



КОЛЬЦЕВЫЕ И ЛИНЕЙНЫЕ ЗОЛОТОРУДНЫЕ РАЙОНЫ ЗИМБАБВЕ И ОЦЕНКА ОСТАТОЧНЫХ РЕСУРСОВ ЗОЛОТА

П.А. ИГНАТОВ^{1,*}, С.А. МАЛЮТИН¹, А.А. ИВАНОВ¹, А.С. ДЕСЯТКИН², М.М. ЛАНЧАК¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

² АО «Зарубежгеология»
69, Новочеремушкинская ул., г. Москва 117418, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Несмотря на длительную историю эксплуатации и изучения региона, остаются неясными ранги золоторудных образований на уровне районов и полей. Важным вопросом является оценка остаточных ресурсов коренных месторождений золота провинции.

Цель. Выделение рудных районов кольцеобразной и линейной формы, приуроченных к соответствующим по конфигурации зеленокаменным поясам в пределах золоторудной провинции кратона Зимбабве.

Материалы и методы. Главным методом при анализе рудных месторождений золота был рудно-формационный анализ. Для анализа остаточных ресурсов золота в районах Зимбабве применено правило Ципфа — Лотке — Брэдфорда по соотношению в определенном рудном районе выдающегося редчайшего события в виде крупного месторождения, весьма редких событий — средних по запасам месторождений и достаточно редких — мелких рудных объектов.

Результаты. Предложена гипотеза образования кольцеобразных поясов как рудоносных вулканогенно-тектонических структур центрального типа. В пределах золоторудной провинции кратона Зимбабве впервые выделены рудные районы кольцеобразной и линейной формы, приуроченные к соответствующим по конфигурации зеленокаменным поясам. Показано, что локализация месторождений в рудных районах обусловлена сочетанием следующих критериев: древних разломов, дуговых фрагментов зеленокаменных поясов и развитием посттектонического многофазного гранитоидного магматизма. Проведено ранжирование месторождений в рудных районах Дарвин, Шамва, Мидленс, Булавайо, Гванда, Буша Мвези — Форт Виктория, Шаше — Ози-Уматли и Синойя. Выделены пять золоторудных районов, соответствующих вулканогенно-тектоническим кольцевым структурам, и три линейных района. Наибольшая продуктивность прогнозируется в кольцевых районах Мидлендс, Булавайо и Шамва. Дана оценка остаточных ресурсов золота каждого из выделенных районов. Установлена целесообразность детализации важных прогнозных критериев: позднеархейских линейных и дуговых разломов и посттектонических гранитоидов с разработкой дополнительных критериев для дальнейшего металлогенического районирования и локализации перспективных площадей.

Заключение. Представленные данные служат основанием положительной оценки перспектив поисков промышленно важных коренных месторождений золота в Зимбабве и проведения их прогноза в выделенных золоторудных районах.

Ключевые слова: золотоносность, Зимбабве, тектонические структуры, металлогения, прогноз и поиски, критерии, магматизм, ресурсы, районирование

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование выполнено в рамках гранта № 075-15-2023-625 Минобрнауки России.

Для цитирования: Игнатов П.А., Малютин С.А., Иванов А.А., Десяткин А.С., Ланчак М.М. Кольцевые и линейные золоторудные районы Зимбабве, и оценка остаточных ресурсов золота. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(6):14—25.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-14-25>

Статья поступила в редакцию 30.09.23
Принята к публикации 08.12.2023
Опубликована 29.12.2023

* Автор, ответственный за переписку

RING-SHAPE AND LINEAR GOLD MINING DISTRICTS OF ZIMBABWE: ESTIMATION OF RESIDUAL GOLD RESOURCES

PETR A. IGNATOV^{1,*}, SERGEY A. MALYUTIN¹, ANDREY A. IVANOV¹, ALEXEY S. DESYATKIN²,
MAXIM M. LANCHAK¹

¹ Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

² JSC "Zarubezhgeologiya"
69, Novocheremushkinskaya str., Moscow 117418, Russia

ABSTRACT

Background. Despite the long history of exploitation and study of Zimbabwe's geological potential, the ranks of gold ore formations at the level of regions and fields remain unclear. Assessment of the residual primary gold deposits in Zimbabwe appears an important research direction.

Aim. Identification of ring-shaped and linear ore districts confined to greenstone belts corresponding in configuration within the gold province of the Zimbabwe craton.

Materials and methods. The main method for analyzing gold ore deposits was ore formation analysis. To analyze the residual gold resources in the regions of Zimbabwe, the Zipf-Lotke-Bradford rule was applied according to the ratio of an outstanding rare event in the form of a large deposit, rather rare events in the form of medium-sized deposits, and fairly rare events in the form of small ore objects in a certain ore region.

Results. A hypothesis is proposed for the formation of ring-shaped belts as ore-bearing volcano-tectonic structures of the central type. Within the gold province of the Zimbabwe craton, ore districts of ring-shaped and linear shape, confined to greenstone belts corresponding in configuration, are identified for the first time. It is shown that the localization of deposits in ore regions is due to a combination of the following criteria: ancient faults, arc fragments of greenstone belts, and the development of post-tectonic multiphase granitoid magmatism. A ranking of deposits was carried out in the ore districts of Darwin, Shamva, Midlands, Bulawayo, Gwanda, Busha Mwezi - Fort Victoria, Shashe - Ozi-Umatli, and Sinoia. Five gold mining areas corresponding to volcano-plutonic ring-shape structures and three linear areas were identified. Productivity is predicted to be highest in the Midlands, Bulawayo, and Shamva ring-shape regions. An assessment of the residual gold resources of each of the selected areas is given. The feasibility of detailing important forecast criteria — Late Archean linear and arc faults and post-tectonic granitoids — with the development of additional criteria for further metallogenic zoning and localization of promising areas is established.

