превышающих 1000 мкг/л. Такие уровни были обычным явлением, особенно в шахтерских городах Китве и Муфулира.

Урок, который был извлечен из наследия горнодобывающей промышленности в Замбии, заключается в том, что воздействие токсикантов на человека может сохраняться в течение десятилетий, в течение длительного времени после закрытия горнодобывающих операций в любом конкретном районе, как это было отмечено в кабве. Город Кабве-столица Центральной провинции Замбии, которая имеет долгую историю открытой добычи Pb-Zn с момента ее открытия в 1902 г. и прекращения деятельности в 1994 г.. В нескольких исследованиях были проанализированы концентрации Pb и Cd в крови, кале и моче детей из трех поселков, расположенных вблизи заброшенного свинцово-цинкового рудника в Кабве (Ministry Of Mines ;CEP, 2011). Они обнаружили, что Pb в кале (до 2252 мг/кг, сухой вес) и Pb в моче (до 2914 мг/л) были чрезвычайно значительными. Концентрация Cd в образцах крови (CdB) до 7,7 мг/л, кала (до 4,49 мг/кг, сухой вес) и мочи (до 18,1 мг/л) также была повышена.

Дети, проживающие в населенных пунктах, которые были близки к и в направлении преобладающих ветров с заброшенных шахтных свалок, зафиксировали самые высокие концентрации металлов в своих телах, поскольку было обнаружено, что у всех 246 отобранных детей были признаки отравления свинцом, причем уровень свинца в крови (BLL) превышал 5 мкг дЛ−1 ‘уровень беспокойства’, установленный Центром по контролю заболеваний (CDC) (Mwaanga,A,B, 2019; CEP, 2011). Поэтому загрязненная пыль была основным путем воздействия на пострадавшие населенные пункты. У медянки есть аналогичные обстоятельства, особенно в Муфулире, особенно в Канкойо, где люди пострадали от эмиссий SO2 с плавильных заводов и китве. Воздействие свинца в окружающей среде является известным фактором риска развития нарушений нейродинамики, таких как снижение коэффициента интеллекта (IQ), боли в животе, энцефалопатия, слепота, судороги глухоты, кома и смерть у детей (Mwaanga,A,B, 2019). В целом, у людей более высокие концентрации свинца в крови были связаны с гипертонией, электрокардиографическими нарушениями, заболеваниями периферических артерий, гипертрофией левого желудочка и смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний. В шахтерских городах провинции Коппербельт шахтеры и жители постоянно подвергаются воздействию повышенных концентраций SO2 и ТЧ. По данным Бернетта (2015), жители шахтерских городов, особенно Муфулира, жалуются на целый ряд заболеваний, включая туберкулез легких (ПТБ) и другие респираторные осложнения, связанные с загрязнением шахтного воздуха (Mwaanga,A,B, 2019). Избыток меди в печени может переполняться и накапливаться в почках, мозге и глазах, и известно, что он влияет на клетки печени или убивает их, вызывает неврологические повреждения и влияет на то, как человеческий организм поглощает цинк и железо (Auditor General Report, 2014).

Шахтная деятельность в Замбии часто косвенно приводила к другим социальным и экологическим проблемам. Одной из важнейших проблем для новых горнодобывающих районов является значительное увеличение численности населения. Быстрая внутренняя миграция создает чрезвычайное давление на гражданские функции, такие как обеспечение питьевой водой и очистка сточных вод. В Коппербельте, где миграция была огромной, очистные сооружения все еще борются за производство питьевой воды из реки для населения, живущего в урбанизированных районах. Несмотря на то что самая большая угроза качеству питьевой воды в Коппербельте исходит не от загрязнения металла шахтами, а от неадекватного обращения с отходами сточных вод (ZCCM, 2005), горнодобывающая деятельность в значительной степени является определяющим фактором загрязнения воды. Это потому, что вокруг Коппербельта есть много мест, где сточные воды текут непосредственно в окружающую среду, которые помимо загрязнения воды фекальными бактериями также оказывают негативное влияние на водную жизнь из-за истощения кислорода (Kříbek et al., 2014).



## Анализ загрязнений объектов окружающей среды в Катанге.

#### Воздействие на воды (поверхностных и подземных)

Изменения качества воды широко считаются наиболее значимыми последствиями горнодобывающей деятельности. Эксплуатационная деятельность по добыче полезных ископаемых часто оказывает несколько неблагоприятных гидрогеологических воздействий, включая изменения в местной (а иногда и региональной) динамике подземных вод как с точки зрения качества и количества воды, так и направления ее стока (ECZ, 2008; ECZ, 2017; Auditor General’s Report 2014). Отходы, связанные с добычей полезных ископаемых, потенциально могут загрязнять водные объекты, воздух и почву. Загрязнение воды является наиболее распространенной проблемой, связанной с отходами шахт и опасными материалами, используемыми или образующимися в результате горнодобывающей деятельности (Auditor General Report, 2014); Lindahl, 2014; (Krˇíbek et al, 2014).

Расположение многих горных работ в доломитовых формациях или вблизи них часто вызывает особую озабоченность у городского населения, которое полагается на эти доломитовые водные ресурсы для регулярного и аварийного водоснабжения. Из-за добычи полезных ископаемых в Катанге в реки, ежегодно сбрасывается несколько тысяч тонн сточных вод которые не проходят надлежащую очистку. Например, В реку Кафубу были сброшены токсичные отходы добычи. В результате расследования, были выявлены загрязнения реки Кафубу мышьяком, содержащимся в воде подземной шахты, амилксантатом, цианидом, флокулянтами. Это загрязнение распространилось на расстояние более или менее 200 Км по реке Кафубу. Уровень мышьяка – 2,8-6,8 мг/л превысил стандарты ВОЗ (0,4) в 7-17 раз, в то время как рН выбросов достиг 11,3 (Zientek, et al 2014). Отходы хвостохранилища выщелачиваются в Восточном бассейне, соединенном с рекой, Панда. Затем Панда впадает в реку Луфира, которая, в свою очередь, впадает в озеро Тшангалеле, а затем еще дальше на Север. Впоследствии в результате загрязнения одной реки горнодобывающей промышленностью пострадали и другие реки, ручьи и озера. Это делает загрязнение воды настолько опасным, что загрязненные источники воды используются многими общинами, живущими поблизости.

В следующую таблицу приведены стандарты качества воды.

Taблица 24 Максимальная разных вешеств концентрация загрязняющих веществ в воде (добыча полезных ископаемых в мг/л) (Squadrone S. et al., 2016).

|  |  |
| --- | --- |
| Определитель | Максимальная концентрация мг/л (за исключением случаев, когда указано) |
| Температура на краю зоны | смешивания на 5°C выше максимальной температуры окружающей среды приемных вод и максимум на 3°C, если температура окружающей воды составляет 28°C или более |
| Биологическая потребность в кислороде | 50 |
| Острая токсичность | Превышает острый уровень, указанный для пресноводных рыб и ракообразных |
| pH | 6-9 единицы |
| Взвешенные твердые вещества | 100 |
| **Мышьяк** | 0,4 |
| **Медь** | 2,0 |
| Цианид, всего | 6,0 |
| Железо | 0,5 |
| **Свинец** | 0,002 |
| **Ртуть** | 1,0 |
| Никель | 10,0 |
| Углеводороды | 10,0 |

В таблице 24: приведены глобальные стандарты Инициативы по обеспечению ответственной добычи полезных ископаемых (IRMA) для различных видов использования качества воды.

Taблица 25 Критерии Качества Поверхностной Пресной Воды ИРМЫ (IRMA, 2018)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Металла/ Металлоидов** | **Критерии** | **Единиц измерения** | **Наиболее Чувствительный Использования** | **Источник** |
| Алюминий | мкг/л | 30 | Аквакультура | AUS, ВОЗ |
| Мышьяк | мкг/л | 10 | Здоровье человека - Питьевая вода | USEPA, Health CA, AUS, ВОЗ |
| Кадмий | мкг/л | x⁵ | Водные организмы Пресная вода | USEPA |
| Хром (Всего) | мкг/л | 50 | Здоровье человека - Здоровье питьевой воды | CA, AUS, ЕС, ВОЗ |
| Хром (VI) | мкг/л | 20 | Аквакультура | ВОЗ |
| Кобальт | мкг/л | 50 | Сельское хозяйство - Орошение | AUS, CCME, ФАО, USEPA, SA |
| Медь | мкг/л | x⁵ | Водные организмы Пресная вода | USEPA |
| Железо | мкг/л | 10 | Аквакультура | AUS, ВОЗ |
| Свинец | мкг/л | x⁵ | Водные организмы Пресная вода | USEPA |
| Марганец | мкг/л | 10 | Аквакультура |  |
| Ртуть | мкг/л | 0,07 | Водные организмы Пресная вода | AUS |
| Никель | мкг/л | x⁵ | Водные организмы Пресная вода | USEPA |
| Уран 238 | мкг/л | 15 | Водные организмы Пресная вода | CCME |
| Уран 238 | бк/л | 1 | Здоровье человека - Питьевая вода | ВОЗ |
| Цинк | мкг/л | x⁵ | Водные организмы Пресная вода | USEPA |

Согласно исследование (Kalenga J., 2013) загрязнение воды, почвы, растений и рыб происходит в результате горнодобывающей деятельности. Промышленные отходы (жидкие или твердые) сбрасываются в реки, почву и воздух. Загрязнение воды привело к гибели рыб в прудах, принадлежащих жителям деревни Кипуши, расположенной примерно в двадцати километрах от Лубумбаши, где компании перерабатывают полезные ископаемые (Kalenga J., 2013).

В ходе исследования (Ngelinkoto et al, 2014) было выявлено что самые значительные значения микроэлементов в мышечной ткани рыб были обнаружены для Cr, Cu, Pb и Hg, с максимальными значениями 8,6 (Cr), 15,7 (Cu), 6,0 (Pb) и 3,3 (Hg) мг/кг. Было показано что эти значения превышают ПДК, рекомендованные Регламентом Европейской комиссии в отношении пищевых продуктов. Самые значительные концентрации металлов в отложениях было 81 (Cr), 86 (Cu), 21 (Sb), 41 (Pb) и 0,8 (Hg) мг/кг. Значения Cu во всех пробах отложений было выше, чем в канадских рекомендациях по качеству отложений (Таблица 7).

Результаты исследования (Atibu E. K. et al. 2013), проведенного в 2013 г. на реках в Катанге, показали, что в целом концентрации металлов в местах отбора проб из сточных вод горнодобывающей промышленности и речных вод в значительной степени тоже превышают рекомендуемые пределы Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Руководящих принципов по качеству водных ресурсов для защиты водных организмов. Самые значительные концентрации металлов в пробах воды и осадков были обнаружены вокруг сброса сточных вод горнодобывающей промышленности. В поверхностных отложениях реки Луйлу наблюдались значения 4,7∙104 и 1,3∙104 мг/кг для Cu и Co соответственно, что в 10-350 раз превышают вероятные уровни воздействия (PEL), предусмотренные Руководящими принципами по качеству донных отложений для защиты водных организмов (Atibu E. K. et al. 2013). Для пробы отложений из реки Мусоной наблюдались максимальные значения 370,8 и 240,6 мг/кг для Cu и Co соответственно. Сточные воды горнодобывающей промышленности, сбрасываемые в реки, и накопление загрязняющих веществ в донных отложениях могут представлять собой источник токсичности для водных живых организмов и могут представлять значительный риск для здоровья человека.

Предварительные результаты исследование показали в 2013, что наиболее сильно загрязненный водосбор – река Панда – имеет металлическую структуру, полностью сходную по форме с выщелачиванием отходов, хотя и менее концентрированную в 103 раза. Река Панда, река Луфира и озеро Тшангалеле показали похожие результаты. Содержание металлов в них значительно выше (в 10-102 раза), чем в международных правилах ВОЗ (питьевая вода) только для Mn, Co и Ni (Zientek, et al 2014). Гидрогеологические воздействия часто связаны с ненадлежащим размещением объектов по удалению отходов открытой и подземной добычи, таких как хвостохранилища и шламовые пруды, на поверхности или в открытых карьерах. Это приводит к образованию просачивающихся насыпей, снижению качества воды и изменению скорости и направления движения подземных вод (Auditors Generals Report, 2014).

Исследования трех рек: Шинколобве, Луиша и Кансонга, вблизи мест добычи полезных ископаемых (Шинколобве, Хева-бора и Кансонга) в период с октября по декабрь 2010 г. Ниже приведена таблица, показывающая результаты отбора проб воды.

Taблица 26 Результаты определения металлов в пробах воды

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Cr-H2 | Fe | Co | Ni-H2 | Cu-H2 | As | Cd | Pb | U |
| мкг/л | мкг/л | мкг/л | мкг/л | мкг/л | мкг/л | мкг/л | мкг/л | мкг/л |
| Синколобве | 2,85 | 51,57 | 16,83 | 2,89 | 337,2 | 8,03 | 0,89 | 20,69 | 25,83 |
| Луиша | 3,78 | 16,78 | 59,81 | 4,56 | 70,32 | 4,16 | 1,96 | 28,08 | 0,00 |
| Кансонга | 5,54 | 47,98 | 31,83 | 5,89 | 102 | 7,22 | 2,13 | 29,08 | 22,58 |

Для приведенных выше результатов были сделаны следующие выводы: Самый высокий показатель урана в Шинклобве, а самый низкий в Луише. В Шинклобве и Кансонге показатели выше ПДК (0.015-1 мг/л). Для **мышьяка** самый Значительно показатель – 8,03, а самый низкий – 4,16 мг/л. Для **свинца** наибольшее содержание составило 29,08 мг/л (участок Кансонга), а наименьшее - 20,22 мг/л (участок Шинколобве). Значения на всех участках **превышают ПДК свинца (0,02 мг/л).** Значения в Кансонге и Луише превысили ПДК (0,01 мг/л). Для **меди** наибольшее содержание составило 337,2 мг/л (Шинколобве), а наименьшее - 70,32 мг/л (Луиша). Для никеля, самое высокое содержание было 5,89 мкг/л (Кансонга), а самое низкое содержание было 2,89 мкг/л (Шинколобве). ПДК составляет менее 20 мкг/л или 0,02 мг/л. **Кобальт** имеет высокую концентрацию 59,81 мг/л в Луише, а самое низкое содержание было 16,83 мкг/л в Шинколобве. В воде кобальт вызывается естественной эрозией, выщелачиванием почв, промышленными сбросами и очисткой промышленных стоков и шахт. Кобальт может оказывать негативное влияние на организм, может вызвать легочные заболевания (респираторные затруднения, возможно, приводящие к астме или пневмонии у рабочих, вдыхающих насыщенный кобальтом воздух) (Auditors Generals Report, 2014).

