

УДК 551.26 + 550.81

А.Е. Котельников¹, В.В. Дьяконов², А.Л. Дергачев³**ПОИСКИ ПЕРЕКРЫТОГО ЭНДОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ***ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Инженерная академия,**117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6**ФГБОУ ВО «МГРИ — Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»,**117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23**ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,**119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1**Peoples' Friendship University of Russia, Academy of Engineering, 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya st., 6**FGBOU VO "MGRI — Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze",**117997, Moscow, Miklukho-Maklaya st., 23**Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1*

На сегодняшний день весьма актуальны вопросы поисков слепых и перекрытых месторождений. Высокую эффективность геологоразведочных работ могут обеспечить только комплексные исследования, позволяющие выделить структурные элементы изучаемой территории и оценить ее геолого-геохимический потенциал.

Рассмотрен разработанный авторами структурно-геохимический критерий. Его применению предшествует определение структурно-геологической характеристики территории на основе метода палеовулканических реконструкций. В дальнейшем на основе приуроченности различных типов оруденения к определенным структурным элементам палеовулканических сооружений выделяются области, перспективные для обнаружения рудной минерализации. Применение геохимической съемки в пределах таких областей позволяет оценить их перспективность, выделить наиболее перспективные участки и дать предварительную геохимическую оценку перекрытых зон минерализации.

Ключевые слова: палеовулканическое сооружение, критерии, поиски, вулканические фации, перекрытое оруденение, геохимия.

By these days issues of survey of blind and covered deposits are very actual. High affectivity of geological and prospecting abilities could be achieved only when complex studies have been done which allow to indicate structural elements of explores area and evaluate geological and geochemical potential of prospective areas. In the article the structural and geochemical criterion developed by authors is considered. Its use is preceded by definition of the structural and geological characteristic of the territory based on the method of paleovolcanic reconstruction. At the later stage areas, perspective for detection of an ore mineralization are outlined basing on localization of various type of a mineralization at specified structural units of paleovolcanic structures. Application of geochemical mapping within the perspective areas allows to estimate prospects of the areas, to allocate most perspective sites with their preliminary geochemical estimate.

Key words: paleovolcanic structure, criteria, prospecting, volcanic facies, covered mineralization, geochemistry.

Теоретические представления о палеовулканических сооружениях. Подавляющее количество рудных полезных ископаемых, бесспорно, приурочено к породам магматического генезиса. На поверхности планеты магматическими породами покрыты огромные площади как в пределах континентов, так и океанических впадин. Практически ими сложен сплошной покров на поверхности палеопланетарной коры. Накопление магматических продуктов на протяжении миллионов лет фанерозойской эонотемы привело к формирова-

нию крупных палеовулканических сооружений [Дьяконов, 2010, 2011; Котельников, 2013; Дьяконов et al., 2020]. В их строении принимают участие как эффузивные горные породы, так и интрузивные. Традиционно отнесение магматических пород к той или иной формации основано на приуроченности их к различным геодинамическим обстановкам [Dickinson, Hatherton, 1967], их вещественном составе [Кузнецов, 1989] и связи с различными вулcano-плутоническими поясами [Кривцов, 1997, 1999].

¹ Российский университет дружбы народов (РУДН), департамент недропользования и нефтегазового дела; Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), геологоразведочный факультет, кафедра методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, канд. геол.-минер. н., доцент; *e-mail:* kotelnikov-ae@rudn.ru

² Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), геологоразведочный факультет, кафедра общей геологии и геокартирования, докт. геол.-минер. н., профессор; *e-mail:* mdf.rudn@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, докт. геол.-минер. н., профессор; *e-mail:* alderg@geol.msu.ru