Conclusions. The presented data serve as the basis for assessing the prospects of industrially important primary gold deposits in Zimbabwe and carrying out their forecast in the identified gold mining areas.

Keywords: gold potential, Zimbabwe, tectonic structures, metallogeny, forecast and prospecting, criteria, magmatism, resources, zoning

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: The research is carried out within the framework of the Scientific Research Project No. 075-15-2023-625 of the Ministry of science and higher education of the Russian Federation.

For citation: Ignatov P.A., Malyutin S.A., Ivanov A.A., Desyatkin A.S., Lanchak M.M. Ring-shape and linear gold mining districts of Zimbabwe: estimation of residual gold resources. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(6):14—25. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-14-25>

Manuscript received 30 September 2023

Accepted 18 December 2023

Published 29 December 2023

* Corresponding author

Кратон Зимбабве является классической золоторудной провинцией позднего архея [1, 5, 7, 9—11, 18, 20]. К 2020 г. здесь добыто порядка 2500 т золота.

Несмотря на длительную историю эксплуатации и изучения региона, остаются неясными ранги золоторудных образований на уровне районов и полей. Важным вопросом является оценка остаточных ресурсов коренных месторождений золота провинции. Этим вопросам посвящена данная статья.

Фактический материал и методы исследований

Фактической основой проведенного анализа региональной позиции золотой минерализации Зимбабве послужили прежде всего две карты масштаба 1:1 млн — геологическая, изданная в 1986 г., и карта минеральных ресурсов по месторождениям золота Зимбабве, выпущенная в 1988 г. Также учтена весомая статья [6] по характеристике месторождений золота Зимбабве. Использованы данные по месторождениям золота Зимбабве, опубликованные в работах отечественных [3, 7] и зарубежных [8—11, 14, 15, 18, 20] авторов, посвященных геологии, минеральному составу и строению месторождений золота в древних зеленокаменных поясах Зимбабве. Использованы данные анализа аэромагнитной съемки, представленные в публикациях R.T. Ranganai [23].

Главным методом при анализе рудных месторождений золота был рудно-формационный анализ, разрабатываемый российскими учеными А.В. Волковым, Ф.И. Вольфсоном, Н.А. Горячевым, А.Б. Кажданом, М.М. Константиновым, В.Н. Котляром, Е.М. Некрасовым, А.А. Сидоровым, В.И. Старостиным и др. Важнейшим принципом этого анализа является выделение рангов рудных образований от рудных тел, рудоносных зон, месторождений, рудных полей, узлов и районов до рудной провинции. Использовались принципы фрактального анализа природных образований, которые применяются при выборе участков детализации в процессе разведки месторождений, в том числе и золоторудных, что изложено в работах П.И. Кушнарева. Авторы в полной мере использовали возможности современных геоинформационных систем, собрав базу прежде всего картографических данных в Quantum GIS проекте. Для анализа

аэромагнитных данных использованы современные методики и традиционные способы их геологической интерпретации.

Для анализа остаточных ресурсов золота в районах Зимбабве применено правило Ципфа — Лотке — Брэдфорда по соотношению в определенном рудном районе выдающегося редчайшего события в виде крупного месторождения, весьма редких событий — средних по запасам месторождений и достаточно редких — мелких рудных объектов. При этом авторы отдают отчет в том, что в таком анализе очень важны весьма хорошая опосредованность территории и факт наличия наиболее крупного объекта. По отношению к месторождениям золота такой объект принят с запасами, превышающими 100 т металла; соответственно, к средним отнесены месторождения с запасами от 10 до 50 т, к мелким — от 1 до 10 т.

Результаты

Архейский кратон Зимбабве ограничен с севера и северо-запада протерозойским поясом Замбези, на юге — архейским поясом Лимпопо, на западе перекрыт осадочным чехлом от протерозоя до триаса и мела. По имеющимся геологическим картам в кратоне выделено 10—15 крупных зеленокаменных поясов, расположенных на гранито-гнейсовом архейском основании [6, 8, 10, 22].

В настоящее время в рассматриваемом регионе осваивается около 500 главным образом мелких месторождений золота, известны три крупных с запасами более 50 т и более двух десятков средних по запасам от 10 до 50 т месторождений.

В Зимбабве известные рудные районы выделены по отдельным зеленокаменным поясам или их частям [12, 16, 22]. По площадным размерам в ряде случаев они соответствуют рудным полям гидротермальных месторождений.

Контуры зеленокаменных поясов на геологических картах территории Зимбабве показаны в соответствии с конформными границами стратифицированных образований (железистых кварцитов, конгломератов, брекчий, покровов коматиитов, базальтов и андезитов и силлов ультрабазитов). Все эти породы дешифрируются по данным аэромагнитной съемки [23], что подтверждает надежность картирования.

На региональной и более крупномасштабных геологических и тектонических картах и схемах отчетливо видно, что отдельные зеленокаменные пояса имеют линейные, дуговые и почти полные кольцообразные формы.

В ряде случаев сближенные зеленокаменные пояса достаточно уверенно объединяются в крупные кольцевые структуры с поперечными осями примерного диаметра от 50 до 140 км. Их внешние контуры проведены по покровам метавулканитов, примыкающим к ультрабазитам групп Себаквиан и Булавайан. Выделено пять таких структур с северо-востока на юго-запад: Дарвин, Шамва, Мидлендс, Булавайо и Гванда (рис. 1).