Процессы добычи полезных ископаемых и фрезерования приводят к выбросам загрязняющих веществ в окружающую среду, которые ранее были в значительной степени неподвижны (Auditors Generals Report, 2014). Наиболее известным примером является дренаж кислых пород, где воздействие активных руд на кислород, воду и бактерии приводит к образованию вредных выщелачивающих веществ, которые оказывают значительное воздействие на окружающую среду (Auditors Generals Report, 2014). Исследование отходов хвостохранилищ шахт в Kатанге показало, что они являются выщелачивающимися. Эти отходы показали выщелачивание количеств выше 30%, 50% и 60% для пирометаллургических шлаков, хвостов флотации и гидрометаллургических отходов соответственно (Chanda S.,2017). Исходя из этих значений количества выщелачивания, эти шахтные отходы были охарактеризованы как "выщелачиваемые с риском для окружающей среды", особенно для подземных вод и почвы (Kaniki et al, 2018).

Согласно с (Kalenga J., 2013) aнализ воды в реке Кафубу показал, 0,68 (мг/л) никеля, 5,22 (мг/л) кадмия, 0,5 (мг/л) свинца, 6,80 (мг/л) кобальта и 1,41 (мг/л) меди. В провинциях Катанга и Киву реки и почвы находятся под серьезной угрозой деградации в результате регулярного сброса загрязненных сточных вод, образующихся в результате горнодобывающей промышленности, горнодобывающей промышленности и кустарной эксплуатации, а также загрязнения воздуха, которое происходит от фабричных выбросов, а также от пыли, поднимаемой горнодобывающей деятельностью.

Как в Замбии также и в ДРК, вода, поступающая с заброшенных шахт, таких как хвостохранилища и отвалы горных пород, загрязняет ручьи и землю. Вода, просачивающаяся из хвостохранилищ в забое, может вызвать повышение уровня грунтовых вод; это приближает соленую воду к поверхности и в конечном итоге повреждает растительность, поскольку эта вода в конечном итоге используется ничего не подозревающими коммунальщиками, которые зависят от рек и ручьев вблизи шахт.

Большинство изменений в количестве подземных вод, связанных с добычей полезных ископаемых, связаны с деятельностью по обезвоживанию, когда шахты добывают большие объемы воды хорошего качества для обеспечения безопасной и экономичной добычи полезных ископаемых. Экологические последствия обезвоживания включают снижение уровня грунтовых вод, образование провалов и локальное оседание.

Распад пирита и других сульфидов водой или воздухом приводит к выделению кислоты, сульфатов и металлов в окружающую среду. Это называется дренажом кислотных шахт (также называемый дренажом кислых пород) [150, 152]. Подкисление воды оказывает немедленное пагубное воздействие на водные экосистемы. Прямым эффектом является превращение ниже рН 4,2 всех карбонатов и бикарбонатов в углекислоту, которая диссоциирует на углекислый газ и воду. Это разрушает бикарбонатную буферную систему в воде, которая действует как регулятор кислотности. Во-вторых, поскольку многие фотосинтетические организмы используют бикарбонат в качестве источника неорганического углерода, их способность к фотосинтезу ограничена или полностью разрушается по мере разложения бикарбоната и становится менее доступной (Auditor General Report, 2014). В-третьих, разложение (и, следовательно, круговорот питательных веществ) будет уменьшаться и в конечном итоге прекратится в водоемах, сильно пострадавших от притока кислот (IRMA, 2018). В-четвертых, кислотные воды убивают некоторые организмы, разрушая ионный баланс или повреждая клеточные компоненты или карбонатные экзоскелеты (Auditor General Report, 2014).

Исследование (Atibu E. K. et al., 2016) влияния прошлой горнодобывающей деятельности (т. е. заброшенной шахты) на водные экосистемы было проведено для анализа следовых металлов и редкоземельных элементов (РЗЭ) в пробах отложений из реки Лубумбаши (RL) и канала Тшамилемба (CT), Катанга (DRC). Результаты показали значительные концентрации микроэлементов в поверхностных отложениях Катанга, достигающие значений 4·105, 1,6·105 мг/кг, 610 мг/кг, 1·105 мг/кг, 6·105 мг/кг и 1,5·105 мг/кг для Cu, Co, Zn, Pb, Fe и Mn соответственно. В RL концентрации достигли значений 2,4·104 мг/кг, 2·103 мг/кг, 5,5·104, мг/кг ,3,3·103, 6,8·105 и 769 мг/кг для Cu, Co, Zn, Pb, Fe и Mn соответственно. Редкоземельных элементов варьировался от 66 до 218 и 142-331 мг/кг для КТ и РЛ соответственно. В шахтных водах регистрировался широкий спектр геохимических условий, в результате чего сообщалось о различных концентрациях со (таблица) (De Putter T. et al, 2011; Ziwa G., et al, 2020; Atibu E. K. et al., 2016). Значительные концентрации. Со в подземных водах, сточных водах и стоках в основном объяснялись выветриванием и растворением сульфидных руд и вторичных минералов в регионах с кислым рН. Исследование показало, что окисление пирита и, наоборот, восстановление Fe может привести к высвобождению Co и других микроэлементов из хвостов и других твердых отходов шахт. Однако в Катанге была зафиксирована низкая концентрация кобальта в 3164 мг/л в сточных водах и воде горнодобывающей промышленности до 1960 г до 2020 г.. Исследование показало, что самые значительные концентрации Co были обнаружены в водах, близких к зоне сброса сточных вод горнодобывающей промышленности.

В исследовании отмечалось (Ziwa G., et al, 2020), что концентрации кобальта в донных отложениях ручьев из горнодобывающих районов ДРК были во много раз значительнее, чем руководство по качеству донных отложений, установленное CCME (2010) для защиты водной флоры и фауны в размере 35 мг/кг Co. Исследование также показало, что концентрации Co в донных отложениях ручьев снижались с увеличением расстояния от шахт, что свидетельствует о значительном разбавлении донных отложений ниже по течению (Ziwa G., et al, 2020; Atibu E. K. et al., 2016).

Рассмотрение плана шахт камото показал, что вода, откачиваемая из открытых карьеров, сбрасывается в реку Луилу, которая является источником пресной воды для местного населения. Оценка загрязнения пищевой цепи микроэлементами — **Cu, Co**, Zn, **Pb**, Cd, **U,** V и **As**— в 2010 г., в бассейне Верхней Луфиры, Катанга (ДР Конго) указало на высокое содержание меди— 70,9 мг/л и кобальта— 32,3 мг/л в сточных водах, подтвердило загрязнение бассейна сточными водами из Луфирского комплекса гидрометаллургического Шитуру (Zientek, et al 2014; Squadrone S. et al. ., 2016).

Хвостохранилища бассейна Кипуши, а также хвостохранилища, отложения и сточные воды района Ликаси, расположенные вблизи важных населенных пунктов, являются потенциальными источниками загрязнения окружающих территорий в результате дефляции (Malaisse, F., 1997) . Хвостохранилища, а также плотины для хранения воды в земляных стенах и бермы способствуют загрязнению местных и региональных источников водоснабжения путем просачивания через стены плотины или вокруг них, или через нарушения и/или сбои самих плотин (Auditor General Report, 2014).

#### Воздействие на Воздух

Процессы добычи полезных ископаемых выделяют различные газы, пары металлов и пыль, а также радиоактивные частицы в более широкую окружающую среду через сброс из дымовых труб плавильных заводов, смыв или выщелачивание из необработанных и восстановленных шахтных отвалов и свалок или в качестве компонентов пыли шахтных отвалов (ECZ, 2017; Auditors Generals Report, 2014)]. В соответствии с руководящими принципами Всемирной организации здравоохранения качество воздуха в Демократической Республике Конго считается небезопасным. свидетельствуют о том, что среднегодовая концентрация ТЧ2,5 в стране составляет 45 мкг/л, что превышает рекомендуемый максимум в 10 мкг/л.

Воздействие на окружающую среду пыли, газов и твердых частиц, переносимых ветром в результате горнодобывающей деятельности, в первую очередь связано со здоровьем человека и ущербом экосистеме. Однако также были зарегистрированы сообщения о токсичности меди для крупного рогатого скота и дикой природы, вызванной выбросами из медных рудников (IRMA, 2018). Исследование показало значительную распространенность респираторных жалоб у конголезских шахтеров, причем на рабочих станциях по добыче колтана были обнаружены значительные уровни ТЧ2,5 в воздухе (диапазон 180-210 мкг/л ) и ЛОС (диапазон 1,4–2,3 мкг/л ) по сравнению с контрольными участками (19-44 и 0,5–0,8 мкг/л соответственно) (Ngombe, et al, 2018).

К числу факторов, способствующих ухудшению качества воздуха в Катанге, относятся сжигание отходов, Добыча полезных ископаемых, переработка полезных ископаемых, лесное хозяйство и цементная промышленность. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что в Киншасе наблюдается стабильно значительный уровень загрязнения воздуха (Travel Health Journal). В соответствии с (Nkulu C. et al., 2018) было продемонстрировано, что существует весьма значимая корреляция между степенью обогащения кобальтом поверхностной пыли и уровнем кобальта в моче и крови взрослых и детей-жителей, что убедительно указывает на то, что воздействие пыли (а не, например, загрязнение питьевой воды) является доминирующим путем для чрезмерного потребления кобальта.

В следующих таблицах приведены стандарты качества загрязнения воздуха

Taблица 28 Пороговые значения загрязнения воздуха

|  |  |
| --- | --- |
| **Природа загрязняющего вещества** | **Пороговый предел мг/л** |
| **Твердые частицы (<10 мкм):** | |
| Среднегодовое значение | 100 |
| Средний максимум за 24 часа | 500 |
| **Оксид азота в виде NO2:** | |
| Среднегодовое значение | 100 |
| Средний максимум за 24 часа | 200 |
| **Диоксид серы** | |
| Среднегодовое значение | 100 |
| Средний максимум за 24 часа | 500 |

Добыча полезных ископаемых в промышленном масштабе оказывает значительное влияние на качество воздуха. В Катанга существует серьезная проблема загрязнения воздуха пылью с мелкодисперсными частицами тяжелых металлов, возникающей в результате фрагментации и перемещения горных пород. Исследование, проведенное Центром Картера в 2012 году, показало, что образцы пыли, взятые из домов в близлежащих районах Ruashi Mining и CHEMAF, загрязнены кобальтом (840 мг/кг сухого вещества) и свинцом (724 мг/кг сухих веществ) (Simutanyi, 2008).

При плавке руды в атмосферу выбрасывается большое количество SO2, а также металлическая пыль. Выбросы SO2 и металлоносных частиц, производимых медеплавильной промышленностью в течение более 80 лет в окрестностях города Лубумбаши, привели к деградации лесных массивов и их замещению открытыми лугами и эрозиями почвой в районе, расположенном с подветренной стороны медеплавильного завода (Mees et al, 2013). В таком сильно деградировавшем виде ландшафт, большие площади голой почвы подвержены эрозии осадками во влажный сезон и перенос частиц ветром в сухой сезон. Недавно, чтобы оценить воздействие загрязнения на человека в Катанге, (De Putter et al., 2011) измерено концентрация металлов и металлоидов в моче людей, живущих вблизи шахт или плавильных заводов растения. Концентрации Co и других металлов были выше у человек, живущих вблизи шахт или рудников. плавильные заводы, превышение базового значения центров по контролю и профилактике заболеваний (CDC).Из-за преобладающих юго-восточных ветров металлургическая промышленность в Лубумбаши была источником пространственное концентрированных атмосферных отложений частиц цветных металлов и связанных с ними веществ в конусообразной зоне, расположенной к северо-западу от первоначального места обработки металла (Montejano A. ,2013; Cloudfront.net).Мышьяк выделяется в атмосферу как из природных, так и из антропогенные источники. Большая часть антропогенных выбросов выбрасывается из металлургических заводов и сжигание топлива. Основные источники антропогенных выбросов Pb в глобальном масштабе включают сжигание ископаемого топлива из, например, транспорт, утилизация отходов и производство цветных металлов, железо, сталь и цемент. Вклад в выбросы от Pb в Киншасе больше не ликвидируют бензин (Kabamba M. et al., 2016).Частицы аэрозолей, обогащенные тяжелыми металлами и другими веществами, такими как кремний, могут быть чрезвычайно зловещими для фауны, флоры, а также для здоровья человека (De Putter et al, 2011).

Отходы горнодобывающей промышленности также могут представлять опасность для близлежащих общин, поскольку хранение любых больших объемов любого материала за дамбами и/или в сооруженных очистных сооружениях может привести к катастрофическому отказу (Auditor General Report, 2014; IRMA, 2018). Добыча полезных ископаемых также является основным потребителем энергии и источником выбросов парниковых газов, таких как окись углерода, оксиды азота и метан. По данным Международного совета по горнодобывающей промышленности и металлам, выбросы парниковых газов в горнодобывающей промышленности относятся к двум основным категориям ( Mudenda L., 2018; IRMA, 2018):

* первая-это прямые выбросы в результате использования ископаемого топлива при добыче и переработке полезных ископаемых, транспортировке руды и производстве электроэнергии на удаленных объектах, а также летучие выбросы.
* Во-вторых, косвенные выбросы от использования электроэнергии, в первую очередь при переработке и плавке.