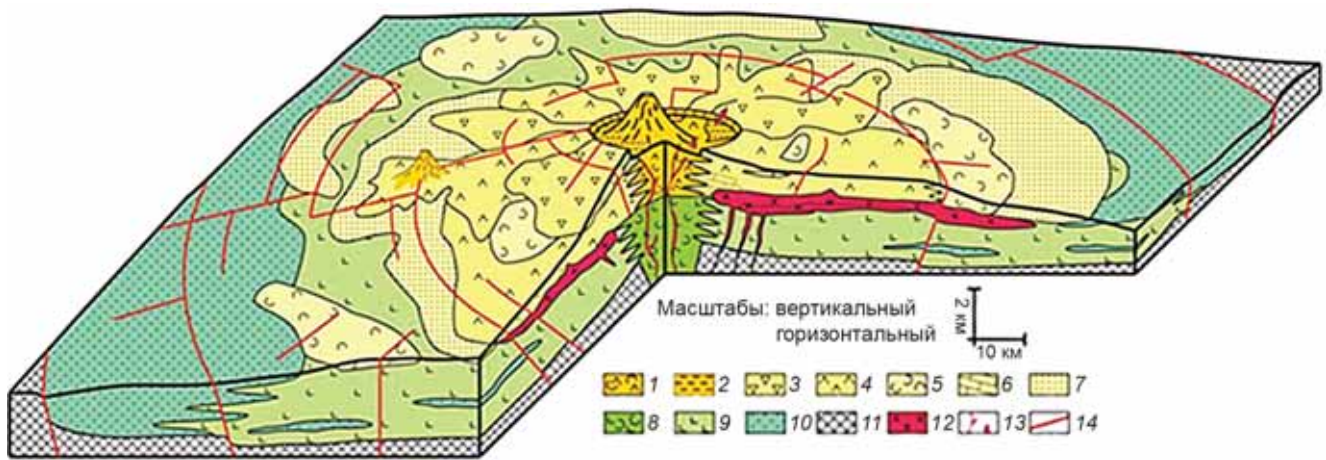


Рис. 1. Схема размещения фаций палеовулканической постройки: 1–10 — группы эффузивных фаций палеовулкана: 1–7 — фации второго этапа развития: 1–2 — жерловая структурно-формационная зона (1 — грубообломочные фации, 2 — брекчиевые и лавобрекчиевые фации); 3–5 — склоновая структурно-формационная зона (3 — пирокластические фации, 4 — лавовые фации, 5 — игнимбритовая фация); 6 — рифовая (карбонатная) фация; 7 — удаленная структурно-формационная зона, вулканогенно-осадочные фации; 8–10 — фации первого этапа развития: 8 — жерловая структурно-формационная зона, грубообломочные фации; 9 — склоновая структурно-формационная зона, эффузивно-пирокластические фации, 10 — удаленная структурно-формационная зона, вулканогенно-осадочные фации; 11 — фундамент вулкана; 12 — интрузивные тела; 13 — субвулканические тела; 14 — тектонические нарушения

В отличие от этого, в дальнейшем нами используется принцип приуроченности формаций к определенным частям палеовулканических сооружений. Слагающие их магматические породы в соответствии с этим могут быть отнесены к жерловой, склоновой, удаленной и поствулканической (интрузивной) формациям, каждая из которых состоит из нескольких сочетаний пород, объединяемых в фации (рис. 1).

Жизненный цикл фанерозойских палеовулканов охватывает огромный интервал времени от нескольких десятков миллионов лет до нескольких сотен миллионов лет. Каждой эпохе тектономагматической активизации отвечают свои сооружения. Независимо от возраста палеовулканических сооружений в последовательности накопления продуктов магматической деятельности, строго выделяются три последовательных этапа (таблица):

1-й этап — извержение лав и пирокластике основного состава, что приводит к формированию щитового вулкана;

2-й этап — последующие более поздние извержения эффузивов кислого состава из общего для обоих этапов магматического канала приводят к надстраиванию стратовулкана на щитовом сооружении.

В 1- и 2-й этапы накапливаются продукты эффузивной деятельности, сопровождающиеся внедрением субвулканических тел;

3-й этап — поствулканический период развития — образование внутри сооружений крупных магматических камер с высокотемпературным градиентом, где формируются гипабиссальные массивы.

Накопленные продукты трех этапов магматического развития сооружения представляют единую терригенно-вулканоплутоническую ассоциацию, которая отражает гомодромный (от основного к кислому) характер магматизма.

Палеовулканическое сооружение представляет собой сложную естественную конструкцию, состоящую из разнообразных горных пород, объединяемых в фации. В зависимости от их состава, интервалов геологического времени накопления и структурной позиции относительно центра излияния фациальные разности объединяются в формации.

