

**ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ/GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS, MINERALOGY**DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.6.2>**АНАЛИЗ ГОРНЫХ МАССИВОВ ЗОЛОТОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ РЕСПУБЛИКИ БУРУНДИ**

Научная статья

Хакешимана Ж.К.^{1,*}, Бенуа Н.², Пелипенко Н.А.³¹ORCID : 0009-0004-6029-2081;²ORCID : 0009-0003-3049-0100;³ORCID : 0000-0002-3522-5934;^{1, 2, 3} Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (hakeshajclaud[at]gmail.com)

Аннотация

Данное исследование посвящено анализу горных массивов в золотоносных провинциях Республики Бурунди с целью выявления их геолого-структурных особенностей и оценки потенциала для локализации золотого оруденения. В статье приведены результаты анализа массивов, расположенных в провинциях Руйиги, Чибиток и Муйинга, с целью оценки потенциала для локализации золотого оруденения на основе геологических данных, спутниковых изображений, а также существующих геохимических и геофизических исследований. Горные массивы Бурунди по геологическому периоду разделяются на три основные части: архейскую, бурундийскую и малагаразийскую. Проведены работы по подготовке образцов горных пород и разработке классификационных принципов для оценки перспективности участков. Работа обусловлена необходимостью научного обоснования поисковых работ и эффективного использования минерально-сырьевой базы. Экспериментальные исследования методами рентгенофлуоресцентного анализа с использованием спектрометров «Спектроскан» и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии позволили определить содержание микроэлементов, макроэлементов, а также идентифицировать минералы в пробах горных пород. Основное внимание уделено морфоструктурному анализу, выявлению зон тектонической активности, разрывных нарушений и их связи с известными и потенциальными золоторудными проявлениями. Установлено, что золотоносные проявления часто ассоциируются с определенными типами горных массивов, характеризующимися сложной дислоцированной структурой и наличием метаморфических пород. Полученные результаты позволяют уточнить поисковые критерии и оптимизировать стратегии геологоразведочных работ в регионе.

Ключевые слова: Республика Бурунди, массив, золото, горные породы, химические элементы, минералы.**ANALYSIS OF ROCK MASSIFS IN THE GOLD-BEARING PROVINCE OF THE REPUBLIC OF BURUNDI**

Research article

Hakeshimana J.C.^{1,*}, Benoit N.², Pelipenko N.A.³¹ORCID : 0009-0004-6029-2081;²ORCID : 0009-0003-3049-0100;³ORCID : 0000-0002-3522-5934;^{1, 2, 3} Belgorod National Research University, Belgorod, Russian Federation

* Corresponding author (hakeshajclaud[at]gmail.com)

Abstract

This study is dedicated to the analysis of mountain massifs in the gold-bearing provinces of the Republic of Burundi, aiming to identify their geological and structural features and assess their potential for gold mineralization localization. The article presents the results of analyzing massifs located in the Ruyigi, Cibitoke, and Muyinga provinces, with the goal of evaluating their gold mineralization potential based on geological data, satellite imagery, as well as existing geochemical and geophysical research. The mountain massifs of Burundi are divided into three main parts according to geological period: the Archean, Burundian, and Malagarazian. Work has been conducted on preparing rock samples and developing classification principles for assessing the prospects of the sites. This work is driven by the necessity of scientifically substantiating exploration activities and the efficient utilization of the mineral resource base. Experimental studies using X-ray fluorescence analysis with "Spectroscan" spectrometers and energy-dispersive X-ray spectroscopy allowed for the determination of microelement and macroelement content, as well as the identification of minerals in rock samples. The main focus has been on morphostructural analysis, identifying zones of tectonic activity, fault disturbances, and their connection with known and potential gold occurrences. It has been established that gold occurrences are often associated with specific types of mountain massifs characterized by complex dislocated structures and the presence of metamorphic rocks. The obtained results allow for the refinement of exploration criteria and the optimization of geological exploration strategies in the region.

Keywords: Republic of Burundi, massif, gold, rocks, chemical elements, minerals.**Введение**

Республика Бурунди, расположенная в восточно-центральной Африке, является частью Восточно-Африканского рифта и характеризуется сложным геологическим строением, представленным докембрийскими кристаллическими

щитами и более молодыми осадочными формациями. Регион издревле известен своими минеральными ресурсами, среди которых золото занимает особое место. Несмотря на наличие многочисленных свидетельств кустарной добычи золота, систематическое изучение и анализ золотоносных провинций остаются недостаточными. Горные массивы Бурунди, являющиеся результатом длительных тектонических процессов, играют ключевую роль в формировании и локализации месторождений полезных ископаемых, включая золото.

Добыча золота представляет собой значимый аспект экономики и недропользования страны. Люди начали добывать этот драгоценный металл ещё до нашей эры, и на протяжении многих тысячелетий он являлся главным мерилом состоятельности и богатства человека и государства. В XXI веке золотодобыча ведётся во многих странах мира. Одним из крупнейших мест добычи стал африканский континент. Месторождения золота Африки содержат в себе огромные запасы высококачественного металла, что позволяет странам материка обеспечивать как внутренний рынок, так и торговать ценным ресурсом на мировом рынке. Бурунди является одной из этих стран. На территории страны есть горные массивы, где ведётся интенсивная добыча золота [1]. В различных источниках отмечено, что золотоносные провинции Республики Бурунди включают: Мабайи, Чанкузо, Тора-Рузибази, Муйинга [2]. Добыча золота в 2022 году в Бурунди составила 900 кг, что на 0,784% больше, чем в 2021 году, когда она была равна 893 кг. Добыча золота в этом государстве растёт уже 2 года подряд. За все время наблюдения с 1974 года объём добычи увеличился в 81,82 раза. Максимальный показатель объёма добычи золота в Бурунди был зафиксирован в 2006 году, достигнув 4 313 кг [3]. Самое низкое значение в размере 0 кг золота наблюдалось в Бурунди в 2000 году.

В рамках нашего исследования мы расширили поисковые работы, чтобы провести анализ обширной части массива, где могут находиться месторождения золота. Для этого были изучены геологические характеристики ландшафта Республика Бурунди в пространстве и во времени. Были выбраны территории для обследования и отобраны пробы для определения химических элементов и минералов, связанных с золотом. Целью данного исследования является всесторонний анализ горных массивов золотоносной провинции Бурунди для выявления их геолого-структурных и геохимических особенностей, определения содержания химических элементов, идентификации минералов, разработки классификационных принципов для оценки перспективности участков и оценки потенциала для локализации золотого оруденения.

Методы исследования

На рисунке 1 представлена обзорная схема месторождений Бурунди на схеме Африки.

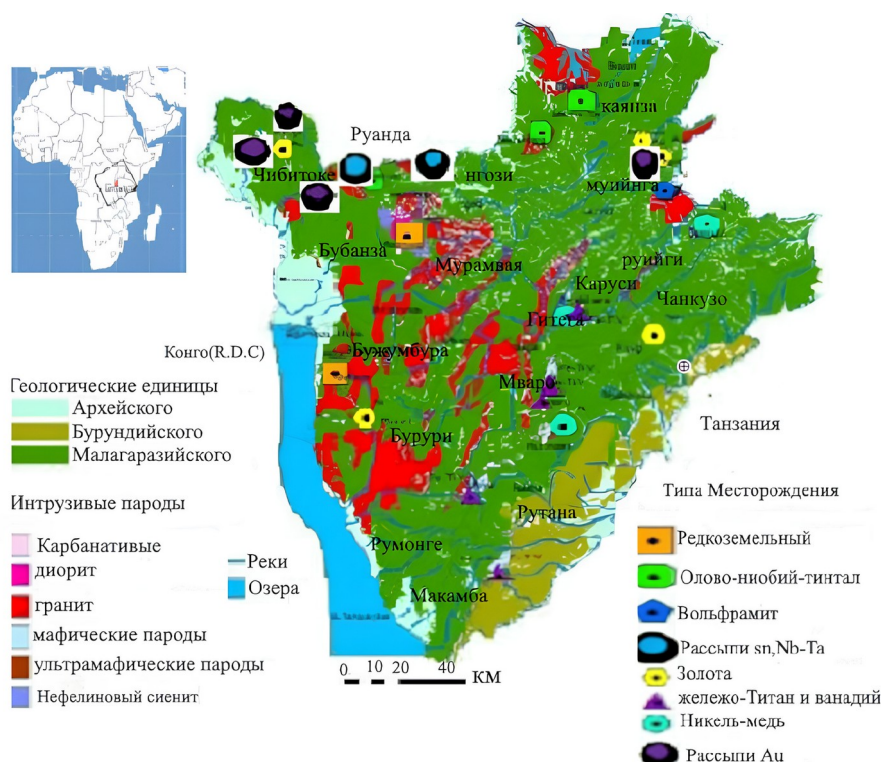


Рисунок 1 - Обзорная схема месторождений Бурунди на схеме Африки

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.6.2.1>

В исследовании анализировались образцы горных пород из золотоносных провинций Республики Бурунди с использованием методов энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX), рентгенофлуоресцентного и микрорентгенофлуоресцентного анализа для определения содержания химических элементов и анализа геохимического состава руд. Основное внимание уделялось распределению элементов и геохимическим характеристикам пород в золотоносных районах. Используемые методы включали геохимический анализ образцов горных пород, изучение особенностей руд и связанных с ними полезных ископаемых. Проводилась оценка

пространственного распределения содержания элементов в минералах для определения запасов и качества руды, химический анализ образцов из золотоносных массивов и определение других элементов.