Согласно Schwela D, (2005) ДРК в 2005 г. не имела средств мониторинга качества воздуха и, столкнулась со следующими проблемами: отсутствие законодательной базы для мониторинга качества воздуха; Разработка общего природоохранного законодательства и нормативных актов и, в частности, законодательства о загрязнении воздуха; Создание адекватной инфраструктуры в отношении надзора и контроля за качеством воздуха ; и отсутствие правоприменения из-за институциональной слабости. Это в значительной степени объясняет, почему качество воздуха в ДРК-Катанге не было хорошо задокументировано

#### Воздействие на почвы

Процесс строительства, возведения и ввода в эксплуатацию новой инфраструктуры горнодобывающей промышленности часто приводит к крупномасштабным изменениям окружающей среды, особенно на ландшафтном и экосистемном уровнях. Горнодобывающая деятельность вызывает изменения в почвенном покрове, сопровождающиеся фрагментацией ландшафта, эволюцией от экстенсивных крупномасштабных к мелкомасштабным денудационным участкам, регрессией растительного покрова и обезлесением. Воздействие на окружающую среду на уровне ландшафта, как правило, проявляется в форме изменения ландшафта и фрагментации или рассредоточения биологических сред обитания, популяций, сообществ и экосистем. Они также включают в себя изменение структуры потоков, особенно там, где шахты должны быть обводнены. В этих почвах накапливаются микроэлементы в результате выпадения атмосферных осадков из рудоплавильного завода, выветривания минералов, содержащих металлы в почве, или наличия рудничных отложений.  Кроме того, могут образовываться солевые эфлоры, включающие различные токсичные металлы, которые локально идентифицируются как важные векторы для рассеивания металлов (Atibu E. K. et al. 2013).

 Более ранние исследования показали, что в металлизированных почвах исследуемого района суммарные концентрации меди и кобальта выше, чем в неметаллических почвах (в 10-100 раз) (Ngombe et al., 2016). Были выделены три типа почв, подверженных воздействию добычи и переработки руды:

* 1. рудные залежи из карьера,
  2. голые почвы, загрязненные металлогеническими осадками медеплавильного завода и
  3. хвосты гидрометаллургического процесса (Ngombe et al., 2016).

Для анализа были выбраны элементы: **Cu, Co, As,** Zn, **Pb** и Cd, которые напрямую связаны с добычей полезных ископаемых в Катанге. Кроме того, известно, что они являются токсичными и опасными при значительных концентрациях.  Концентрации Cu, Co, As, Zn, Pb и Cd в почве в катанге варьировались от 11 мг / кг до 1,2·105 мг/ кг, от 2 мг/кг до 2,2·105 мг / кг, от 5 мг/кг до 233 мг/ кг, от 11 мг/кг до 2,2·105 мг/кг (Ngombe et al., 2016;Ziwa G., et al, 2020;Atibu E. K. et al., 2016). Другие исследование как (Ngombe et al., 2016) также показало, что первый квартиль концентраций кобальта (71 мг/кг) в тех же пробах также значительно выше местного ПДК (17 мг/кг), но в пределах или ниже допустимых уровней для СО в Канаде (диапазон от 4 мг/кг до 300 мг/кг). Таким же образом, первый квартиль концентраций As, Cd, Pb и Zn было рассмотрено как геохимический фон (например, 15 мг/кг, 0,5 мг/кг, 12 мг/кг и 32 мг/кг соответственно для As, Cd, Pb и Zn). Что касается Cu и Co, то это значение As (т. е. 15 мг/кг) значительно превышает допустимые уровни для As в Канаде (т. е. 12 мг/кг).

Основные экологические последствия, связанные с процессами плавки и переработки, включают загрязнение почв, водотоков и даже целых пищевых цепочек, вызванное выщелачиванием и транспортировкой загрязняющих веществ из запасов руды и мест захоронения отходов. Анализ почвы в вдоле река Кафубу показал концентрацию 35,88 мг/л кобальта, который является основным загрязняющим элементом почвы; 5,62 мг/л меди; 5,57 мг/л свинца, 2,74 мг/л никеля и 4,20 мг/л кадмия (Pourret et al., 2016). Это свидествует о том, что тяжелые металлами является главными загрязнителями почвы в регионе. В тяжелых условиях разрушение стены плотины может привести к крупномасштабному загрязнению почвы и потере жизнеспособных земель для сельскохозяйственных и других форм использования, а также к потенциальной гибели людей. В ходе предварительного исследования загрязнения окружающей среды вокруг горнодобывающих и перерабатывающих центров в Катангском медном поясе настоящее исследование подтверждает значительный уровень тяжелых металлов в хвостах и связанных с ними материалах (Mees et al, 2013; (Ngombe et al., 2016;Ziwa G., et al, 2020;Nkulu C. et al., 2018).

Другие исследование (Malaisse, F., 1997: (Ziwa G., et al, 2020;Atibu E. K. et al., 2016;Squadrone S. et al. ., 2016;Nkulu C. et al., 2018) в Кипуши показало, что для всех проб были выявлены значительные концентрации MgO и CaO. Пробы субстрата из района Ликаси с значительными концентрациями СaО показали высокое содержание Cu (1%) и концентрацию Co до 0,38% как показа в таблице ниже.

Taблица 29 Концентрация водорастворимых соединений тяжелые металлы

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Пробы | **Cd** | **Co** | **Cu** | **Ni** | **Zn** |
| KPG 1a | 5.94 | 1299 | 98.9 | 8.66 | 390 |
| NGY 4a | 14.24 | 2544 | 357 | 15.7 | 695 |
| LKA 5a | 2.40 | 482 | 25.1 | 3.54 | 201 |
| BLK 1 | 2.21 | 1584 | 19.2 | 11.6 | 178 |
| BLK 5a | 1.48 | 114 | 34.1 | 1.07 | 60 |

В районе Ликаси несколько пробах имели значительные содержание. Со, извлекаемого водой (до 0,25%, в среднем 0,07%), и содержали значительное количество других металлов. Один проб из района Ликаси (NGY4a) был аберрантным, с значительной концентрацией большинства анализируемых элементов. рН в экстрактах 1:2,5 примерно нейтральный для всех пробах из Кипуши (средний рН 7,46) и слабокислый для проб из района Ликаси (средний рН 6,07).

В 2016 г. исследование содержания в почве Катанги показало, что при естественном значительным содержании металлов и химическом фракционировании **Cu**, **Co, As,** Zn**, Pb** и Cd концентрации которых колебались от 11 мг/кг до 1,3·105 мг/кг, от 2 мг/кг до 2,2·104 мг/кг, от 5 мг/кг до 233 мг/кг, от 11 мг/кг до 2,2·104 мг/кг, от <1 мг/кг до 1,7·105 мг/кг и от <1 мг/кг до 120 мг/кг соответственно, однако обилие элементы в почвах горных районов также отражали (I) их высвобождение из частиц горно — металлургического производства, особенно из плавильных заводов Лубумбаши, и (II) их разделение на различные почвенные отсеки (Van Brusselen D. et al., 2020). Так же было проведено исследование, чтобы понять подвижность фракционирования кобальта и меди в почвах из Медянки Верхней Катанги. Результаты исследования, приведены в таблице ниже.

Taблица 30 Результаты Фракционирование кобальта и меди в почвах из медянки Верхней Катанги (Pourret et al., 2016)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Пробы** | **pH** | **Fe** | **Pb** | **Co** | **Cu** | **Zn** |
| E1 | 5,6 | 50,6 | 2,6 | 9,5 | 29,8 | 186 |
| E2 | 5,2 | 39,05 | 620 | 1,41 | 10,76 | 224 |
| Nm1 | 5,5 | 82,3 | 432 | 198 | 3,86 | 197 |
| Nm2 | 6,2 | 45,69 | 3,61 | 214 | 49,9 | 171 |
| VK1 | 4,9 | 41,1 | 265 | 140 | 3,68 | 75 |
| Vk2 | 5,0 | 17,8 | 444 | 53 | 1,79 | 224 |
| Ru1 | 5,0 | 51,7 | 417 | 145 | 2,65 | 1,62 |

Как показано в таблице выше, Участки Этуаль (E1-E2) и Ниамуменда (Nm1-Nm2) содержат нарушенные почвы с медных холмов. Почвы Этуаля характеризуются большой концентрацией оксидов Mn и Fe, а также очень важными концентрациями Co и Cu от 1410 мг/кг до 9 463 мг/кг и от 10 758 мг/кг до 29 793 мг/кг для Co и Cu соответственно. Почвы Ниамуменды показывают более низкие концентрации Co, но все еще значительные концентрации Cu (от 132 мг/кг до 214 мг/кг и от 3124 мг/кг до 49 760 мг/кг для Co и Cu соответственно. Другие участки Долины Каравиа и Руаши были загрязнены атмосферными осадками с медеплавильного завода в Лубумбаши и показывают низкие концентрации Co (с 31 мг/кг до 131 мг/кг и со 145 мг/кг до 335 мг/кг, соответственно для Долины Каравиа и Руаши;) и высокое содержание Cu (с 576 мг/кг до 8957 мг/кг и с 1147 мг/кг до 2657 мг/кг, соответственно для Долины Каравиа и Руаши;).

Одно исследование показало, что Phalaris arundinacea L накопила самую высокую концентрацию Cu и Co и может рассматриваться как растение-гипераккумулятор, а накопление Cu и Co в растении было связано с концентрацией почвы и осадков. Вид растений-Phalaris arundinacea L может быть использован для смягчения воздействия горнодобывающей деятельности на окружающую среду с помощью подхода фиторемедиации, который может способствовать восстановлению растительности и, таким образом, снижению уровня загрязняющих веществ (Mwaanga,A,B, 2019;Ziwa G., et al, 2020). Кроме того, исследование показало, что более значительно концентрации Co в мире были обнаружены в хвостах, полученных в результате добычи, переработки и обработки Со-содержащих руд, таких как стратиформные месторождения Cu–Co провинции Катанга DRC - 6100 мг/кг и шахта Кабве, Замбия-14 165 мг/кг при 1,9 мас. % Co и 0,5 мас. % Co, соответственно.

Другое исследование (Nkulu C. et al., 2018) в колвези показало, что в среднем поверхностная пыль содержала 1100 мкг/г кобальта (в 70 раз больше, чем в контрольной зоне, которая не была районом добычи) и 2 мкг/г урана (в 13 раз больше, чем в контроле), то есть массовое соотношение Co:U составляло 550:1, сопоставимое с таковым в руде (590:1). Кобальт в поверхностной пыли с открытой территории в значительной степени превысил (канадский) стандарт 22 мкг/г для поверхностной почвы для использования в жилых помещениях. Однако стандарты для других элементов не были превышены, за исключением меди (в среднем 193 мкг/г ; стандарт 140 мкг г−1 .

Taблица 31 Концентрации Co в почвах и отложениях, затронутых горнодобывающей промышленностью, в лауалабе и Катанге

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Шахта/Регион | **Тип руды /месторождения** | **Период добычи полезных искпоемых** | **Тип материала** | **Средняя концентрация Co (мг/кг)** |
| Округ Колвези, провинция Луалаба, ДРК | Co–Cu | До 1960–по настоящее время | Отложения ручья | 19.4–18,434 |
| Округ Колвези, провинция Луалаба, ДРК | Co–Cu | До 1960–по настоящее время | Образцы почвы | 6.4–21,134 |
| Провинция Катанга, ДРК | Co–Cu | До 1960–по настоящее время | Отложения ручья | 59.7–13,199 |

В ходе исследования был сделан вывод о том, что большинство значений Co в таблице превышают нормативные значения для почвы жилых помещений. Согласно нескольким исследованиям, почвы накапливают Со в результате одного или нескольких из следующих процессов: (i) выветривание минералов, содержащих металлы в почве; (ii) выветривание месторождений, содержащих Со; и (iii) осаждение атмосферных осадков из рудных плавильных заводов.  Почвы в регионе ДРК имеют более значительный рН (от 5,7 до 7) с более значительный концентрацией. Со из-за более значительный адсорбции металла Со.

Taблица 32 Содержание металлов (мг/кг сухой вес) в почвах и поверхностных отложениях реки Лубумбаши и канала Тшамилемба (Atibu E. K. et al., 2016).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Пробы** | **Cr** | **Fe** | **Co** | **Ni** | **Cu** | **Zn** | **As** | **Cd** | **Pb** | **Hg** |
| CT02SE | 87 | 42432 | 8890 | 70 | 12528 | 593 | 593 | 5.4 | 54.2 | 0.5 |
| CT03SE | 76 | 60704 | 15586 | 142 | 40152 | 470 | 87 | 40 | 70 | 0.2 |
| CT04SE | 69 | 33594 | 2105 | 32 | 12701 | 227 | 46 | 26 | 268 | 0,3 |
| CT05SE | 42 | 38432 | 2130 | 28 | 18626 | 173 | 40 | 18 | 105 | 0,2 |
| CT06SE | 105 | 60413 | 3414 | 70 | 10482 | 394 | 11.2 | 1.0 | 1193 | 0,2 |
| RL01SE | 121 | 52582 | 5283 | 75 | 24637 | 610 | 58 | 5.8 | 355 | 0,3 |
| RL02SE | 71 | 42988 | 787 | 35 | 8953 | 4458 | 86 | 89 | 1111 | 0,9 |
| RL03SE | 71 | 49233 | 2046 | 38 | 24093 | 5463 | 159 | 77 | 3340 | 1.1 |
| RL04SE | 119 | 68290 | 758 | 57 | 7743 | 4679 | 73 | 158 | 886 | 1,0 |
| CT01SO | 81 | 27868 | 3299 | 46 | 10380 | 378 | 35 | 26 | 335 | 0,2 |
| CT02SO | 115 | 48839 | 5065 | 66 | 14385 | 869 | 66 | 40 | 2609 | 0,2 |
| CT04SO | 141 | 36012 | 1193 | 40 | 6438 | 271 | 53 | 32 | 114 | 0.2 |
| CT05SO | 42 | 35368 | 1924 | 26 | 12081 | 133 | 41 | 20 | 471 | 0.2 |
| ISQG | 37.3 | - | - |  | 35.7 | 123 | 5.9 | 0.6 | 35.0 | 0.17 |

Как показано в таблице значительные концентрации микроэлементов наблюдались в пробах почвы (CT01SO-CT08SO) вокруг канала Тшамилемба, особенно для Cu, Co, Zn, Pb, Fe и Mn, значения которых варьировались от 6,5·103 до 1,5·104, 1,2·104-5,4·103, 133-869, 114-2,6·103, 2,7·104-6·104 и 458-5,7·104 мг/кг соответственно. Результаты этого исследования показали значительные концентрации микроэлементов в поверхностных отложениях Катанге, достигающие значений 4·104, 1,5·104, 610, 1·104, 6·104 и 1,5·104 мг/кг для Cu, Co, Zn, Pb, Fe и Mn соответственно. Эти значения в 3-20 раз выше, чем те, которые наблюдаются в почве вокруг Катанги (Atibu E. K. et al., 2016). Почвы Катанги характеризуются переменными уровнями микроэлементов, которые объясняются различием между типами отобранных участков; например, Cu и Co в почвах Катанги (включая металлические / неметаллические и вторичные типы) могут достигать значений в диапазоне от 11 до 1,3·105 и 2-2,2·104 мг/кг соответственно. В RL пиковые концентрации достигли значений 2,4·104, 2·103, 5,4·103, 3,3·103, 6,8·104 и 769 мг/кг для Cu, Co, Zn, Pb, Fe и Mn соответственно.