Самая северная из них, названная по региону Дарвин, имеет наименьшие размеры овала порядка 50×70 км с широтной осью. Она контактирует с кольцевой структурой Шамва, совпадающей с зеленокаменным поясом Шамва-Салисбури (Шамва-Хараре). Эта структура наиболее ярко выделяется как овал, вытянутый на северо-восток с размерами 60×70 км.

В структуру Мидлендс с осями 100×110 км вошли зеленокаменные пояса Кью-Кью, Гвело и собственно Мидлендс. Этот овал вытянут по меридиану. Западнее структуры Мидленс намечается еще один район, в котором образования гранит-зеленокаменных поясов по большей части перекрыты чехлом протерозойских отложений. Он непосредственно граничит с Мидлендс.

Наиболее крупная кольцевая структура Булавайо с условными диаметрами 150×140 км объединяет пояса Булавайо-Буби, Селюкве и Белингве. Ее длинная ось простирается на северо-запад. Надо отметить, что в центральной части данной структуры находятся метавулканиты и метаосадочные породы с дуговыми силлами ультрабазитов (район г. Инзиза). Они слагают полуовал с размерами примерно 20×30 км и отражают внутреннюю кольцевую форму. Они, вероятно, сохранились от последующей эрозии.

Южная кольцевая структура Гванда с размерами 50×70 км объединяет пояса Гванда и Южная Гванда. Она тоже включает внутренний зеленокаменный пояс.

Кольцевые структуры Булавайо, Мидлендс и Гванда касаются друг друга.

Зеленокаменные пояса, сложенные, главным образом, базальтовыми покровами, характеризуются низкими, относительно сглаженными значениями магнитного поля [19], которые искажаются в пределах пояса интенсивными аномалиями с амплитудами до тысяч нанотесл, источниками

которых являются коматииты, железистые кварциты и ультраосновные породы. Это можно продемонстрировать на примере выделенного рудного района Булавайо (рис. 2). Здесь интенсивные положительные аномалии приурочены к ультраосновным породам.

Поскольку в зеленокаменных поясах распространены покровы и субвулканические тела кислых вулканитов, а в центральных и краевых частях выделенных кольцевых структур развиты посттектонические граниты, являющиеся составной частью гранит-зеленокаменных поясов позднего архея, то эти структуры предлагается рассматривать как вулcano-плутонические образования центрального типа.

У подножия таких купольных подводных сооружений накапливались покровы основного, среднего, реже кислого состава, шлейфы лахаров, слагающих агломераты и брекчии и пролювиальные конгломераты, и песчаники, хорошо описанные в зеленокаменном поясе Белингве [4, 17].

Интересно, что центры выделенных кольцевых вулcano-плутонических структур располагаются примерно на одной северо-восточной оси. В целом они маркируют центральную часть крупного овала с размерами 800×650 км, выделенного в качестве тектоноконцентра Зимбабве [2]. В этой связи выделенные кольцевые структуры представляются фрактальной составляющей регионально-го овоида — золоторудной провинции кратона Зимбабве. Поэтому их можно рассматривать в качестве золоторудных районов.

При этом следует отметить, что большая часть вулcano-плутонических структур сложена гранито-гнейсами фундамента и не содержит месторождений золота. Это противоречит принципу выделения рудных районов как совокупности сближенных рудных полей и месторождений. Однако в подтверждение выделения таких рудных районов надо иметь в виду два существенных обстоятельства. Во-первых, в центральных частях структур Булавайо и Гванда находятся фрагменты зеленокаменных поясов, в которых имеются месторождения золота. Во-вторых, в центральной части вулcano-купольных структур распространены позднеархейские гранитоиды, в которых можно ожидать порфировые месторождения золота.

Выделенные вулcano-плутонические структуры, вероятно, унаследованы от архейских гранито-гнейсовых куполов — овоидов и отражают влияние мантийных плюмов позднеархейского возраста [21].