Территорию Республики Бурунди в основном занимает плоскогорье (1500-2000 м), поднимающееся к западу до 2500 м (высшая точка — 2670 м), где оно обрывается у озера Танганьика. В этом районе рельеф представляет собой холмистое глыбовое плоскогорье, ступенчато понижающееся с запада на восток от высоты 2100 м до 1400 м. На западной части образуется крутой склон в виде меридионального горного хребта высотой до 2684 м — это высшая точка Бурунди. По характеристике пород, большая часть территории страны покрыта образованиями докембрийского возраста (> 570 миллионов лет). К кайнозойскому возрасту относятся самые последние породы, представленные аллювиальными отложениями равнины Имбо и базальтовыми отложениями. Докембрийский геологический период состоит из трех основных комплексов пород: архейского, бурундийского и малагаразийского [4], [19] (рис. 2). Архей (2600 миллионов лет) был обнаружен на юго-западе Бурунди, на северо-востоке страны и к югу от Бужумбуры. Он в основном состоит из гнейсов и гранитов, в которых локально вкраплены амфиболиты и метакварциты. Бурундийский (от 1400 до 950 миллионов лет) охватывает большую часть территории от центра до востока и с юга до севера. Он представляет собой местный эквивалент орогенного хребта Кибари, который простирается от южной части реки Шаба до Уганды [21], [18]. Он характеризуется наличием кварцитов, сланцев и пластов на востоке и гранитных гнейсов, часто порфировых гранитов и амфиболитов с вкраплениями метакварцитов и микашистов на западе. Малагаразийский комплекс моложе бурундийского и в значительной степени несогласно залегает на последнем. Он занимает юго-восток страны и простирается до Танзании, где его называют «Букобан». Для него характерны кварциты, сланцы, конгломераты, базальты, доломитовые и кремнистые известняки, песчаники и миндалевидные лавы [5], [6]. Работа Казенава Пиаро, 1979 г., позволила нам построить геологическую карту, на которой расположены разные породы. Территория расположена в центральной части Африканской платформы и в основном сложена слабометаморфизованными терригенными, в меньшей степени карбонатными и вулканогенными породами среднепротерозойского Кибарского складчатого пояса. На востоке страны распространены сланцы, доломиты, известняки и лавы верхнепротерозойской супергруппы Малагараси. Важнейшие полезные ископаемые страны — руды никеля, которые также содержат медь, кобальт и платину (месторождения в центре и на востоке, крупнейшее из которых — Мусонгати) [18], [17]. Значительны также запасы богатых титаномagnetитовых руд, содержащих ванадий. На севере — многочисленные мелкие месторождения бедных оловянных руд, содержащих также вольфрам, ниобий, тантал, бериллий и литий. Горный хребет является водоразделом рек бассейнов Нила и Конго [7], [8]. Выявлены крупные горные хребты и изолированные массивы, преимущественно ориентированные в северо-восточном и северо-западном направлениях, что коррелирует с региональной тектонической рамой Восточно-Африканского рифта [22]. Отмечена высокая плотность линейных дизъюнктивных нарушений, многие из которых прослеживаются на сотни километров и выступают в качестве рудоконтролирующих структур.

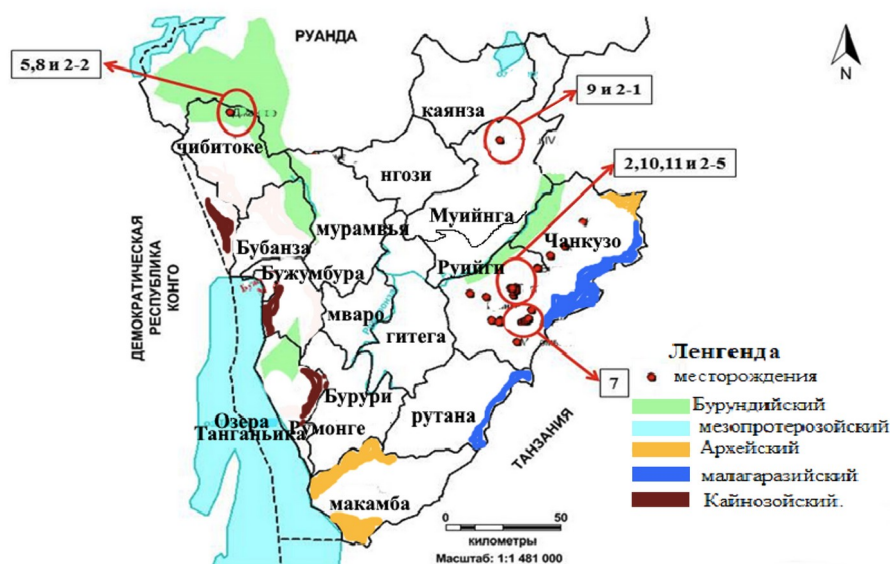


Рисунок 2 - Схема месторождения с точками пробоотбора
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.6.2.2>

Почвенно-геохимические исследования проведены на территории бурундийского комплекса пород, расположенного в горных массивах золотоносной части страны, конкретно в провинции Чиби́токе (Джангве) на северо-западе Бурунди, в провинции Каянзе (Мюнере), в провинции Муинга (Масака IV) на востоке, в провинции Чанкузо (Кайги, Маханго) и в провинции Руйиги (в нескольких населённых пунктах) в центральной части. Установлено, что наиболее перспективные с точки зрения золотоносности горные массивы сложены преимущественно метаморфическими породами докембрийского возраста (сланцы, гнейсы, амфиболиты, кварциты) и прорваны более молодыми интрузиями гранитоидов. Золотое оруденение часто приурочено к зонам сдвигов, крутопадающих разломов и контактов между различными литологическими комплексами, особенно в районах развития кварцевых жил [25]. На

основе комплексного анализа и геологических данных, были выделены несколько зон, характеризующихся повышенной перспективностью на золотоносность. Эти зоны отличаются сочетанием высокой плотности разрывных нарушений, наличием благоприятных литологических ассоциаций и геохимических аномалий, подтвержденных на локальном уровне. Например, определенные сегменты горного хребта Руйиги показывают значительный потенциал. Всего отобраны 34 пробы горной породы на глубинах 5–6 м. Точки наблюдения и населённые пункты, где проводилось опробование пород, почв и грунтов, отражены на рисунке 2. Горные породы — природные минеральные агрегаты с более или менее постоянным минеральным составом, слагающие земную кору. Они образуются в результате естественных физико-химических процессов в земной коре и прилегающих к ней оболочках [14]. Горные породы представляют собой природный агрегат одного или нескольких минералов либо скопление минеральных обломков [15].

В ходе полевых наблюдений был применен штучный подход, который представляется более предпочтительным при изучении поведения химических элементов в пробах горных пород. Пробы отбирали из оруденелых разновидностей пород на территории Бурунди путём отбора серии сколков с площади, как правило, не превышающей 1 кв. м (рис. 3). Материал пробы дробился при помощи молотка до размерности обломков не более 70 мм. Общий вес штучной пробы составлял от 0,5 до 2 кг. Отбор сколков производился таким образом, чтобы состав штучной пробы характеризовал средний состав оруденения. Каждая штучная проба обязательно сопровождалась образцом, шлифом, аншлифом. Образцы почвы были высушены на воздухе при комнатной температуре и просеяны через сито с диаметром ячеек 0,25 мм. Общее валовое содержание микроэлементов и оксидов в почвах определено рентгенофлуоресцентным методом, а с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии установлены содержание твёрдого вещества и получены сканирующие изображения.