По данным (Atibu E. K. et al., 2016) EF Коэффициент обогащения и Igeo (Bioacumulation index) в местах отбора проб представлены в таблице 33. Самые значительные значения EF в пробах почвы и осадков наблюдались для Cu и Co (чрезвычайно сильное обогащение EF 50). Три пробы (CT02SE, RL03SE и CT02SO) для Pb и один образец (RL03SE) для Zn показали значительные значения EF (чрезвычайно сильное обогащение). U показал умеренное обогащение, и никакого обогащения не наблюдалось для других микроэлементов и РЗЭ (EF < 1). За исключением Mo, Th, U, Eu, Ho и Tm, которые Igeo классифицируются по классу 2 (умеренно загрязненные и/или незагрязненные участки), все элементы в различных участках классифицируются по классу 6 (чрезвычайно загрязненные); например, значения Igeo варьировались от 9,8 до 13,6, от 6,2 до 11,6, от 10,5 до 15,8, от 8,3 до 15,6 для Cu, Co, Zn и Pb соответственно. Значительные значения Igeo также наблюдались для свободного диапазона, например, от 7,5 до 10,3, от 10,2 до 13,1 и от 7,9 до 10,5 для La, Ce и Nb, соответственно.

Согласно исследованию (Atibu E. K. et al., 2016), значительные концентрации микроэлементов наблюдались в отложениях реки Лубумбаши (RL) и канала Тшамилемба (CT), а также в почвах, окружающих CT, варьируя в зависимости от выбранных участков. Концентрации отложений в RL и CT были в 100 и более чем в 1000 раз выше значений, приведенных в Канадских Руководящих принципах по качеству отложений для защиты водных организмов (CCME, 1999). RL и CT представляют собой "чрезвычайно сильное обогащение” для **Cu и Co,**" незначительное до чрезвычайно сильного обогащения” (один и три пробы для Zn и **Pb** соответственно) для Ni, Zn, As, Mo и Pb. Анализ показал "чрезвычайно загрязненные" для Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb и Редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy). Загрязнение Катанга, граничащее с добычей CHEMAF, было вызвано главным образом гидрометаллургической переработкой медных и кобальтовых руд, эксплуатируемых заводом CHEMAF. Нет никаких сомнений в том, что в регионе, что касается деятельности, осуществляемой в реке Лубумбаши, очевидно, что река сильно загрязнена и может вызвать серьезные экологические последствия и риски для здоровья человека.

Коэффициент обогащения (EF) является широко используемым показателем для определения того, насколько присутствие элемента в среде отбора проб увеличилось по сравнению со средним естественным обилием из-за деятельности человека. Самые значительные значения EF Co и Cu были выше 50 для всех пробах осадков и почвы, что указывает на “чрезвычайно сильное обогащение”. Однако многие анализируемые элементы, включая Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb и REE (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy), имеют значительные значения Igeo, “чрезвычайно загрязненные” в пробах почвы и осадков (Таблица 33). Следует отметить, что средний геохимический состав верхней континентальной земной коры региона Катанга до сих пор систематически детально не исследовался. Однако, основываясь на значениях из расчетов Igeo и EF UCC, загрязнение отложений канала Тшамилемба и Река Лубумбаши может быть объяснено не только геологическими формациями региона, но и наличием других потенциальных источников.

Taблица 33 Значения EF и Igeo для отдельных металлов в пробах осадков/почвы, собранных в провинции Катанга, ДРК.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Пробы** | **Сo** | **Ni** | **Cu** | **Zn** | **As** | **Mo** | **Pb** | **Th** | **U** |  |
| **EF** | **CT02SE** | **4842,8** | **5,7** | **6825,1** | **6,1** | **6,3** | **4,4** | **241,0** | **1,5** | **4,5** |  |
| **CT03SE** | **8107,3** | **11,1** | **20885,7** | **4,6** | **13,6** | **5,3** | **1,6** | **1,5** | **3,6** |  |
| **CT04SE** | **634,9** | **1,4** | **3830,4** | **1,3** | **4,1** | **2,4** | **3,5** | **0,5** | **3,3** |  |
| **CT05SE** | **1653,9** | **3,2** | **14464,4** | **2,5** | **9,4** | **5,5** | **3,5** | **0,9** | **5,2** | Интерпретация EF |
| **CT06SE** | **1291,6** | **2,8** | **6023,4** | **2,8** | **4,2** | **3,1** | **12,5** | **0,6** | **6,1** | EF <1 указывает на отсутствие обогащения |
| **RL01SE** | **163,8** | **3,4** | **1980,6** | **9,4** | **2,3** | **1,0** | **7,0** | **1,0** | **1,4** | EF <3 незначительное обогащение |
| **RL02SE** | **380,5** | **2,5** | **4329,0** | **40,4** | **12,5** | **3,0** | **23,0** | **1,2** | **1,1** | EF <3-5 умеренное обогащение |
| **RL03SE** | **1266,0** | **3,5** | **14909,7** | **63,4** | **29,4** | **7,6** | **88,6** | **1,1** | **3,2** | EF 5-10 обогащение средней степени тяжести |
| **RL04SE** | **210,1** | **2,4** | **2146,5** | **24,3** | **6,0** | **4,1** | **10,5** | **1,2** | **1,0** | EF 10-25 сильное обогащение |
| **CT01SO** | **2771,0** | **5,7** | **8718,1** | **6,0** | **8,8** | **5,7** | **12,0** | **1,4** | **6,3** | EF 25-50 чрезвычайно сильное обогащение |
| **CT02SO** | **2727,7** | **5,3** | **7747,4** | **8,8** | **10,5** | **6,4** | **60,2** | **1,4** | **5,0** | EF <50 чрезвычайно сильное обогащение |
| **CT04SO** | **709,6** | **3,6** | **3828,7** | **3,0** | **9,5** | **6,0** | **2,9** | **1,3** | **3,4** | Интерпретация EF |
| **CT05SO** | **1549,1** | **3,1** | **9728,8** | **2,0** | **9,8** | **5,9** | **16,3** | **0,9** | **4,8** |  |
| **CT05SO** | **1722,9** | **5,3** | **5289,6** | **3,7** | **14,3** | **8,5** | **11.0** | **1,2** | **4,5** |  |
| **lgeo** | **Пробы** | **Сo** | **Ni** | **Cu** | **Zn** | **As** | **Mo** | **Pb** | **Th** | **U** |  |
| **CT02SE** | **10,8** | **6,5** | **11,3** | **12,3** | **4,7** | **-0,5** | **15,6** | **3,3** | **2,7** |  |
| **CT03SE** | **11,6** | **7,6** | **13,0** | **12,3** | **5,9** | **-0,1** | **8,3** | **3,4** | **2,5** | Igeo классификация |
| **CT04SE** | **8,7** | **5,4** | **11,3** | **11,2** | **4,9** | **-0,5** | **10,7** | **2,6** | **3,1** | Igeo ≤ 0 класс 0-практически незагрязненный |
| **CT05SE** | **8,7** | **5,2** | **11,9** | **1o,8** | **4,7** | **-0,7** | **8,9** | **2,1** | **2,4** | 0 < Igeo < 1 класс 1 < незагрязненный умеренно |
| **CT06SE** | **10,0** | **6,6** | **12,3** | **12,7** | **5,3** | **0,2** | **12,4** | **3,2** | **4,3** | 1 < Igeo < 2 класс 2 умеренно загрязненный |
| **RL01SE** | **6,2** | **6,1** | **9,8** | **13,5** | **3,5** | **-2,3** | **10,7** | **3,0** | **1,2** | 2 < Igeo < 3 класс 3 умеренно-сильно загрязненные |
| **RL02SE** | **7,3** | **5,5** | **10,8** | **15,5** | **5,8** | **-0,9** | **12,3** | **3.3** | **0,8** | 3 < Igeo< <4 класс 4-сильно загрязненный |
| **RL03SE** | **8,7** | **5,7** | **12,2** | **15,8** | **6,7** | **0,1** | **13,9** | **2,7** | **2,0** | 4 < Igeo < 5 класс 5 |
| **RL04SE** | **7,2** | **6,3** | **10,6** | **15,8** | **5,6** | **0,4** | **12,0** | **4,1** | **1,5** | 5 > lgeo класс 6 - чрезвычайно загрязненный |
| **CT01SO** | **9,4** | **5,9** | **11,0** | **12,0** | **4,5** | **-0,7** | **10,6** | **2,6** | **2,6** |  |
| **CT02SO** | **10,0** | **6,5** | **11,5** | **13,2** | **5,5** | **0,1** | **13,6** | **3,2** | **2,9** |  |
| **CT04SO** | **7,9** | **5,7** | **10,3** | **11,2** | **5,2** | **-0,2** | **9,0** | **3,0** | **2,2** |  |
| **CT05SO** | **8,6** | **5,1** | **11,2** | **10,5** | **4,8** | **-0,6** | **11,1** | **2,0** | **2,2** |  |
| **CT05SO** | **9,4** | **6,5** | **11,0** | **12,0** | **6,6** | **0,6** | **11,2** | **3,2** | **2,8** |  |

Индекс Igeo определяется следующим уравнением: Igeo = Log2(Cn)/1,5(Bn)

Cn = Концентрация металлов (n) в пробах осадка

Bn = Концентрация металла(n) геохимический фон

1.5 = Коэффициент корреляционной матрицы фонового эффекта литосферы

Коэффициент обогащения является полезным инструментом для определения степени антропогенного загрязнения тяжелыми металлами. EF рассчитывается по приведенному ниже уравнению, а Sc использовался для геохимической нормализации со значениями UCC (Верхняя континентальная кора), как описано Макленнаном (Atibu E. K. et al., 2016).

EF = (Металл/Sc) проба/(Металл/Sc)Фон

#### Воздействие на фауну и флору

Значительные концентрации взвешенных твердых веществ могут снизить качество воды, поглощая свет. Температура воды повышается и становится теплее, что, в свою очередь, снижает способность воды удерживать потребность в кислороде, необходимую для водной флоры и фауны. Это влияет на способность водных растений получать достаточное количество света и, таким образом, снижает фотосинтез в растениях, что в конечном итоге приводит к снижению выработки кислорода. Сочетание этих основных экологических факторов-более теплой воды, меньшего количества света и кислорода-делает невозможным существование некоторых форм жизни, таких как водные насекомые, такие как нимфы поденок, нимфы каменной мухи и личинки ручейника. Взвешенные твердые вещества влияют на водную жизнь другими способами, поскольку они могут закупоривать жабры рыб, снижать темпы роста, снижать устойчивость к болезням и предотвращать развитие яиц и личинок (Auditor General Report, 2014).

Концентрации Cr, Cu, Sb, Pb и Hg в мышечных тканях видов рыб составляют 8,6, 15,7, 2,3, 6,0 и 3,3 мг/кг соответственно. Доминирующие виды C pachynema и P. guttatus представлены максимальными концентрациями. Концентрация Ni в мышцах этих двух видов рыб высока, в то время как Zn, As и Co низки (Pourret et al., 2016). Частицы аэрозолей, обогащенные тяжелыми металлами и другими веществами, такими как кремний, могут быть чрезвычайно зловещими для фауны, флоры, а также для здоровья человека (De Putter T. et al, 2011) (ECZ, 2008; Auditor General Report, 2014). Поскольку растительный покров низок, вторичные металлоносные субстраты подвергаются ветровой и водной эрозии, распространяя металлы и металлоиды в окружающей среде (Ngombe et al., 2016).

Как показано в таблице 37, исследование, проведенное в катанге, показало, что концентрации Co, достигающие 50 мг/кг, накапливались в листьях растения Phalaris arundinacea L. Такие растения, как известно, также процветают в диапазоне рН от 7,3 до 8,8 и выживают в стойких аноксических фазах. Одно исследование показало, что Phalaris arundinacea L накопила самую высокую концентрацию Cu и Co и может рассматриваться как растение-гипераккумулятор, а накопление Cu и Co в растении было связано с концентрацией почвы и осадков. Следует отметить, что вид растений-Phalaris arundinacea L может быть использован для смягчения воздействия горнодобывающей деятельности на окружающую среду с помощью подхода фиторемедиации, который может способствовать восстановлению растительности и, таким образом, снижению уровня загрязняющих веществ (Mwaanga,A,B, 2019; Ziwa G., et al, 2020). Эти растения потенциально полезны для рекультивации почв, загрязненных Co, в значительно загрязненных горнодобывающих регионах, таких как коппербельт. Исследование классифицировало эти растения как гипераккумуляторы, поскольку концентрация Co в их тканях в сухом весе превышает 1000 мг/кг (Zayed et al., 1998; Ziwa G., et al, 2020). Других гипераккумуляторах Co, включая Crotalaria cobalticola, Crassula vaginata и Haumaniatrum robertii (Bakkaus et al., 2005; Ziwa G., et al, 2020).