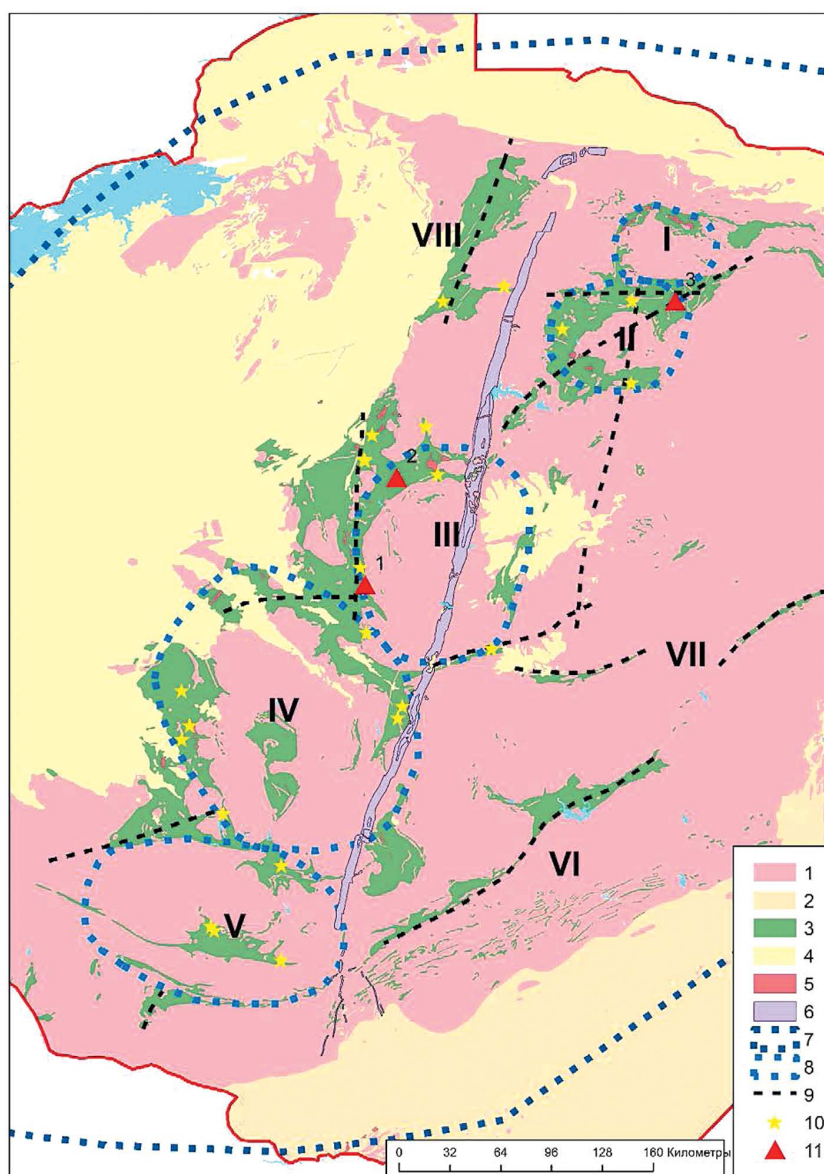


Рис. 1. Золоторудные районы зеленокаменных поясов кратона Зимбабве. Кольцевые: I — Дарвин; II — Шамва; III — Мидлендс; IV — Булавайо; V — Гванда; линейные: VI — Буша Мвези — Форт Виктория; VII — Шаше — Ози-Уматли; VIII — Синоя. 1 — архейские гранито-гнейсы; 2 — складчатые пояса Замбези и Лимпопо; 3 — комплекс метавулкано-осадочных и интрузивных пород позднеархейских зеленокаменных поясов; 4 — осадочный чехол протерозойских и более молодых отложений; 5 — позднеархейские посттектонические гранитоиды; 6 — Великая Дайка Зимбабве; 7 — контур тектоноконцентра кратона Зимбабве (по Гинтову, 1979); 8 — границы кольцевых вулcano-плутонических структур позднеархейского возраста, соответствующие золоторудным районам; 9 — региональные разломы позднеархейского возраста; 10 — средние по запасам месторождения золота; 11 — крупные по запасам месторождения золота: 1 — Глоб-Феникс; 2 — Кем-Мотор; 3 — Шамва

Fig. 1. Gold mining areas of the greenstone belts of the Zimbabwe craton. Ring structures: I — Darwin; II — Shamva; III — Midlands; IV — Bulawayo; V — Gwanda; linear: VI — Busha Mvezi — Fort Victoria; VII — Shashe — Ozi-Umatli; VIII — Sinoia. 1 — Archean granite-gneisses; 2 — Zambezi and Limpopo fold belts; 3 — complex of metavolcano-genic-sedimentary and intrusive rocks of the Late Archean greenstone belts; 4 — sedimentary cover of Proterozoic and younger deposits; 5 — Late Archean post-tectonic granitoids; 6 — Great Dyke of Zimbabwe; 7 — contour of the tectonoconcentre of the Zimbabwe craton (according to Gintov, 1979); 8 — boundaries of ring-shaped volcano-plutonic structures of Late Archean age, corresponding to gold mining areas; 9 — regional faults of Late Archean age; 10 — average gold deposits in terms of reserves; 11 — large gold deposits in terms of reserves: 1 — Glob-Phoenix; 2 — Kem-Motor; 3 — Shamva

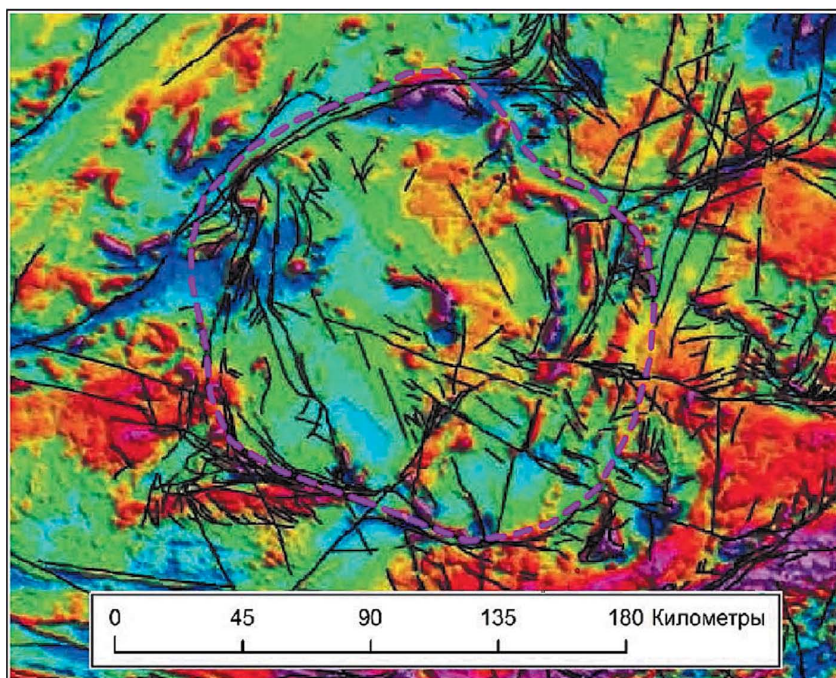


Рис. 2. Кольцевой район Булавайо в магнитном поле. Пунктирной линией отмечена граница кольцевого района. Цветом показаны качественные характеристики магнитного поля от минимума синего цвета до максимума фиолетового цвета