Рисунок 3 - Процесс работы во время пробоотбора
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.6.2.3>

Результаты и их обсуждение

Результаты определения химических элементов представлены в таблицах 1 и 2. На основе этих полученных данных был выполнен пересчет химического состава с идентификацией минералов для каждого объекта. Данные по оксидам позволили идентифицировать минералы, которые представлены в таблице 2 ниже. Идентификация минералов производилась по формуле для определения содержания минерала в сырье.

Для расчёта минералогического состава с данными оксидами мы использовали следующую формулу:

$$[\text{минерал}] = t_o \frac{M_M}{M_o} = t_o \cdot \mu_{M_o}$$

[минерал] — содержание определенного минерала в сырье, в.ч.;

t_o — содержание в сырье одного из оксидов, входящих в состав определяемого минерала;

μ_{M_o} — пересчетный коэффициент, равный отношению молекулярной массы определяемого минерала (M_M) к молекулярной массе оксида (M_o), входящего в состав минерала (речь идет об оксиде, по которому ведут расчет).

Таблица 1 - Содержание микроэлементов в пробах

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.6.2.4>

Объекты	Мунеге (Каянза)	Гисора (Руйиги)	Мунеге (Каянза)	Каянза	Джангве (Чибитоке)	Мунеге (Каянза)	Гатваро (Руйиги)	Джангве (Чибитоке)	Масака (Муйинга)	Русенго (Руйиги)	Мигеге (Руйиги)	Маханго (Чанкузо)
ТМ, мг/кг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S	617,59	496,20	275,56	299,43	284,81	923,31	273,42	289,11	336,12	617,59	227,54	252,15
Cl	2,05	n/d	n/d	n/d	n/d	53,83	n/d	15,49	n/d	2,05	1,94	37,25
V	80,84	159,07	11,73	n/d	n/d	n/d	7,92	n/d	22,89	80,84	0,90	n/d

Объекты	Мунеге (Каянза)	Гисора (Руйиги)	Мунеге (Каянза)	Каянза	Джангве (Чибитоке)	Мунеге (Каянза)	Гатваро (Руйиги)	Джангве (Чибитоке)	Масака (Муйинга)	Русенго (Руйиги)	Мигеге (Руйиги)	Маханго (Чанкузо)
Cr	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	8,65	n/d	53,97	n/d
Co	108,98	95,42	n/d	336,73	431,62	339,97	20,10	329,53	16,69	108,98	20,08	411,65
Ni	57,99	108,31	11,66	41,62	93,62	1123,06	n/d	50,20	2,43	57,99	2,88	15,40
Cu	63,82	103,09	7,78	401,68	196,05	1017,03	n/d	143,99	3,80	63,82	6,01	79,03
Zn	35,41	28,12	58,27	200,06	442,49	105,95	n/d	273,12	6,43	35,41	4,60	136,87



Объекты	Мунеге (Каянза)	Гисора (Руйиги)	Мунеге (Каянза)	Каянза	Джангве (Чибитоке)	Мунеге (Каянза)	Гатваро (Руйиги)	Джангве (Чибитоке)	Масака (Муйинга)	Русенго (Руйиги)	Мигеге (Руйиги)	Маханго (Чанкузо)
As	2721,34	3154,34	10,26	n/d	n/d	n/d	298,78	n/d	181,05	2721,34	212,96	n/d
Rb	n/d	n/d	763,17	n/d	n/d	n/d	0,54	n/d	0,16	n/d	0,19	n/d
Sr	143,66	376,73	46,52	7111,56	2493,07	4228,0	24,94	2285,95	68,97	143,66	28,99	12671,91
Zr	306,99	240,36	28,99	1737,28	1095,58	1264,05	67,84	1034,99	141,02	306,99	14,27	1787,63
Ba	n/d	n/d	93,50	n/d	n/d	n/d	53,84	n/d	75,46	n/d	5,86	n/d



Объекты	Мунеге (Каянза)	Гисора (Руйиги)	Мунеге (Каянза)	Каянза	Джангве (Чиби́токе)	Мунеге (Каянза)	Гатваро (Руйиги)	Джангве (Чиби́токе)	Масака (Муйинга)	Русенго (Руйиги)	Мигеге (Руйиги)	Маханго (Чанкузо)
Pb	n/d	n/d	48,56	n/d	n/d	n/d	18,69	400,56	5,12	n/d	4,12	n/d

В таблице №1 представлены результаты определения микроэлементов. Всего рассмотрено 14 элементов, которые разделены на 4 группы: 1) S, Cl и Rb — группа щелочных элементов; 2) Sr и Ba — щелочно-земельные; 3) Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As и Pb — группа тяжёлых металлов; и 4) V и Zr — группа редких металлов. Наибольшая концентрация обнаружена у мышьяка с долей 3154,3 мг/кг в точке 2 (провинция Руйиги, Гисора). Элементы S, Co, Sr и Zr присутствуют в значительных количествах во всех образцах. На содержания микроэлементов отражены характеристики столбцов каждого элемента. На рисунке 4 видно, что самый высокий столбец соответствует мышьяку в точках 2 и 10 (также в Руйиги, в городе Мугеге). Также наблюдается, что среди наиболее распространённых элементов стронций демонстрирует высокий пик (2493,07 мг/кг) в точке 5 провинции Чибитокве (Джангве) и точке 8 там же с долей 2285,95 мг/кг. Можно предположить, что высокое содержание этого элемента, вероятно, указывает на наличие магматических минералов или золота в этих объектах.

В научной публикации Анастасии Борисовой указано, что важными индикаторами, помимо высокого содержания Sr и радиогенного отношения Sr/Sr, а также повышенных концентраций Ba, Co, Cr, Cu, V, Zn и Zr в магматических минералах и связанных с ними стёклах, являются перекристаллизованный и остаточный метаморфический сфен, кварц, гранат и апатит. Эти фазы предсказываются при моделировании риолитовых расплавов или с помощью симулятора магматической камеры в процессе плавления вмещающих пород, а также при ассимиляции остаточного метастабильного кальцита и волластонита известково-силикатных кор. Таким образом, неравновесный процесс ассимиляции известково-силикатной коры может быть хорошо смоделирован экспериментами по растворению и термодинамическим моделированием с использованием риолитовых расплавов или симулятора магматической камеры. Скорость ассимиляции известково-силикатных пород земной коры до сих пор остаётся неограниченной ввиду отсутствия адекватных высокотемпературных кинетических экспериментов во временных рядах. Также предполагается, что скорость ассимиляции коры контролируется диффузией Si–Al и связанной с ней конвекцией в водно-силикатном слое магмы [9].

Для построения карт распределения химических элементов и содержания микроэлементов была использована программа Excel (рис. 4). Результаты картирования химических элементов отображают распределение металлов на территории Республики Бурунди, что удобно для идентификации минералов в пробах. Содержание макроэлементов представлено в следующих соотношениях: Sr, Zr, As, S и небольшое количество Cl, Cr, Pb, V и др. Полученные концентрации металлов были переведены из мг/кг в проценты и объединены с данными по оксидам для удобства идентификации минералов в пробах [20].

В результате геохимических исследований было установлено, что в исследуемых абразивах присутствуют высокие концентрации стронция (Sr), циркония (Zr), мышьяка (As) и серы (S), которые широко распространены и имеют промышленное значение. Высокие концентрации этих элементов обусловлены гипергенетическими окислительными процессами. Полученные результаты могут быть использованы для прогностических и поисковых исследований.

Исследование горных массивов в золотоносных районах Республики Бурунди подтверждает гипотезу о ведущей роли тектонических структур в контроле золотого оруденения [22]. Применение рентгенофлуоресцентного и микрорентгенофлуоресцентного анализа для определения содержания химических элементов позволяет эффективно картировать потенциальные рудоносные зоны даже при ограниченной геологической изученности. Однако необходимо дальнейшее наземное подтверждение выявленных перспективных участков с помощью детального геологического картирования, геофизических исследований и бурения.

Важно отметить, что многие золотоносные проявления в Бурунди относятся к гидротермально-кварцевому типу и тесно связаны с зонами разломов и сдвигов, что хорошо согласуется с данными дистанционного зондирования [24].