Согласно (Squadrone S. et al., 2016) концентрации 14 основных и несущественных микроэлементов были определены в рыбе из озера Тшангалеле, провинция Катанга. Озеро Тшангалеле, было обнаружено вместе с шахтными стоками металлургических и горнодобывающих заводов в Ликаси. Самые значительные концентрации (средние уровни, сухой вес) кобальта (7,25 мг кг−1), меди (88,1 мг кг−1), железа (197,5 мг/кг ), марганца (65,35 мг кг−1), цинка (122,9 мг/кг ) и алюминия (135,4 мг/кг ) были обнаружены в рыбе, собранной ближе всего к медедобывающему заводу, с уменьшением концентраций вдоль озера, вплоть до плотины. В наиболее загрязненных пробах рыбы были обнаружены значения до 270,1 мг к для Al, 173,1 мг/кг для Cu, 220,9 мг/кг для Zn, 211,0 мг/кг для Mn, 324,2 мг/кг для Fe, 15,1 мг/кг для Co, 4,2 мг/кг для Cr, 1,6 мг/кг для Cd, 1,9 мг/кг для Pb и 1,8 мг/кг для Ni.

Осуществление мер по борьбе с загрязнением, измерение и оценка воздействия на окружающую среду, мониторинг неблагоприятных последствий и смягчение воздействия на окружающую среду в результате добычи полезных ископаемых в коппербельте и Катанге очень важны для сведения к минимуму воздействия деятельности по добыче полезных ископаемых на соседнее сообщество и окружающую среду d частности фауны и растение.

#### Воздействие на здоровья человека

Литература показывает, что влияние на здоровье человека исторической и нынешней добычи и переработки цветных металлов в Африканском медном поясе, особенно в ДРК, неизвестно.

Исследование (Pourret et al., 2016), в ходе которого была проанализирована моча 351 участника со средним возрастом 32 года (диапазон 2-74 года) и с общей выборкой из 47 детей в возрасте до 14 лет (13%) и 112 мужчин, показало, что для As, Cu, Co, Cr, Se, Sn и U значения мочи у испытуемых из районов, очень близких (менее 3 км) к местам добычи полезных ископаемых и плавки, были значительными, чем у людей, живущих дальше (от 3 до 10 км) от таких мест. В контрольной зоне (Камина) многие испытуемые имели значения ниже пределов обнаружения для нескольких металлов, а средние концентрации были значительно ниже, чем в южной Катанге для всех металлов, за исключением Ni.

В другом исследовании (Nkulu C. et al., 2018) В районе, пострадавшем от добычи полезных ископаемых, было изучено 72 жителя (40 взрослых, 32 детей) и 25 шахтеров ; в контрольной зоне было набран 25 жителей (12 взрослых, 13 детей). Полные и подробные результаты биомониторинга показали, что средние геометрические концентрации (GM) (мкг креатинина g−1) кобальта, марганца и урана были выше в моче у подвергшихся воздействию, чем у контрольных жителей. Уран был почти в два раза выше (коэффициент 1,7; 95%) среди подвергшихся воздействию жителей.

Taблица 34 Концентрация металлов в моче (мг/г креатинина) у 351 жителя 11 различных районов Катанги, сгруппированных в зависимости от близости к добыче или переработке металлов.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Метал | Зона контроля (Камина) | Жилые районы в <3-10 км от горнодобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности (мл/л) | Жилой район в <3 км от горнодобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности (мл/л) |
| Cu | 5,89 | 12,8 | 17,1 |
| Co | 1,34 | 5,72 | 15,7 |
| As | 3,15 | 10,8 | 17,8 |
| Pb | 1,28 | 12,8 | 17,1 |
| U | 0,0003 | 0,018 | 0,028 |
| Ni | 3,11 | 3,06 | 3,27 |
| Cd | 0,18 | 0,70 | 0,75 |

Рассматриваемое предельное значение составляло 15 мг/л по данным Американской конференции правительственных промышленных гигиенистов (ACGIH), Индекс биологического воздействия (BEI) для экскреции Co с мочой. В контрольной зоне ни один из участников не превысил это значение, в то время как 11% и 53% испытуемых, проживающих в умеренной близости и очень близко к местам загрязнения, соответственно, превысили это профессиональное предельное значение. Эти данные доказывают, что добыча полезных ископаемых оказывает значительное влияние на здоровье человека. Для всех металлов (кроме Ni) концентрация в моче была значительно выше у испытуемых из района добычи полезных ископаемых, чем у контрольных испытуемых. У испытуемых, живущих очень близко к шахтам или плавильным заводам, геометрические средние (25-75–й процентиль) концентрации в моче, выраженные в мг/г креатинина, составили 17,8 (10,9–29,0) для As, 0,75 (0,38–1,16) для Cd, 15,7 (5,27–43,2) для Co, 17,1 (8,44–43,2) для Cu, 3,17 (1,47–5,49) для Pb и 0,028 (0,013–0,065) для U, причем эти значения были значительно выше, чем у испытуемых, живущих в непосредственной близости от шахт или плавильных заводов.3-10 км от шахт или промышленных предприятий. Концентрация Со в моче была заметно повышена, превысив 15 мг/г креатинина у 53% испытуемых и даже у 87% детей (о14 лет), живущих очень близко к районам добычи полезных ископаемых. Мочевой As также был высоким (79% выше 10 мг/г креатинина у субъектов, живущих очень близко к районам добычи полезных ископаемых). По сравнению с фоновыми значениями из общей популяции США у субъектов, живущих очень близко к районам добычи или переработки, концентрация Cd, Co, Pb и U в моче была в 4, 43, 5 и 4 раза выше, соответственно.

Широкое загрязнение окружающей среды, вызванное добычей меди и кобальта, вызвало обеспокоенность по поводу возможной связи между врожденными дефектами и воздействием нескольких токсичных металлов в южной Катанге. Исследование (Van Brusselen D. et al., 2020), направленное на оценку возможного вклада родительского и дородового воздействия микроэлементов в возникновение видимых врожденных дефектов у новорожденных, было проведено в период с 1 марта 2013 г. по 28 февраля 2015 г. в лубумбаши. В исследование были включены 138 новорожденных с видимыми врожденными дефектами (~ 0·1% из 133 662 родов в Лубумбаши за период исследования) и 108 контрольных новорожденных. Было сделан вывод, что матери, имеющие оплачиваемую работу вне дома, (2·8, 1·2-6·9) и отцы, имеющие работу, связанную с добычей полезных ископаемых (5·5, 1·2-25·0) были связаны с более значительнным риском врожденных дефектов. однако исследование не выявило никаких ассоциаций с концентрациями следовых металлов в биологических пробах, за исключением удвоения содержания марганца (Mn; 1·7, 1·1-2·7) и цинк (Zn; 1·6, 0·9-2·8) в пуповинной крови. В отдельной модели, включающей плаценту, было обнаружено, что удвоение Mn на стороне плода плаценты связано с повышенным риском врожденных дефектов (3·3, 1·2-8·0), как и удвоение пуповинной крови Zn (5·3, 1·6-16·6). Отцовское профессиональное воздействие на добычу полезных ископаемых было фактором, наиболее сильно связанным с врожденными дефектами. Поскольку ни Mn, ни Zn не добываются в Лубумбаши, механизм связи между их повышенными пренатальными концентрациями и врожденными дефектами неясен.

В исследовании (Squadrone S. et al. ., 2016) оценивалось воздействие металлов на человека через потребление рыбы населением, проживающим в выбранном районе Катанги, известном как водная система озера Тшангалеле. Рыбы, участвовавшие в исследовании, принадлежали к семейству цихлид, а именно Tilapia sp. и Chromidotilapia sp., а также к семействам Poeciliidae и Clariidae, а именно Aplocheilichthys sp. и Clarias gariepinus соответственно. Было обнаружены относительно значительные содержание металлов в рыбе, особенно кобальта, меди, а также алюминия, железа, марганца, цинка и кадмия. Потребление рыбы в значительной степени способствует потреблению кобальта населением, проживающим вокруг озера Тшангалеле, и минимальный уровень дозы риска был превышен для меди и кобальта, в частности на участке, ближайшем к загрязненным разливам шахт. Другие исследования недавно обнаружили значительные концентрации металлов у субъектов, живущих вблизи мест добычи или переработки полезных ископаемых в Катанге, что подтверждает, что они значительно подвержены воздействию этих металлов через окружающую среду.

Токсичность Co была изучена в профессиональных условиях, например, Co как фактор заболевания легких твердыми металлами и профессиональной астмы, а чрезмерное воздействие Co также было связано с такими заболеваниями, как эритроцитоз, повреждение сердца, нарушение работы щитовидной железы и кардиомиопатия (CEP, 2011; Mwaanga,A,B, 2019; Squadrone S. et al., 2016). Медь также является важным питательным веществом, которое входит в состав ряда металлоферментов, участвующих в образовании гемоглобина, метаболизме ксенобиотиков, углеводном обмене и в механизме антиоксидантной защиты. Хотя гомеостаз меди играет важную роль в предотвращении токсичности меди, воздействие чрезмерных уровней меди может привести к ряду неблагоприятных последствий для здоровья, включая повреждение печени и почек, анемию, иммунотоксичность и токсичность для развития (Squadrone S. et al. ., 2016;Mwaanga,A,B, 2019). Поэтому необходимо соблюдать дозу меди, превышающую рекомендуемое значение, поскольку в больших дозах она оказывает пагубное воздействие на здоровье человека.

Воздействие кадмия было связано с нефротоксичностью, остеопорозом, нейротоксичностью, канцерогенностью и генотоксичностью, тератогенностью и неблагоприятным воздействием на эндокринную и репродуктивную системы (EFSA, 2009). Предварительная допустимая еженедельная доза (PTWI) в размере 7 мкг/кг была установлена SCF (EFSA, 2009), что соответствует 70 мкг Cd для взрослого человека весом 70 кг два раза в неделю (CEP, 2011; Mwaanga,A,B, 2019; Squadrone S. et al. ., 2016). Имеются значительные доказательства того, что развивающийся мозг более уязвим к нейротоксичности свинца, чем зрелый мозг. Поглощение As организмами сильно зависит от биодоступности элементов, которая значительно варьируется в зависимости от биогеохимии пресных вод. Таким образом, существует необходимость в эпидемиологических исследованиях последствий для здоровья, охватывающих широкий спектр конечных точек, таких как врожденные дефекты, нарушения развития нервной системы, респираторные расстройства, болезни сердца и почек, а также рак (Atibu E. K. et al., 2016; Squadrone S. et al., 2016; Nkulu et al., 2018). Потому что, как показали фактические данные, доказательства повышенного окислительного повреждения ДНК, обнаруженные у детей с значительный степенью воздействия, свидетельствуют о более значительный частоте генетических и эпигенетических изменений и, следовательно, указывают на повышенный риск развития рака в более позднем возрасте (Nkulu C. et al., 2018). Затем необходимо срочно принять меры по предотвращению загрязнения, возникающего в результате интенсивной горнодобывающей деятельности. Кроме того, учитывая высокую концентрацию нескольких металлов, было бы целесообразно рассмотреть их синергический эффект для эффективной оценки риска.

# Заключение

Загрязнение рек тяжёлыми металлами приводит к снижению видового разнообразия, низкой урожайности сельскохозяйственных культур и оказывает негативное влияние на экологический баланс.

Масштабы загрязнения поверхностных вод в двух горнодобывающих провинциях из-за добычи полезных ископаемых являются значительными. Однако река Кафуэ является исключением из-за значительной нейтрализующей способностью отходов горнодобывающей промышленности, которые контролируют быстрое осаждение оксидов и гидроксидов железа, а также адсорбцию и/или совместное осаждение меди и кобальта, поэтому воздействие горнодобывающей промышленности и связанная с ней деятельность на окружающую среду на реке Кафуэ относительно ограничена. Однако реки в районе Катанги не обладают такой нейтрализующей способностью, поэтому ожидается, что загрязнение тяжелыми металлами будет быстро увеличиваться при постоянной добыче полезных ископаемых в регионе.

Добыча полезных ископаемых в провинции Катанга оказывает разрушительное воздействие на ландшафт. Так аналитическое сравнение результатов горнорудной деятельности показывает, что в Катанге загрязнены почвы, атмосферный воздух, а также поверхностные и подземные воды.

Среди основных загрязнителей окружающей среды (почвы, воды и атмосферного воздуха) тяжелые металлы Сu, Co, As и Pb представляют собой серьезную экологическую проблему Катанги и Коппербелта. Химическое фракционирование этих элементов в почвах также показывает их выделение из частиц, полученных в результате добычи и плавки, и их расщепление в различные почвенные компоненты.

В большинстве развивающихся стран как ДРК из-за отсутствия правового регулирования в области обращения с отходами горнодобывающей промышленности многие шахты продолжают сбрасывать свои отходы в речные воды. Таким образом очень важно проводить восстановительные мероприятия на каждом этапе добычи полезных ископаемых.

Применение разных механизмов ремедиации земли поможет ликвидировать последствия загрязнения и ослабить негативное воздействие на окружающую среду. Наиболее перспективной технологией является фиторемедиация, так как она наиболее дешёвая. Вид растений-Phalaris arundinacea L может быть использован для уменьшения воздействия горнодобывающей деятельности на окружающую среду, что поспособствует восстановлению растительности в целом и поможет снизить уровень загрязняющих веществ в почве. (Mwaanga, 2019; Ziwa G., et al, 2020). Данная методика особенно полезна при рекультивации почв, загрязненных Co (таких как в регионе Коппербельт.

Осуществление мер по борьбе с загрязнением, измерение и оценка воздействия на окружающую среду, мониторинг неблагоприятных последствий и смягчение воздействия на окружающую среду в результате добычи полезных ископаемых в Коппербельте и Катанге очень важны для сведения к минимуму воздействия деятельности по добыче полезных ископаемых на соседнее сообщество и окружающую среду, поскольку в этих странах по-прежнему открывается все больше шахт с различным уровнем охраны окружающей среды.

Согласно анализу данных, представленных в различных исследованиях, очевидно, что районы Катанги сильно загрязнены горнодобывающей деятельностью, что может привести к значительному воздействию на окружающую среду и рискам для здоровья человека. Поэтому местные органы власти и операторы горнодобывающей промышленности должны в срочном порядке наладить очистку сточных вод, прежде чем выпускать сточные воды горнодобывающей промышленности в окружающую среду.