Fig. 2. Bulawayo ring region in a magnetic field. The dotted line marks the boundary of the ring area. The color shows the qualitative characteristics of the magnetic field from a minimum of blue to a maximum of violet

Обращая внимание на присутствие по краям кольцевых структур клиновидных выступов метавулканических и метасадочных пород зеленокаменных поясов, можно предположить, что они указывают на древние зоны разломов. Они также отчетливо маркируются дайками ультрабазитов. Возможно, отражают конседиментационные нарушения, контролировавшие тектоно-вулканогенные впадины. Позднее эти нарушения подновлялись и могли служить путями миграции золотоносных флюидно-гидротермальных растворов.

В кольцевой структуре Шамва такие клиновидные выступы маркируют разломы северо-восточного (г. Нортон и г. Шамва) и меридионального (г. Мтепатепе) простирания. В узле их пересечения локализованы упомянутые граниты. В структуре Мидлендс имеются три крупных клиновидных выступа, которые трассируют меридиональный разлом (г. Гадзема на севере и г. Селукве на юге) и широтное нарушение (г. Ределифф на западе). В кольцевой структуре Булавайо такой выступ расположен на юго-востоке. На юге структуры Гванда такой выступ с телами ультрабазитов маркирует меридиональный разлом.

Отмеченные клиновидные формы подчеркивают значение региональных северо-восточных, мериди-

ональных и широтных нарушений рифтогенного типа этапа становления древних гранит-зеленокаменных поясов. Они, очевидно, были важными структурами, контролировавшими золотую минерализацию. Крупные меридиональные и ССВ нарушения в виде систем взбросо-сдвигов нарушают западные и восточные фланги кольцевых структур Мидлендс, что показано в работах [9, 13].

В кратоне Зимбабве линейные зеленокаменные пояса целесообразно объединить в три линейных золоторудных района, которые подчиняются региональным разломам субмеридионального (район Синойя) и северо-восточного простирания (район, объединяющий пояса Буша-Мвези и Форт-Виктория), и район, в который входят пояса верховья р. Шаше и Ози-Уматли.

Данные структуры, очевидно, соответствуют древним рифтовым зонам, в которых накапливались вулканиты, железистые кварциты, терригенные и частично хемогенные и биогенные осадочные породы. Расположение линейных зеленокаменных поясов, так же как отмеченные выше клиновидные выступы от кольцевых структур, подчеркивает значение региональных разломов меридионального, широтного и северо-восточного простирания в локализации золотого оруденения.

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

В этой связи надо сказать, что отмеченные крупные разломы не повторялись в последующие эпохи внедрения Великой Дайки Зимбабве (2,57 млрд лет) и дайковых поясов Себанга (2,61—2,41 млрд лет) [24].

Известные месторождения золота Зимбабве в основном локализованы в трех выделенных кольцевых структурах: рудных районах Мидлендс, Булавайо и Шамва. По данным [6], месторождения сложены кварцевыми жилами (Глоб-Феникс, Голден Валли, Сюрпрайз, Даун и др.), реже зонами прожилкового окварцевания (Кем-Мотор), еще реже — сульфидной вкрапленности (Бар 20, Вубачикве). Руды в основном малосульфидные золотокварцевые.

Важно отметить, что наиболее крупные месторождения золота Глоб-Феникс с запасами 155 т и Кем-Мотор с запасами 150 т локализованы в рудном районе Мидлендс в зоне влияния древних разломов, дуговых фрагментов зеленокаменных поясов и массивов посттектонического гранитоидного комплекса. Похожую позицию занимает крупное месторождение золота Шамва с запасами более 71 т. Представляется, что эти три названных критерия определяют локализацию золоторудных полей в выделенных районах.

Как в кольцевых, так и линейных рудных районах большая часть средних и крупных месторо-

ждений золота приурочена к высокоинтенсивным аномалиям магнитного поля или соседствует с ними.

Для оценки остаточных перспектив провинции проведено ранжирование золоторудных месторождений. Учтены данные, отраженные на карте 1988 г. [16] и изложенные в статье [6], включая мелкие (от 1 до 10 т), средние (10—50 т) и крупные (более 50 т) месторождения (табл. 1).

В целом для провинции получились следующие соотношения: мелких месторождений имеется 111, средних по запасам — 24, крупных — 3. Для построения корректной гистограммы и экспоненциальной зависимости, согласно правилу Ципфа, явно не хватает конкретных данных по запасам золоторудных объектов. И для всей провинции, кажется, все ранги полностью заполнены, поскольку в среднем, по правилу Ципфа, для рудных месторождений соотношение такое: на один крупный объект приходится от 4 до 7 или 9 средних по запасам и от 44 до 99 мелких месторождений.

Однако если рассматривать правило Ципфа для выделенных районов, то явно не хватает десятков мелких месторождений с запасами от 1 до 10 т. В районе Шамва, где известно одноименное крупное месторождение, можно рассчитывать на обнаружение как минимум двух средних месторождений. Также и в трех рудных районах линейного типа.