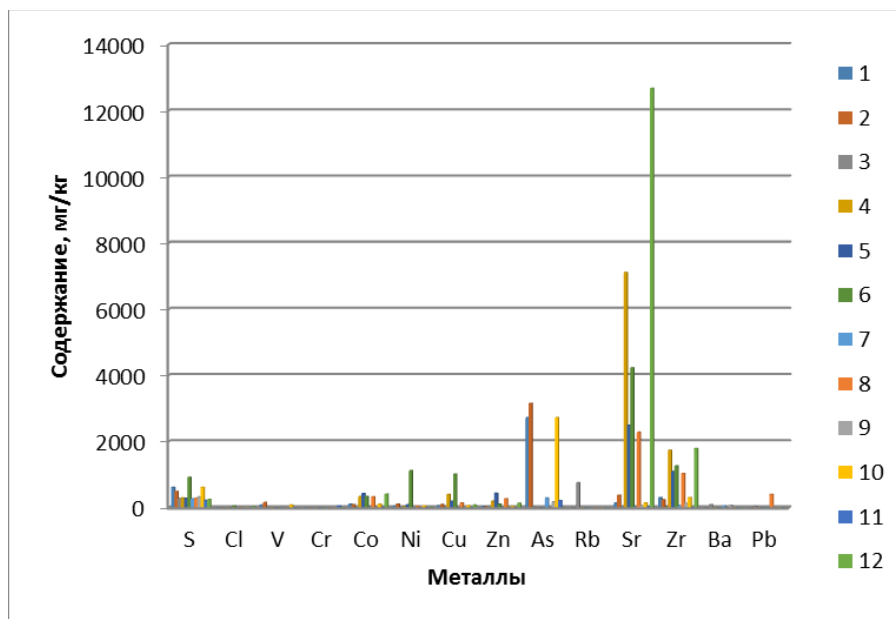


Рисунок 4 - Содержание микроэлементов
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.6.2.5>

В таблице 2 представлены результаты определения оксидов и содержание минералов в каждой пробе, полученные при расчёте и идентификации. Наиболее распространёнными оксидами в пробах являются SiO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 . Наибольшие значения составляют 85,56% для SiO_2 в точке 11 (Руйиги — Мигеге), оксида железа с долей 21,79% также в провинции Руйиги (Русенко) и оксида алюминия там же в Руйиги (Гисора) — 19,04%. В наблюдаемых значениях отметим, что сумма оксидов для каждого образца не достигает 100%. Это связано, в том числе, с потерей воды при плавлении материалов с температурой 1100 °C в метаборате лития. В результатах по микроэлементам заметно, что Sr обнаружен во всех пробах, и самая высокая его концентрация наблюдается в точке 8. Этот факт объясняется тем, что при плавлении материалов происходит значительная потеря воды и изменение объёмной массы. Следовательно, низкая суммарность оксидов в пробе точки 8, то есть Чибитоке (39,23%) по отношению к другим образцам, является закономерной.

Таблица 2 - Химический и минеральный состав проб

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.6.2.6>

	Мунеге (Каянза)	Гисора (Руйиги)	Мунеге (Каянза)	Каянза	Джангве (Чибитоке)	Мунеге (Каянза)	Гатваро (Руйиги)	Джангве (Чибитоке)	Масака (Муйинга)	Русенго (Руйиги)	Мигеге (Руйиги)	Маханго (Чанкузо)
№ образцов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Содержание макроэлементов, %												
Na ₂ O	n/d	n/d	2,24	n/d	n/d	n/d	1,52	n/d	3,04	n/d	1,49	n/d
MgO	0,72	0,63	0,23	1,72	1,77	1,27	0,13	1,76	0,18	0,72	0,20	1,48



	Мунеге (Каянза)	Гисора (Руйиги)	Мунеге (Каянза)	Каянза	Джангве (Чибитоке)	Мунеге (Каянза)	Гатваро (Руйиги)	Джангве (Чибитоке)	Масака (Муйинга)	Русенго (Руйиги)	Мигеге (Руйиги)	Маханго (Чанкузо)
Al ₂ O ₃	12,05	19,04	47,05	1,46	5,71	9,43	1,44	3,36	5,72	12,05	1,46	0,59
SiO ₂	40,40	39,35	48,91	6,79	12,37	8,28	79,29	16,10	76,04	40,40	85,56	7,343
P ₂ O ₅	0,12	0,11	0,13	0,85	1,01	0,13	0,03	0,74	0,05	0,12	0,03	0,33
K ₂ O	0,12	0,11	1,46	0,26	0,99	0,17	0,04	0,58	0,09	0,12	0,05	0,14
CaO	0,11	0,12	0,08	0,16	0,20	0,13	0,07	0,97	0,09	0,11	0,09	0,17

	Мунеге (Каянза)	Гисора (Руйиги)	Мунеге (Каянза)	Каянза	Джангве (Чибитоке)	Мунеге (Каянза)	Гатваро (Руйиги)	Джангве (Чибитоке)	Масака (Муйинга)	Русенго (Руйиги)	Мигеге (Руйиги)	Маханго (Чанкузо)
TiO ₂	n/d	0,18	0,14	n/d	n/d	n/d	0,08	n/d	0,26	n/d	0,05	n/d
Fe ₂ O ₃	21,78	20,19	3,22	n/d	12,36	2,90	1,52	15,72	3,47	21,79	3,81	n/d
Содержание минералов, %												
Ортоклаз K ₂ O·Al ₂ O ₃ · 6SiO ₂	0,69	0,63	8,64	1,53	5,90	1,02	0,25	3,45	0,55	0,69	0,32	0,85
Альбит Na ₂ O·Al ₂ O ₃ · 6SiO ₂	n/d	n/d	18,91	n/d	n/d	n/d	12,82	n/d	25,70	n/d	12,62	n/d



	Мунеге (Каянза)	Гисора (Руйиги)	Мунеге (Каянза)	Каянза	Джангве (Чибитоке)	Мунеге (Каянза)	Гатваро (Руйиги)	Джангве (Чибитоке)	Масака (Муйинга)	Русенго (Руйиги)	Мигеге (Руйиги)	Маханго (Чанкузо)
Полевой шпат $\text{Na}(\text{Al}_3\text{O}_8)$	0,69	0,63	27,55	1,53	5,89	1,02	13,07	3,45	26,26	0,69	12,94	0,85
Каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ $\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	30,28	48,23	106,92	3,03	11,93	23,93	n/d	7,10	1,62	31,33	n/d	1,14
Кварц SiO_2	26,30	17,02	n/d	5,232	6,29	n/d	71,76	12,53	57,59	26,29	78,09	6,74

Результаты расчёта минерального состава на основе данных по оксидам позволили идентифицировать пять минералов (см. табл. 2). Наиболее распространёнными во всех пробах являются ортоклаз, полевой шпат и кварц. Наибольшая концентрация ортоклаза обнаружена в точке 5, полевого шпата — в точке 9, а кварца — в точке 11. Значительное количество каолинита выявлено в провинции Руйиги в точках 2 и 10, тогда как альбит отмечается в Мамба (Муйинга) в точке 9 и в Руйиги (точки 7 и 11). Таким образом, в провинции Руйиги обнаружены все минералы, причём точка 11 характеризуется их наибольшим накоплением. Исходя из содержания кварца, можно предположить, что в провинциях Руйиги и Муйинга возможно наличие золота.

Рентгенофлуоресцентный метод не позволил непосредственно обнаружить золото в пробах горных пород, однако были найдены признаки присутствия этого металла. Поэтому предлагается использовать метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии для определения химического состава веществ. Накопление и обработка спектрометрической информации осуществляются персональным компьютером со встроенным одноплатным спектрометром, который также обеспечивает низковольтное и высоковольтное питание детектора. Программа обработки рентгеновских спектров идентифицирует пики элементов и определяет их площади, пропорциональные концентрациям анализируемых элементов. Результатом обработки является файл, содержащий перечень элементов, входящих в состав пробы, и их концентрации [10].

Определение химического состава проводилось на различных участках образцов, расположенных от центра к краю. Площадь зоны анализа, определяемая детектором энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, составила 1 мм². Данные по химическому составу представлены в виде отношения количества атомов каждого элемента к общему количеству атомов в процентах с указанием пиков, соответствующих конкретному химическому элементу в зоне проведения анализа.