Во время добычи полезных ископаемых основное воздействие на водные объекты происходит при кислотном дренаже шахт (AMD), выбросе металлов и цианида, заиливании и использовании воды.

Следующие источники добычи полезных ископаемых генерируют разнообразие загрязняющих веществ, оказывающих неблагоприятное воздействие различной интенсивности на поверхностные воды, грунтовые воды, водные растения, биоту поверхностных вод и затопленных отложений и вызывающих загрязнение воздуха и почвы.

•Открытые горные работы: открытая добыча приводит к высокому тоннажу отработанных пород и вскрышных пород, которые утилизируются на свалках отходов, вскрышных породах и свалках пустой породы, представляющих собой главные источники выпадения пыли. По объему подавляющее большинство загрязняющих веществ в воздухе составляют твердые частицы, такие как пыль от взрывных работ, движения больших грузовиков и оборудования, конвейеров и дробления руды (Lindahl, 2014; Auditor General Report, 2014; Ashton et al, 2001; IRMA, 2018).

•Выбросы в атмосферу происходят от стационарного или мобильного оборудования, шахтных отходов и других связанных с добычей полезных ископаемых видов деятельности, осуществляемых на шахте или вдоль транспортных маршрутов

•Производство рудных концентратов. Используемая технология приводит к разливам суспензии из сгустителей и трубопроводов. Часть суспензий сливается в ручьи, вызывая сильное химическое и механическое загрязнение потоковых отложений (заиление)

•Промывка старых хвостов флотации и их осаждение в отстойниках, из которых они откачиваются на химические обогатительные фабрики для кислотного выщелачивания, связано с переливом суспензий в реки из-за недостаточной вместимости отстойников. Эти суспензии могут содержать металлы как Cu, Co, As, Pb, а также повышенные концентрации висмута, кадмия, ртути и цинка (Auditor General Report, 2014; Ashton et al, 2001).

•Хранилища для хвостохранилищ. Сухие участки («пляжи») этих хвостохранилищ являются источником выпадения пыли, который можно увидеть на листьях растений на расстоянии нескольких километров от источника загрязнения (Lindahl, 2014; Auditor General Report, 2014; IRMA, 2018).

•Металлургические заводы: выбросы оксидов серы от металлургических заводов в близлежащих жилых районах содержат в среднем до 125 мкг SO2 м-3 воздуха (ZCCM, 2005; Lindahl, 2014)

•Основным антропогенным источником загрязнения тяжелыми металлами внутренних вод является горнодобывающая промышленность. Основным источником поступления тяжелых металлов в атмосферу является металлургия и черная металлургия (ZCCM, 2005; Lindahl, 2014; Auditor General Report, 2014; IRMA, 2018).

•Отходы от переработки руды в концентрат или конечный продукт (например, хвосты, отработанные материалы кучного выщелачивания и т.д.), а также почвы и горные породы, удаляемые во время добычи, которые не будут перерабатываться на полезные ископаемые (например, вскрышные породы, породы, субэкономическая руда и т.д.) (Auditor General Report, 2014;IRMA, 2018;Krˇíbek et al, 2014)

•Сброс шахтных вод в окружающую среду, просачивание через шахтные отходы в подземные и поверхностные воды, нарушения или сбои в работе хвостохранилищ и хранилищ воды, химические разливы и выброс неконтролируемых ливневых вод (Lindahl, 2014; Auditor General Report, 2014; IRMA, 2018).