Таблица 1. Золоторудные месторождения Зимбабве (по данным [6, 16])
Table 1. Gold deposits of Zimbabwe (according to [6, 16])

Месторождения	Запасы золота в тоннах	Ранг	Количество
<i>Рудный район Дарвин</i>			
Остальные	от 1 до 10	Мелкие	3
<i>Рудный район Шамва</i>			
Шамва	71	Крупные	1
Принц Уэльский	от 10 до 50	Среднее	2
Мазде			
Остальные	от 1 до 10	Мелкие	16
<i>Рудный район Мидленс</i>			
Глобус-Феникс	155	Крупные	2
Кем-Мотор	150		
Гайка	23		
Шервуд Старр	от 10 до 50	Среднее	4
Пикстоун			
Фалькон			
Остальные	от 1 до 10	Мелкие	23

Продолжение таблицы 1

Месторождения	Запасы золота в тоннах	Ранг	Количество
Рудный район Булавайо			
Вандерер групп	от 10 до 50	Среднее	7
Тебекве			
Одинокое			
Королевская группа			
Турк			
Коннемара	от 1 до 10	Мелкие	23
Буштик			
Остальные			
Рудный район Гванда			
Джесси	от 10 до 50	Среднее	4
Бланкет			
Вубачикве			
Фред	от 1 до 10	Мелкие	25
Остальные			
Рудный район Буша Мвези — Форт Виктория			
Остальные	От 1 до 10	Мелкие	2
Рудный район Шаше — Ози-Уматли			
Резенде	от 10 до 50	Среднее	1
Остальные	от 1 до 10	Мелкие	5
Рудный район Синойя			
Муриэль	от 10 до 50	Среднее	2
Эльдорадо			
Остальные	от 1 до 10	Мелкие	2

Следует упомянуть возможность нахождения слепых золоторудных месторождений под чехлом протерозойских отложений на востоке Мидлендс и западнее этого района, где имеются два средних по запасам месторождения Патчвэй и Дални.

Выводы

В заключение надо отметить, что в золоторудной провинции Зимбабве выделены пять золоторудных районов, соответствующих вулcano-плутоническим кольцевым структурам, и три линейных района. Наиболее продуктивными являются кольцевые районы Мидлендс, Булавайо и Шамва. С использованием правила Ципфа в каждом районе оценены остаточные ресурсы рудного золота. Во всех районах можно ожидать открытие десятков мелких объектов. В районе Шамва есть вероятность нахо-

ждения средних по запасам месторождений. В наиболее продуктивном золоторудном районе Мидлендс на его востоке и западе следует поставить проблему прогнозирования скрытых под чехлом протерозойских отложений месторождений золота.

Для дальнейшего металлогенического районирования и локализации перспективных площадей в ранге золоторудных месторождений целесообразна детализация важных прогнозных критериев: позднеархейских линейных и дуговых разломов и посттектонических гранитоидов и разработка дополнительных критериев.

Изложенные данные служат основанием положительной оценки перспектив поисков промышленно важных коренных месторождений золота в Зимбабве и проведения их прогноза в выделенных золоторудных районах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булкин Г.А., Неженский И.А. Модели для количественного прогнозирования минерального сырья. Л. Недра, 1991. 288 с.
2. Гинтов О.Б. Первичные концентрические структуры земной коры // Геотектоника. 1979. № 2. С. 29—41.
3. Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. М.: Научный мир, 2006. 358 с.
4. Кушнарев П.И., Самсонов А.В. Типизация золоторудных месторождений для целей их оценки и разведки // Вестник Московского университета. 2022. Серия 4. Геология. № 4. С. 43—50. <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2022-4-43-50>
5. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. М.: Недра, 1988. 286 с.
6. Степанов В.А. Золоторудные месторождения провинции Зимбабве // Региональная геология и металлогения. 2021. № 85. С. 58—66. https://doi.org/10.52349/08697892_2021_85_58_66
7. Фрунн Р.Е. Металлогения золота в архее Родезии // В сб.: Ранняя история Земли. М.: Недра, 1980. С. 58—75.
8. Bickle M.J., Nisbet E.G., Martin A., Orpen J.L. The Zimbabwe Craton and controversies over Archaean granite-greenstone terrains. The Geology of the Belingwe Greenstone Belt, Zimbabwe A study of the evolution of Archaean continental crust. Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. 1993. P. 121—166.
9. Campbell S.D.G., Pitfield P.E.J. Structural controls of gold mineralization in the Zimbabwe craton — exploration guidelines // Zimbabwe Geological Survey Bulletin. 1994. No. 101. Harare. 270 p.
10. Du Toit A. The economic geology of the country around Kwekwe // Zimbabwe Geological Survey Bulletin. 1998. Vol. 67, pt. 2. 84 p.
11. Foster R.P., Mann A.G., Stowe C.W., Wilson J.F. Archaean gold mineralization in Zimbabwe // Mineral deposits of Southern Africa. Johannesburg, 1986. Vol. 1. P. 43—112.
12. Geological map of the central part of the Zimbabwe Archaean Craton. Maps 1 and 2 on diagram refer to Geological Survey maps. Map 1 is Zimbabwe Rhodesia Geological Survey Map, Belingwe-Shabani, 1:100000, Martin (1978). Map 2 is Zimbabwe Geological Survey Map, 1:100000, Belingwe Peak, Orpen J. (1986). These maps are available from the Geological Survey of Zimbabwe, P.O. Box 8039, Causeway, Zimbabwe.
13. Harley M., Charlesworth E. Guy Structural Controls in the Distribution of Gold at the How Mine, Bulawayo, Zimbabwe // Economic geology. 1990. Vol. 85, no 8. P. 1697—1710.
14. Hronsky J.M.A., Groves D.I. Science of targeting: definition, strategies, targeting and performance measurement // Australian Journal of Earth Sciences. 2008. No. 55(1). P. 3—12. <https://doi.org/10.1080/08120090701581356>
15. Klemm D.D., Krautner H.G. Hydrothermal alteration and associated mineralization in the Freda-Rebecca gold deposit — Bindura District, Zimbabwe // Mineralium Deposita. 2000. No. 35. P. 90—108. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/s001260050009>
16. Mineral Resources of Zimbabwe. Gold deposits. Scale 1:1 000 000. Compiled by D. S. Bartholomew 1984—1988. Drawn un the Geological Survey Office, Harare, Zimbabwe.
17. Nisbet E.G., Martin A., Bickle M.J., Orpen & J.L. The Ngezi Group: Komatiites, basalts and stromatolites on continental crust. The Geology of the Belingwe Greenstone Belt, Zimbabwe A study of the evolution of Archaean continental crust. Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. 1993. P. 121—166.
18. Oberthür T., Saager R., Tomschi H. P. Geological, mineralogical and geochemical aspects of Archean Banded Iron-Formation-hosted gold deposits: Some examples from Southern Africa // Mineral deposita. 1990. Vol. 25. P. 125—135.
19. Oswald Gwavava, Rubeni T. Ranganai. The geology and structure of the Masvingo Greenstone Belt and adjacent granite plutons from geophysical data, Zimbabwe Craton. // South African Journal of Geology. 2009. No. 112(3—4). P. 277—290. <https://doi.org/10.2113/gssajg.112.3-4.277>
20. Pelletier R. A. Mineral resources of South-Central Africa. Cape Tawn: Oxford University Press, 1964. 277 c.
21. Prendergast M.D. The Bulawayan Supergroup: a late Archaean passive margin-related large igneous province in the Zimbabwe craton // Journal of the Geological Society, London. 2004. Vol. 161. P. 431—445. Printed in Great Britain. <https://doi.org/10.1144/0016-764902-092>
22. Provisional Geological map of Rhodesia. Scale 1:1 000 000. Revised edition compiled drown and published by the Rhodesia Geological Survey, Salisbury, Rhodesia, 1971. Director J. W. Wiles.
23. Ranganai R.T. Euler deconvolution and spectral analysis of regional aeromagnetic data from the South-Central Zimbabwe Craton: Tectonic implications // African Journal of Science and Technology (AJST) Science and Engineering Series. 2012. Vol. 12, no. 1. P. 34—50.
24. Söderlund Ulf, Hofmann Axel, Klausen Martin B., Olsson Johan R, Ernst Richard E, Persson Per-Olof Regional-scale 2.6-1.9 Ga Large Igneous Provinces of Zimbabwe. 2009. www.supercontinent.org