На рисунке 5 наблюдается снижение содержания Al_2O_3 от точки 11 до точки 2, что обусловлено расположением точек: точка 11 находится на наиболее высоком уровне среди всех исследуемых объектов; чем ниже точка, тем меньше содержание алюминия. Очевидно, фиксируется уменьшение оксидов алюминия от ферралитных почв к сапролитовым глинам [10], [11]. Также зафиксировано уменьшение содержания Fe_2O_3 от точки 5 до точки 8, что указывает на снижение концентрации оксида железа (III) с увеличением глубины, отмечаемое при переходе от сапролита к основным породам. Что касается содержания кремнезёма (SiO_2), здесь наблюдается его увеличение от точки 5 до точки 2 по мере углубления. Содержание SiO_2 в образцах 11, 7, 9 и 10 соответствует интервалу значений для основных пород. Содержание P_2O_5 , K_2O и CaO значительно ниже по сравнению с Al_2O_3 , Fe_2O_3 и SiO_2 [21], [19]. Их концентрации (менее 0,10%) находятся на граничном уровне. Содержание Na_2O и MgO также относительно низкое в сравнении с Al_2O_3 , Fe_2O_3 и SiO_2 , демонстрируя очень низкие значения. При этом отмечается увеличение концентраций от ферралитных почв к габброидным породам. Однако K_2O отличается от Na_2O высоким значением (3,04%) в габброидах. Содержание TiO_2 низкое, без выраженной тенденции распределения. Во всех исследованных пробах горных пород обнаружено группирование оксидов кремния, железа и алюминия, что указывает на наличие глинистых минералов, а присутствие кремния может быть связано с существованием золота.

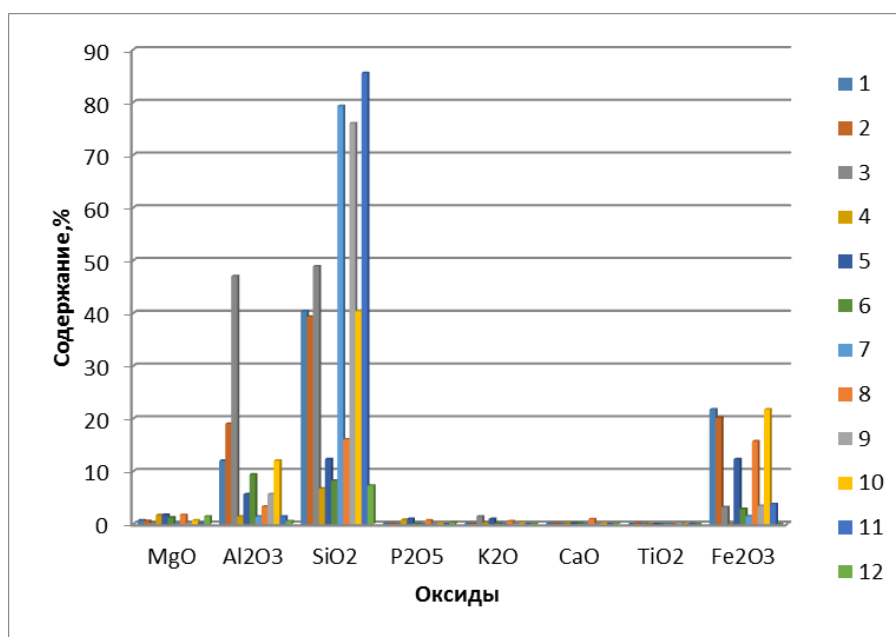


Рисунок 5 - Содержание макроэлементов
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.6.2.7>

Результаты картирования геохимических элементов позволяют визуализировать распределение металлов на территории Республики Бурунди; данные объединены с содержанием оксидов для удобства идентификации минералов в пробах. Содержание макроэлементов представлено в следующих соотношениях: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO и

небольшое количество P_2O_5 , CaO , K_2O и др. Данные элементного анализа, полученные методами рентгенофлуоресцентного анализа и электронной микроскопии, позволяют выявить концентрации химических элементов в минералах и определить минеральный состав руды. В результате геохимических исследований установлено, что в образцах обнаружены высокие концентрации кремния (Si), алюминия (Al), железа (Fe), магния (Mg) и других элементов.

Анализ полученных результатов для визуализации распределения химических микроэлементов в образцах был выполнен с использованием метода рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре Spectroscan-MAX GV и метода энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (рис. 7-9) [16]. При анализе химического состава всех проб учитывались данные идентификации минералов, полученные в ходе предыдущего анализа и выступившие в качестве контрольных для горных массивов золотоносных образцов. Результаты, представленные на рисунке 7, показывают, что данные о содержании основных химических элементов, составляющих основу органической и минеральной фаз в исследуемых образцах горных пород (Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn и Fe), были получены при неизменённом композитном составе. На рисунке 6 показаны зоны анализа образца Муйинга (2-1), равномерно распределённые в направлении от центра к краю образца. Данный образец отобран в районе Массака (Муйинга) и по маркировке проб на спектрометре соответствует точке 9, где были зафиксированы такие металлы, как S, As и Zr, а также оксиды SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 и Na_2O , на основании которых идентифицированы минералы альбита, полевого шпата и кварца с максимальными значениями содержания. В таблице представлены элементы, отражённые в виде процентного соотношения количества атомов каждого элемента к общему количеству атомов в образце: Fe — 36,95%, Si — 6,30%, Al — 4,60%, Mn — 3,04%, Na — 1,10%, K — 0,79%, Mg — 0,42%, Ti — 0,31% и Ca — 0,09%, что не выходит за нижний предел значений.

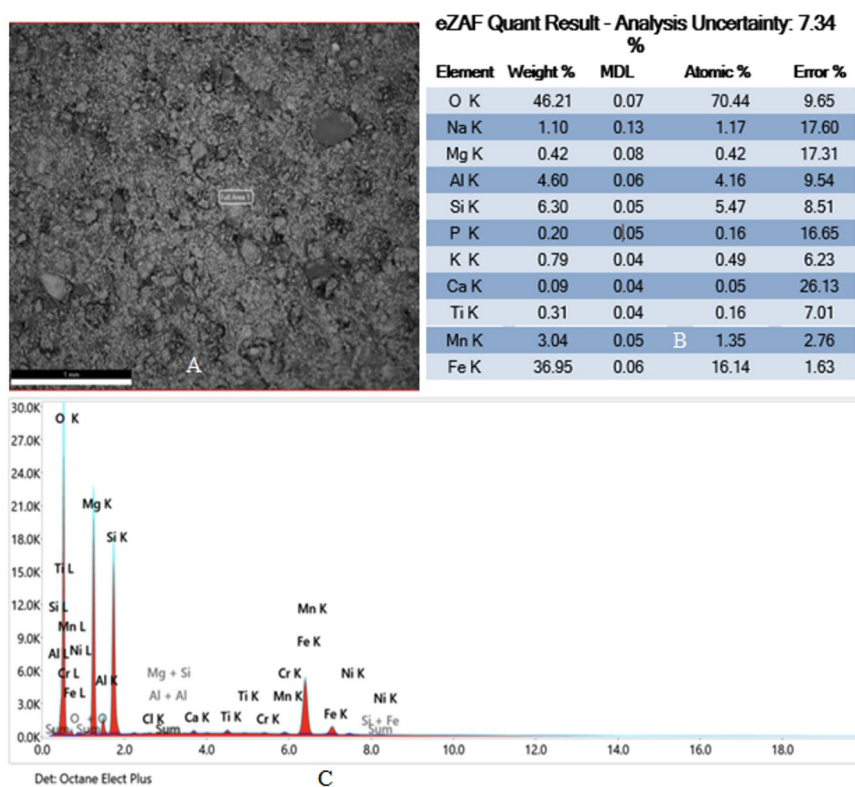


Рисунок 6 - Результаты EDX-анализа образца из провинции Муйинга (2-1)

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.6.2.8>

Примечание: А – спектральное изображение оксида железа; В – таблица содержания химических элементов; С – EDX-спектр оксида железа и алюминия

На изображении видны три области окраски: серый, тёмно-серый и тёмный. Спектральный график показывает наличие пиков железа, кремния и алюминия. Поэтому можно интерпретировать, что доминирующий на рисунке серый цвет соответствует области с пониженным содержанием кислорода в соединениях железа на участке длиной 7,34 мм, тёмно-серый — оксидам кремния, а тёмный — оксидам алюминия. Эти результаты подтверждают данные, полученные ранее для данного объекта другими методами. В результате геохимических исследований было установлено, что в образцах обнаружены высокие концентрации железа, кремния, алюминия, марганца и других элементов.

На рисунке 7 показаны области анализа образца Чибиток (2-2), отобранного в провинции Чибиток, где расположены точки 5 и 8. В этих точках обнаружены все металлы, определяемые по методике М-049-ПДО/18, за исключением хлора, ванадия и хрома. По результатам анализа оксидов выявлены такие соединения, как оксид магния в низких концентрациях, а также алюминий, кремний и железо в умеренных количествах. Среди идентифицированных

минералов присутствуют ортоклаз, полевой шпат и каолинит. Результаты, полученные методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, показывают, что наибольшие концентрации демонстрируют железо (Fe — 36,31%), кремний (Si — 9,84%), алюминий (Al — 3,38%), марганец (Mn — 2,96%), натрий (Na — 1,61%), магний (Mg — 0,57%), калий (K — 0,47%), титан (Ti — 0,23%) и кальций (Ca — 0,07%).