Для всех изученных нами палеовулканических сооружений выделяются следующие устойчивые формации: жерловая, склоновая, удаленная и поствулканическая (интрузивная).

В составе *жерловой формации* выделяются пользующиеся преимущественным развитием грубообломочная брекчиевая и туфобрекчиевая фации (глыбовые, бомбовые туфы и туфобрекчи); ограниченнее распространены лавобрекчиевая и собственно лавовая фации; широко распространенные штоки и дайки субвулканической фации.

Этапы и время формирования палеовулканических сооружений

Периоды	Этапы	Структурные элементы	Состав	Временной интервал, млн лет
Интрузивный	3	интрузивные и субвулканические тела	от основного до кислого	~10
	2	стратовулкан	средний—кислый	~50
Эффузивный	1	щитовой вулкан	основной—средний	~70

Наличие игнимбритов, пемзовых шлаков и спекшихся туфов указывает на спекание, вторичное переплавление и течение в вязком состоянии, в связи с этим часто наблюдаются следы флюидалности, пузыристости, что характерно для продуктов кратерных лавовых озер. Породы, относимые к жерловой формации, накапливаются в пределах центральной кальдеры и на незначительном удалении от нее за пределами соммы. Диаметр области их развития не превышает несколько десятков километров. Характерно присутствие по их периферии жерловых фаций, вторичных кварцитов, яшм и других образований, относимых к проявлениям интенсивных процессов гидротермальной деятельности, сопровождающей выбросы огромных масс магматических продуктов. Наиболее интенсивной переработке подвергаются брекчиевидные фаций пород, относимые к гидротермалитовой фации.

Склоновая формация представлена большим количеством продуктов фации лавовых и мелкообломочных лавобрекчиевых потоков, пирокластических образований, накапливающихся вниз по склону от центрального жерла, за пределами накопления продуктов жерловых фаций. Четкой границы между продуктами формаций не существует, это яркий пример постепенных фациальных переходов.

По объему магматического материала преобладают породы склоновой формации, прослеживаются на многие и многие десятки километров от центральной кальдеры по всем направлениям, формируя склон палеовулканического сооружения. На склонах часто картируются мелкие паразитические жерла. Встречаются породы, диагностика которых требует особого внимания, поскольку визуально они похожи на осадочные породы [Dyakov et al., 2017; Yarpaskurt, 2016].

Породы, слагающие *удаленную формацию*, представлены вулканогенно-осадочными, осадочными и реже вулканогенными фациями. Вулканогенно-осадочные породы представляют собой пирокластический материал различной зернистости (туфы из вулканической пыли и пепла размерностью <2 мм). Реже встречаются игнимбриты, образованные палящими тучами (лахары). Осадочные породы представляют собой продукты разрушения пород склоновой и жерловой фаций под воздействием физического выветривания, проявлений тектоники и переноса вниз по склону к подножию сооружения. В значительном количестве присутствуют разнообразные туфы. Отложения накапливаются у подножия вулкана до внешней границы проседания сооружения. В прибрежно-морских условиях, в зависимости от уровня воды, могут формироваться рифовые постройки, которые используют в качестве фундамента породы любого происхождения и различных структурно-формационных зон.

К *поствулканической (интрузивной) формации* относятся интрузивные массивы и тела (дайки,

штоки и т. д.) постэффузивного периода развития вулканов. Формируются крупные гипабиссальные интрузии, приуроченные, как правило, к относительно мощным терригенным горизонтам по границе отложений основания сооружения и продуктов начального (щитового) этапа развития, а также к кровле последнего и кислым продуктам стратовулкана. Площадь интрузий составляет несколько сотен квадратных километров, мощность — от нескольких сотен метров до нескольких километров. В пределах палеовулканических сооружений они расположены в пределах развития склоновых и удаленных структурно-формационных зон. По петрохимическому составу слагающих их пород они неоднородны, представлены, как правило, тремя основными фациями или фазами внедрения. Состав пород меняется от основного к кислому.

Средний диаметр основания сооружения не менее 100 км, а часто превышает несколько сотен километров. Диаметр вулканического центра 10–20 км и более, в нем локализованы породы жерловой формации. Ширина склонов сооружения, сложенных покровами лав и пирокластики, варьирует от нескольких десятков километров до нескольких сотен километров (в зависимости от степени эродированности). Наибольшая высота известного нам сооружения от фундамента до верхней точки не более 10 км.