REFERENCES

1. Bulkin G.A., Nezhensky I.A. Models for quantitative mineral forecasting. Leningrad: Nedra, 1991. 288 p. (In Russian).
2. Gintov O.B. Primary concentric structures of the earth's crust // *Geotectonics*. 1979. No. 2. P. 29—41 (In Russian).
3. Konstantinov M.M. (2006). Gold mining provinces of the world. M. Scientific world. 358 pp. (In Russian).
4. Kushnarev P.I., Samsonov A.V. Typification of gold deposits for the purposes of their assessment and exploration // *Bulletin of Moscow University*. 2022. Series 4. Geology. No. 4. P. 43—50 (In Russian). <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2022-4-43-50>
5. Nekrasov E.M. Foreign endogenous gold deposits. Moscow: Nedra, 1988. 286 p. (In Russian).
6. Stepanov V.A. Gold deposits of the province of Zimbabwe // *Regional geology and metallogeny*. 2021. No. 85. P. 58—66 (In Russian). https://doi.org/10.52349/08697892_2021_85_58_66
7. Fripp R.E. Metallogeny of gold in the Archean of Rhodesia / In *Book: Early history of the Earth*. Moscow: Nedra, 1980. P. 58—75 (In Russian).
8. Bickle M.J., Nisbet E.G., Martin A., Orpen J.L. The Zimbabwe Craton and controversies over Archean granite-greenstone terrains. The Geology of the Belingwe Greenstone Belt, Zimbabwe A study of the evolution of Archean continental crust. Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. 1993. P. 121—166.
9. Campbell S.D.G., Pitfield P.E.J. Structural controls of gold mineralization in the Zimbabwe craton — exploration guidelines // *Zimbabwe Geological Survey Bulletin*. 1994. No. 101. Harare. 270 p.
10. Du Toit A. The economic geology of the country around Kwekwe // *Zimbabwe Geological Survey Bulletin*. 1998. Vol. 67, pt. 2. 84 p.
11. Foster R.P., Mann A.G., Stowe C.W., Wilson J.F. Archean gold mineralization in Zimbabwe // *Mineral deposits of Southern Africa*. Johannesburg, 1986. Vol. 1. P. 43—112.
12. Geological map of the central part of the Zimbabwe Archean Craton. Maps 1 and 2 on diagram refer to Geological Survey maps. Map 1 is Zimbabwe Rhodesia Geological Survey Map, Belingwe-Shabani, 1:100000, Martin (1978). Map 2 is Zimbabwe Geological Survey Map, 1:100000, Belingwe Peak, Orpen J. (1986). These maps are available from the Geological Survey of Zimbabwe, P.O. Box 8039, Causeway, Zimbabwe.
13. Harley M., Charlesworth E. Guy Structural Controls in the Distribution of Gold at the How Mine, Bulawayo, Zimbabwe // *Economic geology*. 1990. Vol. 85, no 8. P. 1697—1710.
14. Hronsky J.M.A., Groves D.I. Science of targeting: definition, strategies, targeting and performance measurement // *Australian Journal of Earth Sciences*. 2008. No. 55(1). P. 3—12. <https://doi.org/10.1080/08120090701581356>
15. Klemm D.D., Kraeutner H.G. Hydrothermal alteration and associated mineralization in the Freda-Rebecca gold deposit — Bindura District, Zimbabwe // *Mineralium Deposita*. 2000. No. 35. P. 90—108. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/s001260050009>
16. Mineral Resources of Zimbabwe. Gold deposits. Scale 1:1 000 000. Compiled by D. S. Bartholomew 1984—1988. Drawn on the Geological Survey Office, Harare, Zimbabwe.
17. Nisbet E.G., Martin A., Bickle M.J., Orpen J.L. The Ngezi Group: Komatiites, basalts and stromatolites on continental crust. The Geology of the Belingwe Greenstone Belt, Zimbabwe A study of the evolution of Archean continental crust. Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. 1993. P. 121—166.
18. Oberthür T., Saager R., Tomschi H. P. Geological, mineralogical and geochemical aspects of Archean Banded Iron-Formation-hosted gold deposits: Some examples from Southern Africa // *Mineral deposits*. 1990. Vol. 25. P. 125—135.
19. Oswald Gwavava, Rubeni T. Ranganai. The geology and structure of the Masvingo Greenstone Belt and adjacent granite plutons from geophysical data, Zimbabwe Craton. // *South African Journal of Geology*. 2009. No. 112(3—4). P. 277—290. <https://doi.org/10.2113/gssajg.112.3-4.277>
20. Pelletier R. A. Mineral resources of South-Central Africa. Cape Town: Oxford University Press, 1964. 277 c.
21. Prendergast M.D. The Bulawayan Supergroup: a late Archean passive margin-related large igneous province in the Zimbabwe craton // *Journal of the Geological Society, London*. 2004. Vol. 161. P. 431—445. Printed in Great Britain. <https://doi.org/10.1144/0016-764902-092>
22. Provisional Geological map of Rhodesia. Scale 1:1 000 000. Revised edition compiled drawn and published by the Rhodesia Geological Survey, Salisbury, Rhodesia, 1971. Director J. W. Wiles.
23. Ranganai R.T. Euler deconvolution and spectral analysis of regional aeromagnetic data from the South-Central Zimbabwe Craton: Tectonic implications // *African Journal of Science and Technology (AJST) Science and Engineering Series*. 2012. Vol. 12, no. 1. P. 34—50.
24. Söderlund Ulf, Hofmann Axel, Klausen Martin B., Olsson Johan R, Ernst Richard E, Persson Per-Olof Regional-scale 2.6–1.9 Ga Large Igneous Provinces of Zimbabwe. 2009. www.supercontinent.org