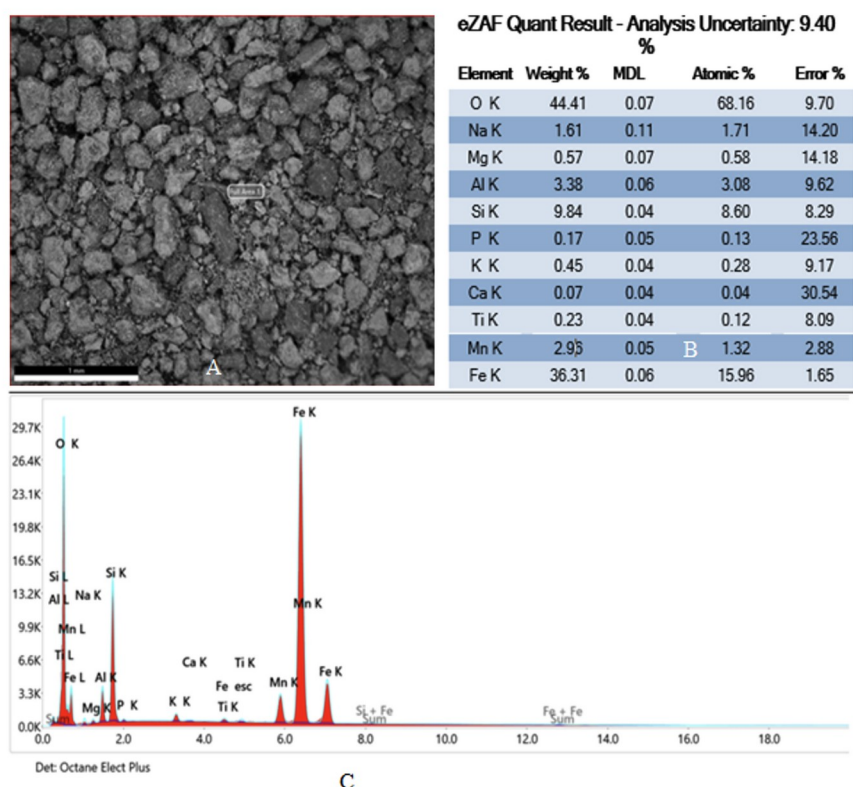


Рисунок 7 - Результаты EDX-анализа образца из провинции Чибитоке (2-2)

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.6.2.9>

Примечание: А – спектральное изображение оксида железа; В – таблица содержания химических элементов; С – EDX-спектр оксида железа, алюминия и марганца

Изображение, полученное при сканировании, показывает, что в пробах видны крупные и ярко окрашенные частицы, где доминирует серый цвет на участке длиной 9,40 мм, далее следует тёмно-серый и наконец, тёмный. На графике наблюдаются пики железа, кремния и алюминия. Таким образом, серый цвет интерпретируется как оксиды железа, следующий — как оксиды алюминия и марганца в чёрно-серой гамме, а тёмно-серый характерен для оксида кремния. На основании результатов, полученных методами рентгенофлуоресцентного и энергодисперсионного анализа, можно утверждать, что в провинции Чибитоке присутствуют признаки золоторудной минерализации, так как здесь обнаружены стронций с высоким содержанием, сера, несколько цветных металлов, а также оксид кремния в значительных количествах и такие магнитные металлы, как марганец. В исследованных образцах обнаружены высокие концентрации железа, кремния, алюминия и других элементов.

Последний образец из провинции Руйиги (2-5), где исследовались точки 2, 7, 10 и 11. В этих точках обнаружены As, S, Zr, оксиды SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, а также минералы ортоклаз, альбит, полевой шпат, каолинит и кварц с максимальными значениями содержания (рис. 8). В таблице представлены данные элементного анализа образца 2-5 и сканирующие изображения.

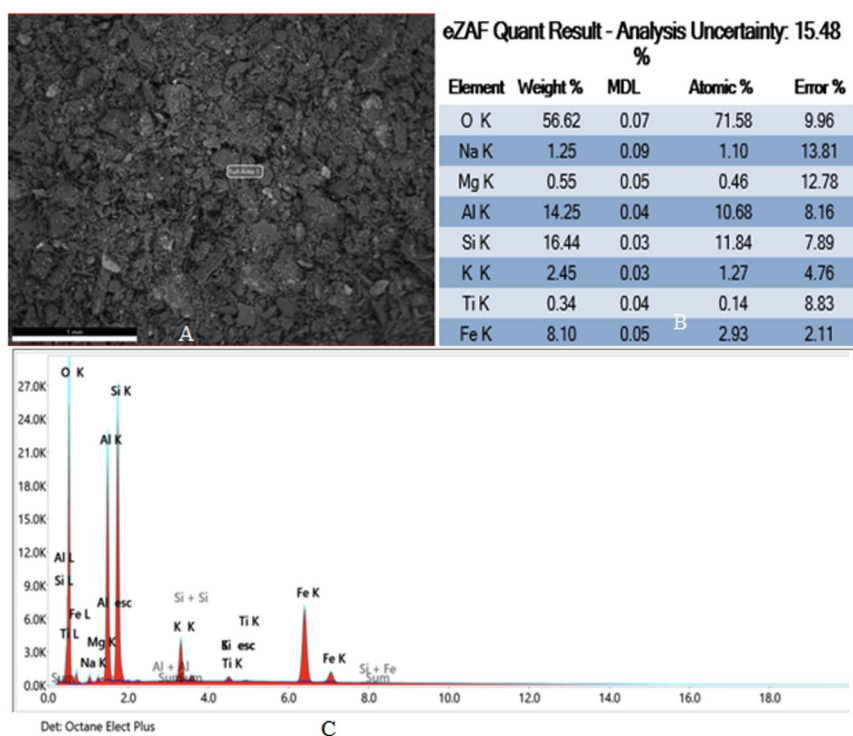


Рисунок 8 - Результаты EDX-анализа образца из провинции Руйиги (2-5)
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.6.2.10>

Примечание: А – спектральное изображение оксида алюминия; В – таблица содержания химических элементов; С – EDX-спектр оксида алюминия, железа и калий

Результаты показывают, что содержание элементов составляет: Si – 16,44%, Al – 14,25%, Fe – 8,10%, K – 2,45%, Na – 1,25%, Mg – 0,55% и Ti – 0,34%. На изображении доминирует тёмно-серая окраска, что подтверждает распространение оксида кремния в образце данного объекта; далее виден тёмный цвет, характерный для оксида алюминия, а также редкая окраска, соответствующая сере, тогда как оксид железа занимает небольшую площадь. На спектральном графике наблюдается высокий пик кремния, за которым следуют пики алюминия и железа. Присутствие оксидов кремния, алюминия и железа подтверждает соответствие результатов, полученных при определении макроэлементов в образцах точек 2, 7, 10 и 11. Наличие кварца, цветных металлов (Cu, Ni, Zn) и стронция, а также циркона может указывать на существование золота в этой провинции. В результате геохимических исследований было установлено, что в образцах обнаружены высокие концентрации кремния, железа, алюминия и других элементов. Высокие концентрации этих элементов, скорее всего, связаны с гипергенными окислительными процессами.

В таблице 3 представлены результаты идентификации минералов в пробах горных пород Бурунди. Максимальное значение в данной таблице — 21,78% — соответствует минералу гематиту, который наблюдается в точке 1 провинции Каянза (Муенга) и является наиболее распространённым минералом во всех точках наблюдения. Далее следует известняк в Чибитоке (Джангве), то есть в точке 8, с максимальной долей 0,96%, а среди редко распространённых обнаруженных минералов выделяется циркон в провинции Чанкузо (Маханго), точка 12.