Постоянный мониторинг уровня загрязнения и оценка воздействия на окружающую среду и местное население настоятельно рекомендуются для информирования общественности и национальных и международных организаций об экологических опасностях, связанных с горнодобывающей деятельностью, а также для инициирования и разработки стратегии устойчивого восстановления, которая может быть использована для смягчения загрязнения пресной воды и почвы сточными водами горнодобывающей промышленности.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bohdan Křibek, Vladimír Majer, Ilja Knésl & František Veselovský, Imasiku Nyambe, Ondra Sracek, Vojtěch Ettler & Martin Mihaljevič. Impacts Of Mining And Processing Of Copper And Cobalt Ores On The Environment And Human Health In The Central-Northern Part Of The Copperbelt Province Of Zambia: An Overview. Mining And The Environment In Africa – Czech Geological Survey, 2011. – 24 P.
2. Environmental Council Of Zambia. Government Of The Republic Of Zambia.: // Zambia Environment Outlook Report – 2008, №3. – P. 27–106.
3. Zambia Consolidated Copper Mines, I. H. (2005). Preparation of Phase 2 of A Consolidated Environmental Management Plan, Task Reports (Task II–VI). *Lusaka: Zambia Consolidated Copper Mines, Industrial Holdings*. P-1-20
4. Электронный Ресурс] Https://Zambialaws.Com/Subsidiary-Legislation/Chapter-204-Environmental-Protection-And-Pollution-Control-Act-Subsidiary-Legislation#Gh\_62
5. Environmental Council Of Zambia, 2017: Zambia Environment Outlook Report №4. Government Of The Republic Of Zambia.7
6. Pettersson, U. (2002). *A geochemical study of the Kafue River, Zambia* (Doctoral dissertation, Luleå tekniska universitet). P-46
7. Lindahl, J. (2014). Towards better environmental management and sustainable exploitation of mineral resources. *SGU Geological Survey of Sweden (SGU)*, *22* .P – 07­-26 .
8. Norrgren, L., Pettersson, U., Örn, S. & Bergqvist, P.-A.,:(2002). Environmental Monitoring Of The Kafue River, Located In The Copperbelt, Zambia.// Archives Of Environmental Contamination And Toxicology №38-2000.-P 334–341.
9. Republic Of Zambia. The Environmental Protection And Pollution Control Act. Chapter 204 Of The Laws Of Zambia Of 1990
10. De Putter, T., Decrée, S., Banza, C. L. N., & Nemery, B. (2011). Mining the Katanga (DRC) Copperbelt: geological aspects and impacts on public health and the environment—towards a holistic approach. In *Mining and the Environment in Africa. Proceedings of the Inaugural Workshop, IGCP/SIDA* (No. 594, pp. 14-17).
11. Simutanyi, N. (2008). Copper mining in Zambia: the developmental legacy of privatisation. *Institute for Security Studies Papers*, *2008*(165), 16.
12. F. Mees A , M.N.N. Masalehdani B , T. De Putter A , C. D’Hollander C , E. Van Biezen C , B.B. Mujinya C,D , J.L. Potdevin B , E. Van Ranst. Concentrations And Forms Of Heavy Metals Around Two Ore Processing Sites In Katanga, Democratic Republic Of Congo. // Journal Of African Earth Sciences – 2013. – P. 22–30.
13. Pardon Sinkala, Yoshiaki FUJII, Jun-Ichi An Overview Of Copper Mining In Zambia's Copperbelt Province// KODAMA And Daisuke FUKUDA Hokkaido University -2018.-P.
14. FAO-UNESCO (1997) Soil Map Of The World 1:500 000.. // Volume VI. Africa: UNESCO, Paris-1997.-P-
15. Kříbek, B., Majer, V., Veselovský, F., & Nyambe, I. (2010). Discrimination of lithogenic and anthropogenic sources of metals and sulphur in soils of the central-northern part of the Zambian Copperbelt Mining District: a topsoil vs. subsurface soil concept. *Journal of geochemical Exploration*, *104*(3), 69-86.
16. Kamona, AF, Nyambe, IA (2002) Geological Characteristics And Genesis Of Stratiform Sediment-Hosted Cu-(Co) Deposits, Zambian Copperbelt. In: Miller R. E. (Ed) Proc. 11th IAGOD Quadrennial Symposium And Geocongress, Extended Abstracts. Geological Survey Of Namibia, Windhoek Namibia (CD Version)// African Joornal-2002.P-
17. Mwaanga, P., Silondwa, M., Kasali, G., & Banda, P. M. (2019). Preliminary review of mine air pollution in Zambia. *Heliyon*, *5*(9), e02485.//Vol.5, Issue 9,. P-10
18. Master, S., C., Rainaud, Armstrong, A., Phillips, D., Robb, L. J. (2005). Provenance Ages Of The Neoproterozoic Katanga Supergroup (Central African Copperbelt), With Implications For Basin Evolution.// Journal Of African Earth Sciences, Vol. 42 2005. P- 41-60.
19. Ngombe Leon‑Kabamba, Nlandu Roger Ngatu, Sakatolo Jean‑Baptiste Kakoma, Christophe Nyembo, Etongola Papy Mbelambela, Reiko Juliana Moribe,  · Stanislas Wembonyama, Brigitta Danuser, Numbi Oscar‑Luboya // Respiratory Health Of Dust-Exposed Congolese Coltan Miners ̶ 2018 P-1-6
20. Zientek, M. L., Bliss, J. D., Broughton, D. W., Christie, M., Denning, P., Hayes, T. S., ... & Woodhead, J. (2014). *Sediment-hosted stratabound copper assessment of the Neoproterozoic roan Group, Central African Copperbelt, Katanga basin, Democratic Republic of the Congo and Zambia* (No. 2010-5090-T). US Geological Survey.
21. Kalonda D. et al. Impact of mining on water of the rivers Shinkolobwe, Lwisha & Kansonga in the province of Katanga (DRC) //The Journal of Medical Research. – 2017. – Т. 3. – №. 2. – С. 71-73.
22. Olivier Pourret, Bastien Lange, Jessica Bonhoure, Gilles Colinet, Sophie Decrée, Et Al.. Assessment Of Soil Metal Distribution And Environmental Impact Of Mining In Katanga (Democratic Republic Of Congo). //Applied Geochemistry, Elsevier,-2016,№ 64, З-.43-55.
23. Olivier Pourret, Bastien Lange, David Houben, Gilles Colinet, Mylor Shutcha, Et Al.// Modeling Of Cobalt And Copper Speciation In Metalliferous Soils From Katanga (Democratic Republic Of Congo) // Journal Of Geochemical Exploration, - 2015, 149, P.87-96.
24. Atibu E. K. et al. Concentration of metals in surface water and sediment of Luilu and Musonoie Rivers, Kolwezi-Katanga, Democratic Republic of Congo //Applied geochemistry. – 2013. – Т. 39. – С. 26-32.
25. Ngombe, L.K., Ngatu, N.R., Christophe, N.M., Ilunga, B.K., Okitotsho, S.W., Sakatolo, J.-B.K., Danuser, B. And Numbi, O.L. (2016) Respiratory Health Of Artisanal Miner Of Lwisha In Katanga/DR Congo. // Open Access Library Journal 2016, №3: E3233. Электронный Ресурс]: Сайт – URL: [Http://Dx.Doi.Org/10.4236/Oalib.1103233](http://dx.doi.org/10.4236/oalib.1103233)
26. Aubréville, Cited In Malaisse, F. (1997) Se Nourrir En Forêt Claire Africaine// Approche Écologique Et Nutritionnelle 1997, P.21
27. Cigorogo J. R. et al. Mise en oeuvre du système d'études d'impact environnemental dans le secteur minier Congolais: Une vision stratégique de développement durable ou une approche conceptuelle? //International Journal of Innovation and Applied Studies. – 2020. – Т. 28. – №. 2. – С. 487-497.
28. Zaragosa Montejano A. In Search of Clean Water: Human rights and the mining industry in Katanga, DRC. – 2013.
29. Democratic Republic Of Congo Country Mining Guide [Электронный Ресурс]: Сайт – URL: [Https://Home.Kpmg/Xx/En/Home.Html](https://home.kpmg/xx/en/home.html) (Дата Обращения 14.04.2020)
30. Emery Kasongo, Lenge Mukonzo Meerschalig Landevaluatiesysteem Voor De Bepaling Van De Impact Van Het Landbouwkundig Beheer Op De Voedselzekerheid In De Katanga, // D.R. Congo (2009)- P.-68-70
31. Все О Минерально-Сырьевом Комплексе России И Мира. Конго (Киншаса) – Мировая Кладовая Кобальта [Электронный Ресурс]: Сайт – URL
32. Медный Пояс [Электронный Ресурс]: Сайт – URL Электронный Ресурс] <Https://Ru.Wikipedia.Org/Wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D1%8F%D1%81>(Дата Обращение 04.05.2020)
33. [Электронный Ресурс]: Сайт – URL. [Https://Ru.Wikipedia.Org/Wiki/ %](https://ru.wikipedia.org/wiki/%20%25%20) (Дата 04 .05.2020)
34. [Электронный Ресурс]: Сайт – URL [Http://Www.Mining-Enc.Ru/Z/Zambiya/](http://www.mining-enc.ru/z/zambiya/) (Дата Обращения 04.05.2020)
35. Chanda S., Moono W. The Effect of Mining on the Environment: A case Study of Kankoyo Township of Mufulira District of the Republic of Zambia //International Symposium on Mining and Environment-ISME 2017. Symposium conducted at Bodrum, Turkey. – 2017.-
36. Shutcha M. N. et al. Phytostabilisation of copper-contaminated soil in Katanga: an experiment with three native grasses and two amendments //International journal of phytoremediation. – 2010. – Т. 12. – №. 6. – С. 616-632.
37. Электронный Ресурс] <Https://Ru.Wikipedia.Org/Wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BF%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D1%82> (Дата Обращения 30.07.2020)
38. Электронный Ресурс] [Https://Www.Britannica.Com/Place/Copperbelt-Province-Zambia (Дата Обрашение (30.07.2020](Https://Www.Britannica.Com/Place/Copperbelt-Province-Zambia%20(Дата%20Обрашение%20(30.07.2020)) (Дата обращение 04.05.2020)
39. Электронный Ресурс] <Https://En.Wikipedia.Org/Wiki/Copperbelt> (Дата Обращения 30.07.2020)
40. Zientek M. L. et al. Sediment-hosted stratabound copper assessment of the Neoproterozoic roan Group, Central African Copperbelt, Katanga basin, Democratic Republic of the Congo and Zambia. – US Geological Survey, 2014. – №. 2010-5090-T.
41. Электронный Ресурс] <Https://Ru.Wikipedia.Org/Wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D1%8F%D1%81> [Дата Обращения 31.07.2020]
42. L. Norrgren,1 U. Pettersson,2 S. O¨ Rn,1 P.-A. Bergqvist. // Environmental Monitoring Of The Kafue River, Located In The Copperbelt, Zambia. // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2000- P- 334–341
43. I Pettersson U.T., Ingri J. And Andersson P.S. // Hydrogeochemical Processes In The Kafue River Upstream From The Copperbelt Mining Area, Zambia. Aquatic Geochemistry: -2000-385-411.
44. Электронный Ресурс] <Https://En.Wikipedia.Org/Wiki/Katanga_Province#Geography> [Дата Обращения 01.08.2020]
45. Электронный Ресурс] <Https://Reliefweb.Int/Map/Democratic-Republic-Congo/Dr-Congo-Carte-Des-Districts-Et-Territoires-Du-Katanga> [Дата Обращения 01.08.2020]
46. Cailteux J. L. H. et al. Genesis of sediment-hosted stratiform copper–cobalt deposits, central African Copperbelt //Journal of African Earth Sciences. – 2005. – Т. 42. – №. 1-5. – С. 134-158.
47. Dewaele Et Al. 2008Additional Data Georeferenced From Maps Of Anvil Mining 2011, Googlemap 2011, Hanssen Et Al. 2005, TCEMCO 2009, UN-DPI 2000. Coordinate System Of Georeferenced Data May Differ From The RGC Электронный Ресурс] <Https://Www.Oeko.De/Oekodoc/1294/2011-419-En.Pdf> 2005-2009 P-11
48. De Putter, T., Mees, F., Decrée, S. And Dewaele, S., 2010. Malachite, An Indicator Of Major Pliocene Cu Remobilization In A Karstic Environment (Katanga, Democratic Republic Of Congo) //Ore Geology Review- 2010 -38, 90-100.
49. Decrée S. et al. Geodynamic and climate controls in the formation of Mio–Pliocene world-class oxidized cobalt and manganese ores in the Katanga province, DR Congo //Mineralium Deposita. – 2010. – Т. 45. – №. 7. – С. 621-629.
50. Séleck M. et al. Chemical soil factors influencing plant assemblages along copper-cobalt gradients: implications for conservation and restoration //Plant and soil. – 2013. – Т. 373. – №. 1. – С. 455-469.
51. Dewaele S. et al. Multiphase origin of the Cu–Co ore deposits in the western part of the Lufilian fold-and-thrust belt, Katanga (Democratic Republic of Congo) //Journal of African Earth Sciences. – 2006. – Т. 46. – №. 5. – С. 455-469.
52. Bultot, F., 1950. Carte Des Régions Climatiques Du Congo Belge Établie D’après Les Critères De Köppen //Publications Du Bureau Climatique, Bruxelles//1950
53. Saad L. et al. Investigating the vegetation–soil relationships on the copper–cobalt rock outcrops of Katanga (DR Congo), an essential step in a biodiversity conservation plan //Restoration Ecology. – 2012. – Т. 20. – №. 3. – С. 405-415.
54. Evolutionary Genomics Group, Department Of Botany And Zoology, University Of Stellenbosch, South Africa. //Taxonomic Status And Conservation Importance Of The Avifauna Of Katanga (South-East Congo Basin) And Its Environs // Ostrich 2006, 77(1&2): 1–21
55. Электронный Ресурс][Https://Ru.Wikipedia.Org/Wiki/](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%B3%D0%BE_(%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%B0)) [Дата Обращения 04.08.2020]
56. Электронный Ресурс][Https://En.Wikipedia.Org/Wiki/Congo\_River](https://en.wikipedia.org/wiki/Congo_River) [Дата Обращения 04.08.2020]
57. Электронный Ресурс][Https://En.Wikipedia.Org/Wiki/Lualaba\_River](https://en.wikipedia.org/wiki/Lualaba_River) [Дата Обращения 04.08.2020]
58. Электронный Ресурс][Http://Copperflora.Org/A-Unique-Flora.Php](http://copperflora.org/a-unique-flora.php) [Дата Обращения 04.08.2020]
59. Malaisse F., Schaijes M., D'Outreligne C. Copper-cobalt flora of Upper Katanga and Copperbelt. Field guide. Over 400 plants, 1,000 photographs and 500 drawings. – Presses agronomiques de Gembloux, 2016.
60. Chidumayo E. N., Gumbo D. J. (ed.). The dry forests and woodlands of Africa. – London and Washington DC : Earthscan, 2010.
61. Электронный Ресурс] <Https://En.Wikipedia.Org/Wiki/Kafue_River#Sources> [Дата Обращения 05.08.2020]
62. Matakala P. W., Kokwe M., Staatz J. Zambia National Strategy to Reduce Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+). Lusaka, Zambia: Ministry of Lands //Natural Resources and Environmental Protection and UN-REDD Programme. – 2015.
63. Электронный Ресурс] <Https://Www.Researchgate.Net/Publication/282133337_Fire_Management_Assessment_Of_Eastern_Province_Zambia> [Дата Обрашение 04.08.2020]
64. Zambia Consolidated Copper Mine //Environmental Impact Assessment, „Konkola. Lusaka, ZCCM 1989
65. Mendelsohn, F., (Ed.),//The Geology Of The Northern Rhodesian Copperbelt.– Commonwealth Mining And Metallurgical Congress //Macdonald Publ., London -1961 P-
66. Konkola Copper Mine//.Environmental Impact Assessment, Chingola, And KCM. 2001 P-
67. Kříbek, B., Nyambe, I. (Eds.), 2005.// Impact Assessment Of Mining And Processing Of Copper And Cobalt Ores On The Environment In The Copperbelt, Zambia. — The Kitwe And Mufulira Areas. Project Of The Development Assistance Programme Of The Czech Republic For The Years 2004–2006. // Final Report For Year 2004. MS, Czech Geological Survey, Praha. P-196
68. Ross R. Mcgowan Stephen Roberts, Robert P. Foster, Dave Coller,// Origin Of The Copper-Cobalt Deposits Of The Zambian Copperbelt: An Epigenetic View From Nchanga-2003- P-1-4
69. C.J. Von Der Heyden, M.G. // New Groundwater Pollution On The Zambian Copperbelt: Deciphering The Source And The Risk Science Of The Total Environment 327// -2004-17–30
70. Josué Bahati Chishugi Go Yongxin X // Water Supply And Sanitation In The Democratic Republic Of The Congo u -2010-P-207
71. Sander Van Langendonck , Philippe Muchez1 , Stijn Dewaele , Alphonse Kaputo Kalubi & Jacques Cailteux // Geologica Belgica Petrographic And Mineralogical Study Of The Sediment-Hosted Cu-Co Ore Deposit At Kambove West In The Central Part Of The Katanga Copperbelt (DRC) (2013) P- 91-104
72. Электронный Ресурс] <Http://Www.Portergeo.Com.Au/Database/Mineinfo.Asp?Mineid=Mn126> [Дата Обращения 17.09.2020]
73. Zambia Consolidated Copper Mines I. H. Preparation of Phase 2 of A Consolidated Environmental Management Plan, Task Reports (Task II–VI) //Lusaka: Zambia Consolidated Copper Mines, Industrial Holdings. – 2005.
74. Czech Geological Survey // Environmental-Geochemical Atlas Of The Central-Northern Part Of The Copperbelt Province Of Zambia.// Project Of The Development Cooperation Programme Of The Czech Republic- 2007 P-
75. J. Sikamo, A. Mwanza, And C. Mweemba.// Copper Mining In Zambia - History And Future - 2016 -P-6 Электронный Ресурс] [[Http://Www.Scielo.Org.Za/Pdf/Jsaimm/V116n6/03.Pdf](http://www.scielo.org.za/pdf/jsaimm/v116n6/03.pdf)]
76. Электронный Ресурс] <Https://Www.Britannica.Com/Place/Katanga-Historical-State-Africa> Дата Обращенеие [02/09/2020]
77. Madsen, A., 1998; La Générale Des Carrières Et Mines, A State-Owned Mining Enterprise In The Democratic Republic Of Congo. Transnational Research Associates.
78. Malango Kitungano, 2008; Pouvoirs Publics Et Crises Des Entreprises Publiques Congolaises: Cas De La Gécamines Au Katanga. University Of Lubumbashi.
79. Cuvelier J. Men, mines and masculinities: the lives and practices of artisanal miners in Lwambo (Katanga province, DR Congo) : дис. – Ghent University. Department of Third world studies, 2011.2011-P-12 <Https://Biblio.Ugent.Be/Publication/1863372/File/1863421>