Гомодромная последовательность накопления пород вулканических сооружений, их размеры и интервалы времени жизнедеятельности сохранялись на всем протяжении фанерозоя. В палеозойскую эру формирование сооружений происходило в 3 следующие одна за другой эпохи тектономагматической активизации: салаирскую (V–S), каледонскую (D) и герцинскую (С–Р).

Отметим, что размеры современных (мезозойско-кайнозойских) вулканических сооружений вписываются в это описание. Например, вулкан Мауна-Лоа на о. Гавайи с его многочисленными вулканическими конусами достигает высоты более 9170 м и имеет диаметр основания более 500 км, а подводный щитовой вулкан Массив Таму, расположенный в северо-западной части Тихого океана, в 1600 км на восток от Японии, имеет размер в основании 450×650 км при высоте около 4,5 км под уровнем океана.

Позиция рудных месторождений в палеовулканических сооружениях. В пределах палеовулканических сооружений формируются рудные месторождения двух структурно-формационных типов: 1) вулканогенные в пределах распространения пород жерловых и склоновых формаций; 2) поствулканические, связанные с крупными интрузивными телами, сформировавшимися в заключительный 3-й этап развития палеовулканов. Для разновозрастных палеовулканических сооружений выявлена рудная специализация. Для сооружений

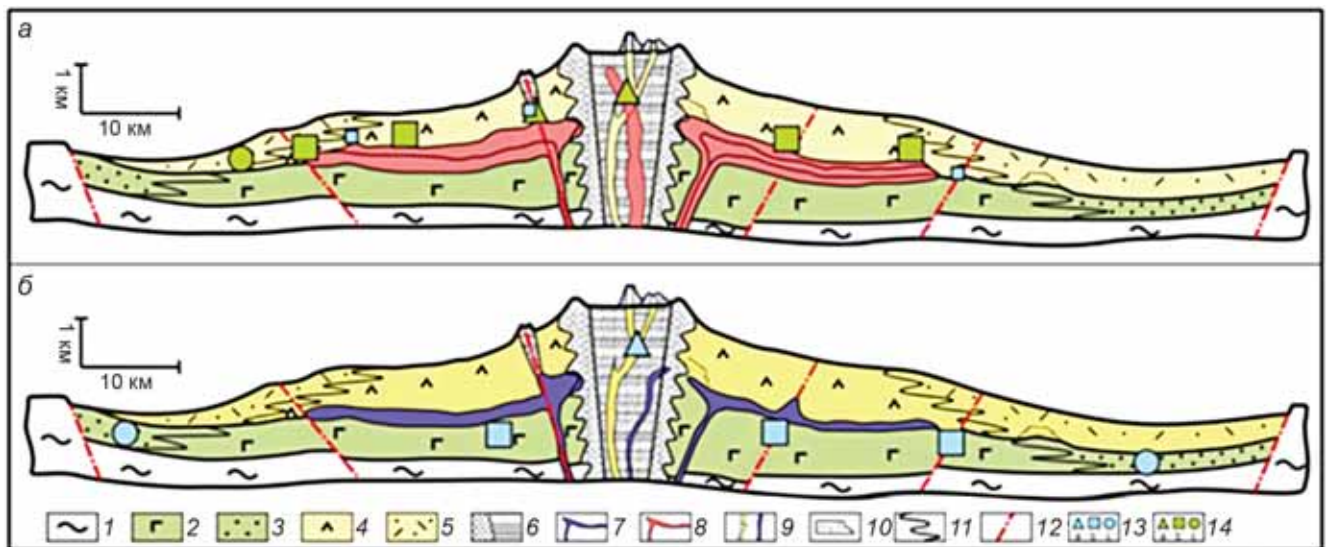


Рис. 2. Схематический разрез модели палеовулканического сооружения с зонами медной минерализации: *a* — каледоно-герцинский тип палеовулканических сооружений; *б* — салаирско-каледонский тип палеовулканических сооружений: 1 — фундамент; 2–6 — структурно-формационные зоны палеовулканического сооружения: 2 — породы склоновой структурно-формационной зоны (1 этап) основного состава, 3 — породы удаленной структурно-формационной зоны (1 этап), 4 — породы склоновой структурно-формационной зоны (2 этап) кислого состава, 5 — породы удаленной структурно-формационной зоны (2 этап), 6 — жерловая структурно-формационная зона; 7 — интрузивные тела ультраосновного состава; 8 — интрузивные тела кислого и среднего состава; 9 — субвулканические тела; 10 — рифовые (карбонатные) постройки; 11 — границы формаций; 12 — тектонические нарушения; 13 — зоны колчеданной минерализации в фациальных зонах (*a* — жерловая, *б* — склоновая, *в* — удаленная); 14 — зоны порфировой минерализации в структурно-формационных зонах (*a* — жерловой, *б* — склоновой, *в* — удаленной)

салаирских и каледонских эпох характерен колчеданный тип уникальных месторождений, а для герцинских — медно-порфиоровый с небольшими медно-колчеданными объектами (рис. 2).