Таблица 3 - Содержание минералов в пробах

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2026.6.2.11>

Точка	Известняк (CaCO ₃), %	Гематит (Fe ₂ O ₃), %	Циркон (ZrSiO ₄), %
1	0,11	21,78	0,01
2	0,12	20,19	0,03
3	0,08	3,22	n/d
4	0,15	n/d	0,17
5	0,19	12,36	0,11
6	0,14	2,89	0,12
7	0,07	1,52	n/d
8	0,96	15,72	0,1
9	0,09	3,47	0,01
10	0,11	21,78	0,03

11	0,08	3,8	n/d
12	0,16	n/d	0,18

Общая обработка полученных данных позволила сформировать представление о распространении минералов на исследованных площадках. Минерал кварц демонстрирует самый высокий пик, и его присутствие отмечается во всех пробах. Кварц является одним из важнейших и наиболее распространённых минералов земной коры. Он занимает второе место по распространённости (после полевых шпатов) и входит в состав магматических (граниты, липариты, кварцевые порфиры), осадочных (песчаники, пески, суглинки и др.) и метаморфических (гнейсы, слюдяные сланцы, кварциты) горных пород в качестве существенной составляющей [13]. На втором месте находится каолинит, что подтверждает наличие глинистых минералов в почвах Бурунди. Каолинит образуется преимущественно при выветривании полевых шпатов и слагает породу, называемую каолином [13]. Гематит — широко распространённый минерал железа Fe_2O_3 , одна из главных железных руд; небольшой пик, связанный с химическим элементом натрием, позволяет предположить присутствие белого натриевого полевого шпата — альбита. Альбит входит в состав кислых магматических пород: гранитов, сиенитов, липаритов, трахитов, кварцевых и бескварцевых порфиров; метаморфических пород — гнейсов; а иногда встречается в осадочных песчаных породах. Альбит является крайним кислым членом ряда плагиоклазов [23]. Пик, соответствующий оксиду кальция, указывает на признаки известняка в пробах. В конце графика наблюдается небольшой пик стронция, соответствующий циркону. Таким образом, комплексный анализ данных по химическим элементам позволил идентифицировать ряд минералов: кварц, каолинит, гематит, альбит, известняк и циркон. Согласно литературным источникам, в Бурунди имеются значительные месторождения полевого шпата, каолина, фосфора, металлов платиновой группы, кварцита, редкоземельных металлов, ванадия и известняка [1].

Заключение

Проведенный анализ горных массивов золотоносной провинции Республики Бурунди позволил установить устойчивую связь геологического строения с локализацией золотого оруденения. Выявлено, что ключевыми факторами контроля золотой минерализации являются региональные разрывные нарушения, зоны сдвигов и контакты метаморфических комплексов с интрузивными телами. Предложенные принципы классификации горных массивов по их морфогенетическим, структурным и литологическим характеристикам позволяют эффективно выделять перспективные участки для дальнейших геологоразведочных работ. Анализ горных массивов золотоносных провинций Республики Бурунди, изучавший состояние добычи золота на протяжении 50 лет, выяснил, что пик эксплуатации по объёму увеличился на 80%, достигнув максимума в 2006 году. Установлено, что основные золотоносные провинции Республики Бурунди — это Мабайи, Чанкузо, Тора-Рузибази и Муйинга. Была охарактеризована литология горных массивов провинций Республики Бурунди и их геологический возраст. Территория Бурунди сложена породами докембрийского возраста (>570 миллионов лет). Наиболее молодые породы представлены аллювиальными отложениями равнины Имбо и базальтами. Докембрийский период включает три основных комплекса: архейский, бурундийский и малагаразийский. Для достижения цели исследования использовались рентгенофлуоресцентный метод (спектрометр «Спектроскан Макс-GV»), метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, а также статистический, расчетный методы и ГИС-технологии. Результаты, полученные для всех образцов, свидетельствуют о наличии процентного содержания в пробах химических элементов, ассоциированных с генезисом месторождений золота: в Чиботеке, Муйинге и Руйиги установлены признаки золоторудной минерализации. И использованные методики недостаточны для получения достоверной информации о наличии золота в пробах, так как не детектируют оливины. В качестве оптимального дополнительного метода предлагается атомно-абсорбционный анализ. В результате геохимических исследований установлено, что в исследуемых образцах присутствуют высокие концентрации кремния (Si), алюминия (Al), железа (Fe), магния (Mg) и других элементов. Высокие концентрации последних обусловлены гипергенными окислительными процессами. Полученные результаты могут быть использованы для прогностических и поисковых исследований. Они значительно уточняют понимание геологической природы золотоносности Бурунди и создают научную основу для разработки целенаправленных поисковых стратегий. Для повышения точности прогнозов рекомендуется интеграция полученных данных с результатами детальных геофизических съемок (магниторазведка, электроразведка), а также проведение целенаправленного геохимического опробования в выделенных перспективных зонах. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение минералогии золота и сопутствующих минералов для разработки надежных типоморфных признаков, что будет способствовать более эффективному освоению золотоносного потенциала Республики Бурунди.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.



Список литературы / References

1. Месторождения золота в Африке // Иннотер. — URL: <https://innoter.com/articles/mestorozhdeniya-zolota-v-afrike/> (дата обращения: 13.09.2025).
2. World Development Indicators // World Bank Group. — URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (accessed: 07.12.2020).
3. Добыча золота | Бурунди. Данные по годам // Statbase. — URL: <https://statbase.ru/data/bdi-gold-production/> (дата обращения: 13.09.2025).
4. Шлютер Т. Геологический атлас Африки: с примечаниями по стратиграфии, тектонике, экономической геологии, геологическим опасностям, геотермальным источникам и геологическому образованию в каждой стране / Т. Шлютер. — Москва, 2008. — 320 с. — ISBN 978-3-540-77115-2.
5. Tack L. The Proterozoic Kibaran Belt in Central Africa: intracratonic 1375 Ma emplacement of a LIP / L. Tack, M.T.D. Wingate, B. De Waele [et al.] // 22nd Colloquium African Geology (CAG22). — 2008. — 89 p.
6. Klerkx J. Crustal evolution of the northern Kibaran Belt, eastern and central Africa / J. Klerkx, J.P. Liégeois, J. Lavreau [et al.] // Proterozoic Lithospheric Evolution / ed. by A. Kröner. — American Geophysical Union and the Geological Society of America, 1987. — Vol. 17. — P. 217–233.
7. Bikwemu G. Paléoenvironnements et Paléoclimats au Burundi occidental au cours des quarantes derniers millénaires par l'analyse palynologique des dépôts tourbeux: Thèse de Doctorat / G. Bikwemu. — Université de Liège, 1990. — 238 p.
8. Ntakimazi G. Hydrobiologie du Bugesera. En particulier des lacs Cohoha sud et Rweru en vue d'une gestion qualitative de la forme piscicole: Thèse de doctorat / G. Ntakimazi. — F.U.L., 1985. — 454 p.
9. Borisova A.Y. How is carbonate crust digested by magma? / A.Y. Borisova, W. A. Bohrsen // Frontiers in Earth Science. — 2023. — Vol. 10. — DOI: 10.3389/feart.2023.1186207.
10. Konaté A. Les altérations hydrothermales associées à la minéralisation aurifère du gisement de Dougbafla (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) / A. Konaté, M. Ouédraogo, T. Somé [et al.] // European Scientific Journal. — 2017. — Vol. 13. — № 30. — P. 185–205.
11. Rwamuhungu G. Rock mass characterization for mining stability in high-grade gold mineralization zones, Burundi / G. Rwamuhungu, P. Kagabo // Engineering Geology. — 2019. — Vol. 250. — P. 112–125.
12. Медведев А.А. Лабораторный практикум по ядерной геофизике / А.А. Медведев, А.И. Посеренин. — Москва : РГГРУ, 2013. — 54 с.
13. Архангельский Л.А. Минералы и горные породы : учебное пособие / Л.А. Архангельский, Б.В. Баранов. — Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. — 84 с.
14. Мурашова Е.Г. Вещественный состав земной коры: минералы, горные породы, грунты : учебное пособие / Е.Г. Мурашова. — Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2016. — 139 с.
15. Зверев А.Т. Минералы и горные породы: учебно-методическое пособие / А.Т. Зверев. — Москва : МИИГАиК, 2015. — 32 с.
16. Методика М-049-ПДО/18. Определение элементов и оксидов элементов в пробах почв и донных отложений рентгенофлуоресцентным методом : ФР.1.31.2018.32143. — 2018. — URL: <https://spectronxray.ru/techniques/ekologiya/elementy-oksidy-otlozheniya/> (дата обращения: 13.02.2026).
17. Abimana J. Geological setting and gold mineralization styles in the Cenozoic Rusizi Plain, Burundi / J. Abimana // Journal of African Earth Sciences. — 2018. — Vol. 145. — P. 123–135.
18. Bahati K. Structural control on mesothermal gold deposits in the Kibaran Belt of Burundi / K. Bahati // Mineralium Deposita. — 2021. — Vol. 56, № 2. — P. 295–312.
19. Byamungu D. Lithogeochemical and mineralogical characteristics of gold occurrences in the Cibitoke region, Burundi / D. Byamungu, F. Muvundja // Ore Geology Reviews. — 2019. — Vol. 108. — P. 102–115.
20. Chibesa L. Remote sensing for identification of prospective gold targets in the Kibaran orogen, Burundi / L. Chibesa // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. — 2019. — Vol. 83. — P. 1019–1031.
21. Cahen L. The Geochronology and Evolution of Africa / L. Cahen, N.J. Snelling, J. Delhal, J.R. Vail. — Oxford : Clarendon Press, 1984. — 512 p.
22. Dushimimana P. Tectonic evolution and its implications for gold exploration in the Burundian part of the Western Rift Valley / P. Dushimimana // Gondwana Research. — 2017. — Vol. 45. — P. 230–245.
23. Dubois C. Gold distribution in stream sediments in the Bubanza Province, Burundi: A geochemical exploration approach / C. Dubois, G. Nzomukunda // Journal of Geochemical Exploration. — 2016. — Vol. 169. — P. 1–10.
24. Fwamba M. Geochemical signatures of gold-bearing quartz veins in the Karagwe-Ankole Belt, Burundi / M. Fwamba // Economic Geology. — 2020. — Vol. 115. — № 5. — P. 1085–1102.
25. Fournier S. Fluid inclusion studies of gold mineralization in the Burundian Kibaran Belt / S. Fournier, L. Kazungu // Lithos. — 2015. — Vol. 216–217. — P. 100–112.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Mestorozhdeniya zolota v Afrike [Gold deposits in Africa] // Innoter. — URL: <https://innoter.com/articles/mestorozhdeniya-zolota-v-afrike/> (accessed: 13.09.2025). [in Russian]
2. World Development Indicators // World Bank Group. — URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (accessed: 07.12.2020).
3. Dobycha zolota | Burundi. Dannye po godam [Gold mining | Burundi. Data by year] // Statbase. — URL: <https://statbase.ru/data/bdi-gold-production/> (accessed: 13.09.2025). [in Russian]