80. Peša I. Mining, Waste and Environmental Thought on the Central African Copperbelt, 1950–2000 //Environment and History. – University Of Groningen Contemporary History — Research Centre For Historical Studies 2018-P-1-22 <Https://Www.Researchgate.Net/Publication/341508301_Mining_Waste_And_Environmental_Thought_On_The_Central_African_Copperbelt_1950-2000>
81. The Study On The Geological Mapping And Mineral Information Service Project For Promotion Of The Mining Industry In The Republic Of Zambia 2009-P-28
82. Zambia Extractive Industries Transparency Initiative 11 The Zambia EITI Report June 2020 Электронный Ресурс] <Https://Eiti.Org/Files/Documents/Zeiti-Report-2018.Pdf> start here
83. Zambia Extractive Industries Transparency Initiative 9 Th Zambia EITI Report December 2018 [Https://Eiti.Org/Files/Documents/Zambia-Eiti-Report-2016.Pdf](https://eiti.org/files/documents/zambia-eiti-report-2016.pdf)
84. Zambia Extractive Industries Transparency Initiative 10 Th Zambia EITI Report
85. Zambia Extractive Industries Transparency Initiative 8th Zambia EITI Report 31 December 2015 [Https://Eiti.Org/Files/Documents/Zeiti-2015-Reconcilation-Final-Report-220217.Pdf](https://eiti.org/files/documents/zeiti-2015-reconcilation-final-report-220217.pdf)
86. Zambia Extractive Industries Transparency Initiative Reconciliation Report For The Year 2013 December 2014 <https://Eiti.Org/Files/Documents/2013_Zambia_Eiti_Report.Pdf>
87. Zambia Extractive Industries Transparency Initiative Reconciliation Report For The Year 2012 December 2014 [Https://Eiti.Org/Files/Documents/2012\_Zambia\_Eiti\_Report.Pdf](https://eiti.org/files/documents/2012_zambia_eiti_report.pdf)
88. Zambia Extractive Industries Transparency Initiative (Zeiti) Independent Reconciliation Report For The Year 2009 March 2012 [Https://Eiti.Org/Files/Documents/2009\_Zambia\_Eiti\_Report.Pdf](https://eiti.org/files/documents/2009_zambia_eiti_report.pdf)
89. Kitwe District State Of Environment Outlook Report August 2010 P.54-80
90. Minerals Engineering, Vol. 2, No. 4, Pp. 521-541, 1989 Production Of Copper And Cobalt At Gecamines, Zaire M. S. Prasad Mineral Resources Research Center, University Of Minnesota, Minneapolis, MN 55455, U.S.A
91. Manda, B. K.; Colinet, G. ; André, L. ; Manda, A. C. ; Marquet, J. R. ; Micha, J. C. Evaluation Of Contamination Of The Food Chain By Trace Elements (Cu, Co, Zn, Pb, Cd, U, V And As) In The Basin Of The Upper Lufira (Katanga/DR Congo). Journal Article: Tropicultura 2010 Vol.28 No.4 Pp.246-252 Ref.17
92. SNC-Lavalin International (2004) Rapport Préliminaire, Etude Sur La Restauration Des Mines De Cuivre Et De Cobalt, République Démocratique Du Congo. Division Internationale, Environnement. Banque Mondiale, Montréal, 204p.
93. Environmental Liability In The Mining Sector: Prospects For Sustainable Development In The Democratic Republic Of The Congo Book Chapter Published 2009 In Mining, Society, And A Sustainable World On Pages 289 -317
94. Van Brusselen D. et al. Metal mining and birth defects: a case-control study in Lubumbashi, Democratic Republic of the Congo //The Lancet Planetary Health. – 2020. – Т. 4. – №. 4. – С. e158-e167.
95. Atibu E. K. et al. Concentration of metals in surface water and sediment of Luilu and Musonoie Rivers, Kolwezi-Katanga, Democratic Republic of Congo //Applied geochemistry. – 2013. – Т. 39. – С. 26-32.
96. Cheyns, K., Banza Lubaba Nkulu, C., Ngombe, L.K., Asosa, J.N., Haufroid, V., De Putter, T., Nawrot, T., Kimpanga, C.M., Numbi, O.L., Ilunga, B.K., Nemery, B., Smolders, E., 2014. Pathways Of Human Exposure To Cobalt In Katanga, A Mining Area Of The D.R. Congo. Science Of The Total Environment, 490, 313-321
97. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 1997. [Https://S3-Us-West-2.Amazonaws.Com/Prd-Wret/Assets/Palladium/Production/Mineral-Pubs/Country/1997/9244097.Pdf](https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/country/1997/9244097.pdf)
98. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2000. [Https://S3-Us-West-2.Amazonaws.Com/Prd-Wret/Assets/Palladium/Production/Mineral-Pubs/Country/2000/Cgmyb00.Pdf](https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/country/2000/cgmyb00.pdf)
99. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2005 [Https://S3-Us-West-2.Amazonaws.Com/Prd-Wret/Assets/Palladium/Production/Mineral-Pubs/Country/2010/Myb3-2010-Cg.Pdf](https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/country/2010/myb3-2010-cg.pdf)
100. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2010 [Https://S3-Us-West-2.Amazonaws.Com/Prd-Wret/Assets/Palladium/Production/Mineral-Pubs/Country/2010/Myb3-2010-Cg.Pdf](https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/country/2010/myb3-2010-cg.pdf)
101. World Bank ZAMBIA-Copperbelt Environment Report [Http://Documents1.Worldbank.Org/Curated/En/599421468781487533/Pdf/Multi0page.Pdf](http://documents1.worldbank.org/curated/en/599421468781487533/pdf/multi0page.pdf)
102. Democratic Republic Of Congo – Environmental And Climate Change Policy Brief June 5, 2008 [Https://Www.Sida.Se/Globalassets/Global/Countries-And-Regions/Africa/Dr-Congo/Environmental-Policy-Brief-Dr-Congo.Pdf](https://www.sida.se/globalassets/global/countries-and-regions/africa/dr-congo/environmental-policy-brief-dr-congo.pdf)
103. The World Copper Factbook 2020 [Http://Www.Icsg.Org/Index.Php/Component/Jdownloads/Finish/170/3046](http://www.icsg.org/index.php/component/jdownloads/finish/170/3046)
104. . The Mineral Industry Of Zambia U.S. GEOLOGICAL SURVEY MINERALS YEARBOOK—2015
105. The Mineral Industry Of Zambia By James J. Barry. U.S. GEOLOGICAL SURVEY MINERALS YEARBOOK—2016. Department Of The Interior U.S. Geological Survey Zambia P 41.1-41.2
106. KPMG GLOBAL MINING INSTITUTE Democratic Republic Of Congo Country Mining Guide-2014 P-19-40 Kpmg.Com/Mining Https://Assets.Kpmg/Content/Dam/Kpmg/Pdf/2014/09/Democratic-Republic-Congo-Mining-Guide.Pdf
107. [Https://En.Wikipedia.Org/Wiki/Mutanda\_Mine#Resource](https://en.wikipedia.org/wiki/Mutanda_Mine#Resource) (Дата Обращения 10.02.2021)
108. The Mineral Industry Of Congo (Kinshasa) By Thomas R. Yager. 2012 Minerals Yearbook U.S. Department Of The Interior U.S. Geological Survey P-11.1-11.3
109. Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers administrators. <Https://Eprints.Lib.Hokudai.Ac.Jp/Dspace/Bitstream/2115/52352/1/JJVR61-S_REVIEW_03.Pdf)>],
110. Kalenga J. N. Economic and Toxicological aspects of copper industry in Katanga, DR Congo //Japanese Journal of Veterinary Research. – 2013. – Т. 61. – №. Supplement. – С. S23-S32. <Https://Eprints.Lib.Hokudai.Ac.Jp/Dspace/Bitstream/2115/52352/1/JJVR61-S_REVIEW_03.Pdf>)
111. Arthur Tshamala Kaniki, Kaniki Tumba, Management Of Mineral Processing Tailings And Metallurgical Slags Of The Congolese Copperbelt: Environmental Stakes And Perspectives, Journal Of Cleaner Production (2018), Doi: 10.1016/J.Jclepro.2018.11.131
112. Электронный Ресурс] <Https://Www.Iamat.Org/Country/Congo-Democratic-Republic/Risk/Air-Pollution>
113. Kabamba M. et al. Toxic heavy metals in ambient air of Kinshasa, Democratic Republic Congo //J Environ Anal Chem. – 2016. – Т. 3. – №. 178. – С. 2.
114. Whyte, RM\*, Schoeman, N.\*\* & Bowes K. G. Processing of Konkola copper concentrates and Chingola refractory ore in a fully integrated hydrometallurgical pilot plant circuit //Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2001. – Т. 101. – №. 8. – С. 427-436. <Https://Www.Saimm.Co.Za/Journal/V101n08p429.Pdf>
115. Technical Assessment Report Of Konkola Copper Mines Plc// As At 12th August 2005. Prepared For N M Rothschild & Sons Ltd. By IMC Group Consulting Ltd P-25-
116. KPMG International //MINING Zambia Country Mining Guide 2013 P-21-36 Электронный Ресурс] <Https://Assets.Kpmg/Content/Dam/Kpmg/Pdf/2013/08/Zambian-Country-Guide.Pdf>
117. Republique Democratique Du Congo Comite Executif De L’initiative Pour La Transparence Dans Les Industries Extractives Rapport De Conciliation Itie Rdc Exercice 2012 [Электронный Ресурс] <Https://Drive.Google.Com/File/D/0B1C1Aj5TqAgvdG9VMzRTZHk1RXc/View>
118. Republique Democratique Du Congo Comite Executif De L’initiative Pour La Transparence Dans Les Industries Extractives Rapport De Conciliation Itie Rdc Exercice 2015 [Электронный Ресурс] [Http://Www.Itierdc.Net/Wp-Content/Uploads/2016/03/Rapport-ITIE-RDC-2014-Final-Sign%C3%A9.Pdf](http://www.itierdc.net/wp-content/uploads/2016/03/rapport-ITIE-RDC-2014-Final-sign%C3%A9.pdf)
119. [Электронный Ресурс] <Https://Www.Itierdc.Net/Publications/Rapports-Itie-Rdc-2000/Rapport-Itie-Rdc-2015/> (Дата Обращения 18.03.2021)
120. Republique Democratique Du Congo Comite Executif De L’initiative Pour La Transparence Dans Les Industries Extractives Rapport De Conciliation Itie Rdc Exercice 2016 Электронный Ресурс] [Https://Drive.Google.Com/File/D/1t1f-Oqwbskq3rt4wn6c0ee4ofj032vke/View](https://drive.google.com/file/d/1T1f-OqWBSKq3rt4WN6c0eE4OfJ032Vke/view)
121. Mining in Zambia (Электронный Ресурс] <Https://En.Wikipedia.Org/Wiki/Mining_In_Zambia> (Дата Обращения 23.03.2021)
122. USGS [Электронный Ресурс] <Https://Pubs.Usgs.Gov/Periodicals/Mcs2020/Mcs2020.Pdf>
123. The Mineral Industry Of Zambia. Philip M. Mobbs. U.S. GEOLOGICAL SURVEY Minerals Yearbook—2011
124. US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2012 Электронный Ресурс] [Электронный Ресурс] <Https://S3-Us-West-2.Amazonaws.Com/Prd-Wret/Assets/Palladium/Production/Mineral-Pubs/Mcs/Mcs2012.Pdf>
125. Vojteˇch Ettler, Martina Vı´Tkova, Martin Mihaljevicˇ, Ondrˇej Sˇebek, Mariana Klementova´, Frantisˇek Veselovsky´, Pavel Vybı´Ral, Bohdan Krˇ´Ibek // Dust From Zambian Smelters: Mineralogy And Contaminant Bioaccessibility <Https://Proxy.Library.Spbu.Ru:2096/Content/Pdf/10.1007/S10653-014-9609-4.Pdf>
126. Mining In Africa’s Copperbelt Zambia And Democratic Republic Of Cong [Электронный Ресурс] <Https://Www.Gbreports.Com/Wp-Content/Uploads/2014/08/Copperbelt_Mining2014.Pdf>
127. Lee Mudenda. Assessment Of Water Pollution Arising From Copper Mining In Zambia: A Case Study Of Munkulungwe Stream In Ndola, Copperbelt Province. -2018 P-11-28 [Электронный Ресурс] [Https://Open.Uct.Ac.Za/Bitstream/Handle/11427/27984/Thesis\_Ebe\_2018\_Mudenda\_Lee.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y](https://open.uct.ac.za/bitstream/handle/11427/27984/thesis_ebe_2018_mudenda_lee.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (Not Cited Yet)
128. Auditor General Report, 2014. Management Of Environmental Degradation Caused By Mining Activities In Zambia, Lusaka 2014 P-:40-120 [Электронный Ресурс] <Http://Www.Kafuerivertrust.Org/Wp-Content/Uploads/2015/03/Auditor-General-Zambia-Environmental-Degradation-Caused-By-Mining-2014.Pdf>
129. Ministry Of Mines And Mineral Development Environmental And Social Management Framework [Электронный Ресурс] [Http://Documents1.Worldbank.Org/Curated/En/813951469077929423/Pdf/SFG2338-EA-P154683-Box396279B-PUBLIC-Disclosed-7-20-16.Pdf](http://documents1.worldbank.org/curated/en/813951469077929423/pdf/SFG2338-EA-P154683-Box396279B-PUBLIC-disclosed-7-20-16.pdf)
130. Mwansa, Chalwe C., "A Political Ecology of Copper Production and Environmental Degradation In Zambia" (2016). Master's Theses. 244 [Https://Repository.Usfca.Edu/Cgi/Viewcontent.Cgi?Article=1312&Context=Thes](https://repository.usfca.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1312&context=thes)
131. Implementation Completion And Results Report (Ida-37410 Ida-3741a Ida-H0260) On A Credit In The Amount Of Sdr14.1 Million To The Republic Of Zambia For A Copperbelt Environment Project October 2011 P-16 [Электронный Ресурс] <Http://Documents1.Worldbank.Org/Curated/En/615451468170065644/Pdf/ICR19040P070960sclosed0Dec027020110.Pdf>
132. Central Statistical Office, COMPENDIUM OF ENVIRONMENT STATISTICS, 2015 [Электронный Ресурс] [Https://Unstats.Un.Org/Unsd/Environment/Compendia/Zambia\_Compedium%20of%20Environment%20Statistics\_2015.Pdf](https://unstats.un.org/unsd/environment/Compendia/Zambia_Compedium%20of%20Environment%20Statistics_2015.pdf)
133. Peter Ashton , David Love , Harriet Mahachi And Paul Dirks // Mining, Minerals And Sustainable Development Project, Southern Africa An Overview Of The Impact Of Mining And Mineral Processing Operations On Water Resources And Water Quality In The Zambezi, Limpopo And Olifants Catchments In Southern Africa- 2001 P-50 [Электронный Ресурс] Https://Pubs.Iied.Org/Sites/Default/Files/Pdfs/Migrate/G00599.Pdf
134. J. Mwitwa L. German Muimba-Kankolongo // Governance And Sustainability Challenges In Landscapes Shaped By Mining: Mining-Forestry Linkages And Impacts In The Copper Belt Of Zambia And The DR Congo 2010 P-5-10. Puntodewohttps://Proxy.Library.Spbu.Ru:2068/Science/Article/Pii/S138993411200161X#
135. IRMA, 2018. IRMA Standard For Responsible Mining IRMA-STD-001, Draft V2.0, S.L.: Https://Pubs.Iied.Org/Sites/Default/Files/Pdfs/Migrate/G00599.Pdf Https://Responsiblemining.Net/Wpcontent/Uploads/2018/07/IRMA\_STANDARD\_V.1.0\_FINAL\_2018-1.Pdf P-131
136. B. Krˇíbek A,⇑ , V. Majer A , I. Knésl A , I. Nyambe B , M. Mihaljevicˇ C , V. Ettler C , O. Sracek D // Concentrations Of Arsenic, Copper, Cobalt, Lead And Zinc In Cassava (Manihot Esculenta Crantz) Growing On Uncontaminated And Contaminated Soils Of The Zambian Copperbelt -2014- P-6
137. Mwaanga P. et al. Preliminary review of mine air pollution in Zambia //Heliyon. – 2019. – Т. 5. – №. 9. – С. e02485. <Https://Pubs.Iied.Org/Sites/Default/Files/Pdfs/Migrate/G00599.Pdf> <Https://Www.Ncbi.Nlm.Nih.Gov/Pmc/Articles/PMC6819756/#Bib18> (Дата Оьрашения 08.05.2021)
138. Leif A., Simukanga S.. // Air Quality, Preparation Of Phase 2 Of A Consolidated Environmental Management Plan, Project Report, ZCCM Investments Holdings, Copperbelt Environmental Project, Lusaka, Zambia -2005
139. Ncube E., Banda C., Mundike J.// Air Pollution On The Copperbelt Province Of Zambia; Effects Of Sulphur Dioxide On Vegetation And Humans. J.// Natural Environmental. Science -. 2012 – P-34–41
140. Konečný L., Ettler V., Kristiansen S.M., Amorim M.J.B., Kříbek B., Mihaljevič M., Šebek O., Nyambe I., Scott-Fordsmand J.J. Response Of Enchytraeus Crypticus Worms To High Metal Levels In Tropical Soils Polluted By Copper Smelting. J. Geochem. Exploration. 2014- P-144:427–432.
141. Patience Ngelinkotoa , Florian Thevenonb,Y , Naresh Devarajanb,C, Niane Biraneb , Jeef Maliania , Alain Bulukua , Dieudonne Musibonod , Josue I. Mubedia And John Pot // Trace Metal Pollution In Aquatic Sediments And Some Fish Species From The Kwilu-Ngongo River, Democratic Republic Of Congo (Bas-Congo) -2014 P-1
142. Ziwa G., Crane R., Hudson-Edwards K. A. Geochemistry, Mineralogy and Microbiology of Cobalt in Mining-Affected Environments. Minerals 2021, 11, 22. – 2020. <Https://Www.Mdpi.Com/2075-163X/11/1/22/Htm>
143. Atibu E. K. et al. Assessment of trace metal and rare earth elements contamination in rivers around abandoned and active mine areas. The case of Lubumbashi River and Tshamilemba Canal, Katanga, Democratic Republic of the Congo //Geochemistry. – 2016. – Т. 76. – №. 3. – С. 353-362. <Https://Proxy.Library.Spbu.Ru:2068/Science/Article/Pii/S0009281916301490?Via%3Dihub>
144. Squadrone S. et al. Human exposure to metals due to consumption of fish from an artificial lake basin close to an active mining area in Katanga (DR Congo) //Science of the Total Environment. – 2016. – Т. 568. – С. 679-684.
145. Banza Lubaba Nkulu C. et al. Sustainability of artisanal mining of cobalt in DR Congo //Nature sustainability. – 2018. – Т. 1. – №. 9. – С. 495-504. [Https://Www.Nature.Com/Articles/S41893-018-0139-4.Pdf?Origin=Ppub](https://www.nature.com/articles/s41893-018-0139-4.pdf?origin=ppub)
146. Ettler V. et al. Surprisingly contrasting metal distribution and fractionation patterns in copper smelter-affected tropical soils in forested and grassland areas (Mufulira, Zambian Copperbelt) //Science of the Total Environment. – 2014. – Т. 473. – С. 117-124.
147. Dieter Schwela // Review Of Urban Air Quality In Sub-Saharan Africa Region - Air Quality Profile Of SSA Countries -2005 - P-17-251