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Игнатов П.А. — выделил рудные районы кольцеобразной и линейной формы, приуроченные к соответствующим по конфигурации зеленокаменным поясам, внес вклад и подготовил текст статьи, провел сбор, обработку и анализ геолого-геофизических данных и создание графической информации, подготовил текст статьи, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Малютин С.А. — внес вклад в разработку концепции статьи, добавил и отредактировал текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Иванов А.А. — проработал вопросы магниторазведки и аэрогеофизики, внес вклад в создание графической информации.

Десяткин А.С. — внес вклад в разработку, предоставил геологические данные, карты, схемы, табличный материал.

Ланчак М.М. — внес вклад в создание графической информации, выполнил перевод на английский язык.

Petr A. Ignatov — identified ore areas of ring-shaped and linear shape, confined to greenstone belts corresponding in configuration, contributed and prepared the text of the article, collected, processed and analyzed geological and geophysical data and created graphic information, prepared the text of the article, approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Sergey A. Malyutin — contributed to the development of the concept of the article, added and edited the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Andrey A. Ivanov — worked on issues of magnetic prospecting and aerial prospecting, contributed to the creation of graphic information.

Alexey S. Desyatkin — contributed to the development, provided geological data, maps, diagrams, tabular material.

Maxim M. Lanchak — contributed to the creation of graphic information and translated into English.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Игнатов Петр Алексеевич* — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: ignatovpa@mgri.ru

тел.: +7 (495) 461-37-77

SPIN-код: 7893-1477

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Petr A. Ignatov* — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor, Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: ignatovpa@mgri.ru

tel.: +7 (495) 461-37-77

SPIN-code: 7893-1477

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Малютин Сергей Александрович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: malyutinsa@mgri.ru

SPIN-код: 4968-3696

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4508-4805>

Sergey A. Malyutin — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Associate Professor, Department of Geology of Mineral Deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: malyutinsa@mgri.ru

SPIN-code: 4968-3696

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4508-4805>

Иванов Андрей Александрович — кандидат геолого-минералогических наук, декан геофизического факультета ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: ivanovaa@mgri.ru

SPIN-код: 9977-2363

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0450-1489>

Andrey A. Ivanov — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Dean of the Faculty of Geophysics, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya st., Moscow 117997, Russia

e-mail: ivanovaa@mgri.ru

SPIN-code: 9977-2363

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0450-1489>

Десяткин Алексей Сергеевич — генеральный директор АО «Зарубежгеология».

69, Новочеремушкинская ул., г. Москва 117418,

Россия

e-mail: info@zargeo.com

Alexey S. Desyatkin — General Director of JSC “Zarubezhgeologiya”.

69, Novocheremushkinskaya st., Moscow 117418,

Russia

e-mail: info@zargeo.com

Ланчак Максим Максимович — аспирант ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: lanchakmm@mgri.ru

Maxim M. Lanchak — graduate student, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya st., Moscow 117997, Russia

e-mail: lanchakmm@mgri.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author