Наименее изучены на сегодняшний день жерловые структурно-формационные зоны. Поскольку они, как правило, представлены депрессионными формами рельефа, то перекрыты продуктами разрушения горных пород. Диаметр центральной кальдеры колеблется в широких пределах — от десяти до нескольких десятков километров. Обычно они представляют собой крупные кольцевые структуры, где сохраняются реликты многочисленных вулканических конусов и субвулканических некков.

Жерловая структурно-формационная зона. Исследования показали, что в пределах центральных кальдер находятся известные уникальные месторождения меди колчеданного и порфиорового типов, золота и др. [Дьяконов, 2010, 2011; Котельников, 2013; Dyakonov et al., 2020]. Это определяет высокий интерес к поискам и реконструкции таких кальдер с целью находки слепых и перекрытых месторождений. В пределах развития пород жерловой структурно-формационной зоны, как правило, присутствует наиболее богатая и разнообразная рудная минерализация, например, колчеданные месторождения уральского типа (Блявинское, Яман-Касинское, Гайское, Уруп); медно-порфиоровые месторождения (Лос-Пеламбрес и Эль-Сальвадор в Чили, Пиббл на Аляске, Коунрад в Казахстане, Леки-Тальбей на Полярном Урале); золоторудные месторождения (Воронцовское на

Урале, Купол на Чукотке, золоторудные объекты рудного узла Пиббл на Аляске). Минерализация в основном связана с внедрившимися субвулканическими телами и некками в центральной кальдере проседания и по ее периферии.

Склоновая структурно-формационная зона.

В склоновой части сооружения также присутствуют месторождения разных промышленных типов. Минерализация приурочена к мелким паразитическим жерлам и зонам сочленения разнонаправленных тектонических нарушений, в пределах которых формируются медно-полиметаллические месторождения типов кипрского и куроко. Значительная часть рудной минерализации генерируется в апикальных частях крупных межпластовых интрузивных тел, их контактов и внутри них: медно-порфиоровая (Актогай, Казахстан; Чукикамата, Чили); золотая (Новогоднее Монто и Петропавловское, Полярный Урал; Кваркенское рудное поле, Айдырлинское, Березняковское, Кочкарское, Южный Урал; Васильковское, Казахстан; Форт-Нокс, Аляска; золоторудный район Репаблик, США); медно-никелевая (Норильский рудный район); хромитовая (Центральное, Полярный Урал; Кимперсай, Казахстан).

Удаленная структурно-формационная зона.

В удаленной части сооружения могут формироваться месторождения осадочного типа (медистые песчаники), образовавшиеся за счет разрушения руд жерловой и склоновой зон и их переотложения на периферии сооружения. Например, месторождения в кунгурских отложениях (Западный Урал),

Мансфельд (Центральная Европа), меднорудный район оз. Верхнее (США, штат Мичиган). В пределах удаленной зоны инъекции гранитных интрузий приводят к формированию крупных месторождений (Удокан, Забайкальский край; Жезказган, Казахстан), для которых вулканогенно-осадочные и осадочные отложения являются вмещающими.