4. Shlyuter T. Geologicheskij atlas Afriki: s primechaniyami po stratigrafii, tektonike, ekonomicheskoy geologii, geologicheskim opasnostyam, geotermal'nym istochnikam i geologicheskomu obrazovaniju v kazhdoj strane [Geological Atlas of Africa: With Notes on Stratigraphy, Tectonics, Economic Geology, Geohazards, Geothermal Sources and Geological Education in Each Country] / T. Shlyuter. — Moscow, 2008. — 320 c. — ISBN 978-3-540-77115-2 [in Russian]
5. Tack L. The Proterozoic Kibaran Belt in Central Africa: intracratonic 1375 Ma emplacement of a LIP / L. Tack, M.T.D. Wingate, B. De Waele [et al.] // 22nd Colloquium African Geology (CAG22). — 2008. — 89 p.
6. Klerkx J. Crustal evolution of the northern Kibaran Belt, eastern and central Africa / J. Klerkx, J.P. Liégeois, J. Lavreau [et al.] // Proterozoic Lithospheric Evolution / ed. by A. Kröner. — American Geophysical Union and the Geological Society of America, 1987. — Vol. 17. — P. 217–233.
7. Bikwemu G. Paléoenvironnements et Paléoclimats au Burundi occidental au cours des quarantes derniers millénaires par l'analyse palynologique des dépôts tourbeux: Thèse de Doctorat [Paleoenvironments and Paleoclimates in Western Burundi during the Last Forty Millennia by Palynological Analysis of Peat Deposits: PhD Thesis] / G. Bikwemu. — Université de Liège, 1990. — 238 p. [in French]
8. Ntakimazi G. Hydrobiologie du Bugesera. En particulier des lacs Cohoha sud et Rweru en vue d'une gestion qualitative de la forme piscicole: Thèse de doctorat [Hydrobiology of Bugesera. Particularly Lakes South Cohoha and Rweru with a View to Qualitative Management of the Fish Form: PhD Thesis] / G. Ntakimazi. — F.U.L., 1985. — 454 p. [in French]
9. Borisova A.Y. How is carbonate crust digested by magma? / A.Y. Borisova, W. A. Bohrsen // Frontiers in Earth Science. — 2023. — Vol. 10. — DOI: 10.3389/feart.2023.1186207.
10. Konaté A. Les altérations hydrothermales associées à la minéralisation aurifère du gisement de Dougbafla (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) [Hydrothermal alterations associated with gold mineralisation at the Dougbafla deposit (central-western Côte d'Ivoire)] / A. Konaté, M. Ouédraogo, T. Somé [et al.] // European Scientific Journal. — 2017. — Vol. 13. — № 30. — P. 185–205. [in French]
11. Rwamuhungu G. Rock mass characterization for mining stability in high-grade gold mineralization zones, Burundi / G. Rwamuhungu, P. Kagabo // Engineering Geology. — 2019. — Vol. 250. — P. 112–125.
12. Medvedev A.A. Laboratornyj praktikum po yadernoj geofizike [Laboratory Manual on Nuclear Geophysics] / A.A. Medvedev, A.I. Poserenin. — Moscow : RGGRU, 2013. — 54 p. [in Russian]
13. Arkhangelsky L.A. Mineraly i gornye porody [Minerals and Rocks] : textbook / L.A. Arkhangelsky, B.V. Baranov. — Yekaterinburg : GOU VPO UGTU-UI, 2004. — 84 p. [in Russian]
14. Murashova E.G. Veshchestvennyj sostav zemnoj kory: mineraly, gornye porody, grunty [Material Composition of the Earth's Crust: Minerals, Rocks, Soils] : textbook / E.G. Murashova. — Blagoveshchensk : Far Eastern State Agrarian University, 2016. — 139 p. [in Russian]
15. Zverev A.T. Mineraly i gornye porody: uchebno-metodicheskoe posobie [Minerals and Rocks: Educational and Methodological Manual] / A.T. Zverev. — Moscow : MIIGAiK, 2015. — 32 p. [in Russian]
16. Metodika M-049-PDO/18. Opredelenie elementov i oksidov elementov v probakh pochv i donnykh otlozhenij rentgenofluorescentnym metodom [Method M-049-PDO/18. Determination of elements and oxides of elements in soil and sediment samples by X-ray fluorescence method] : FR.1.31.2018.32143. — 2018. — URL: <https://spectronxray.ru/techniques/ekologiya/elementy-oksidy-otlozheniya/> (accessed: 13.02.2026). [in Russian]
17. Abimana J. Geological setting and gold mineralization styles in the Cenozoic Rusizi Plain, Burundi / J. Abimana // Journal of African Earth Sciences. — 2018. — Vol. 145. — P. 123–135.
18. Bahati K. Structural control on mesothermal gold deposits in the Kibaran Belt of Burundi / K. Bahati // Mineralium Deposita. — 2021. — Vol. 56, № 2. — P. 295–312.
19. Byamungu D. Lithogeochemical and mineralogical characteristics of gold occurrences in the Cibitoke region, Burundi / D. Byamungu, F. Muvundja // Ore Geology Reviews. — 2019. — Vol. 108. — P. 102–115.
20. Chibesa L. Remote sensing for identification of prospective gold targets in the Kibaran orogen, Burundi / L. Chibesa // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. — 2019. — Vol. 83. — P. 1019–1031.
21. Cahen L. The Geochronology and Evolution of Africa / L. Cahen, N.J. Snelling, J. Delhal, J.R. Vail. — Oxford : Clarendon Press, 1984. — 512 p.
22. Dushimimana P. Tectonic evolution and its implications for gold exploration in the Burundian part of the Western Rift Valley / P. Dushimimana // Gondwana Research. — 2017. — Vol. 45. — P. 230–245.
23. Dubois C. Gold distribution in stream sediments in the Bubanza Province, Burundi: A geochemical exploration approach / C. Dubois, G. Nzomukunda // Journal of Geochemical Exploration. — 2016. — Vol. 169. — P. 1–10.
24. Fwamba M. Geochemical signatures of gold-bearing quartz veins in the Karagwe-Ankole Belt, Burundi / M. Fwamba // Economic Geology. — 2020. — Vol. 115. — № 5. — P. 1085–1102.
25. Fournier S. Fluid inclusion studies of gold mineralization in the Burundian Kibaran Belt / S. Fournier, L. Kazungu // Lithos. — 2015. — Vol. 216–217. — P. 100–112.