Методика проведения поисково-оценочных работ. Применение структурно-геохимических исследований основано на уникальной методике палеовулканической реконструкции территории и геохимической оценке определенных площадей палеовулканического сооружения. Специализированное палеовулканическое картирование изучаемой территории проводится в масштабе 1:500 000 и 1:200 000. Основой для этих работ служат карты палеовулканических сооружений. На основе связи медной минерализации с определенными структурными элементами сооружений выделяются перспективные площади, в пределах которых проводятся поисково-оценочные работы. Они включают в себя детальное геологическое картирование в масштабе 1:50 000. Проводится экспрессная газово-эманационная съемка (ГЭС), стандартное геохимическое опробование с целью выявления первичных и вторичных ореолов рассеяния над предполагаемыми подводными рудными гидротермальными каналами. На участке размером в несколько квадратных километров может находиться несколько перспективных объектов. Результаты компьютерной обработки аналитических данных позволяют выявлять и ранжировать участки по перспективности для целей постановки последующих геологоразведочных работ, обязательно включающих в себя бурение скважин колонкового бурения.

В качестве опережающих геохимических работ рекомендуется проведение атмогеохимических исследований (ГЭС). Они основаны на использовании в качестве элементов-индикаторов гидротермального оруденения летучих соединений йода, галогенов, сероводорода, метана, радиоактивных и других газов с высокой миграционной способностью. Эти работы позволят составить детальную схему тектонических нарушений и выявить области интенсивной дегазации над гидротермальными каналами, что даст возможность уточнить контуры перспективных площадей и уменьшить объем последующих литогеохимических исследований.

Основное преимущество применения этой методики заключается в высокой вероятности обнаружения слепых и перекрытых зон рудной минерализации от рудопроявлений до уникальных месторождений. Она позволяет снизить затраты на поисково-оценочные работы по сравнению с традиционными методами и значительно сократить сроки проведения таких работ.

Применение методики при изучении Медногорского рудного района (Южный Урал). Работы

начались с анализа фондовой и опубликованной литературы, отражающей геологическое строение изучаемого района, а также возрастные датировки пород. В строении Медногорского района отложения относятся к двум структурным этажам. Нижний этаж сложен вулканогенными, вулканогенно-осадочными, терригенными и осадочными породами, образовавшимися с кембрия до девона [Косарев, 2010]. Породы верхнего структурного этажа представлены терригенно-осадочными и осадочными отложениями и служат перекрывающим (консервирующим) чехлом. По этим материалам выполнен палеофациальный анализ. Уже на стадии предварительного изучения была составлена предварительная схема строения палеовулканического сооружения, оконтурены площади развития жерловых и склоновых формаций. Полевые работы в значительной части подтвердили предварительные (камеральные) решения.

Накопление пород нижнего структурного этажа происходило с кембрия до раннего ордовика и ознаменовалось вулканизмом основного состава. Позднее, в ордовике—силуре, базальтовый магматизм сменился на риолитовый и привел к сооружению стратовулкана. Завершающая интрузивная фаза (S_2-D_1) формирования палеовулканического сооружения отмечена внедрением и последующей кристаллизацией крупных серпентинитовых лополитов по границам раздела продуктов базальтового и риолитового этапов магматизма и многочисленных инъекций тел вулканического стекла. Эпоха вулканизма сменилась эпохой интенсивного разрушения, о чем свидетельствует накопление терригенных пород ранне-позднедевонского возраста и отложений карбонатов каменноугольного возраста.

Дешифрирование космических снимков позволяет выделить линейные и кольцевые тектонические нарушения нескольких порядков [Корчуганова, Корсаков, 2009]. Их пространственное расположение подчеркивают структурные элементы и их формы медногорского палеовулканического сооружения. Пример дешифрирования вулканического центра показан на рис. 3, где в пределах вулканического центра расположены реликты вулканических конусов 1- и 2-го этапов формирования палеовулканического сооружения. В качестве современных аналогов такого вулканического центра, имеющих схожее строение и размеры, можно назвать вулкан Креницына на о-ве Онекотан (Большая гряда Курильских островов, Россия); вулканический конус Тейде на о-ве Тенерифе (Канарские о-ва, Испания) [Troll, Carracedo, 2016]; гора Ринджани (о. Ломбок, Индонезия); кальдерное оз. Крейтер на горе Маунт-Мазама (штат Орегон, США), которые имеют диаметр 10×15 км и глубину >1 км, присутствует ряд небольших вулканических конусов (диаметр до 1,5 км) [Agun, 2009].

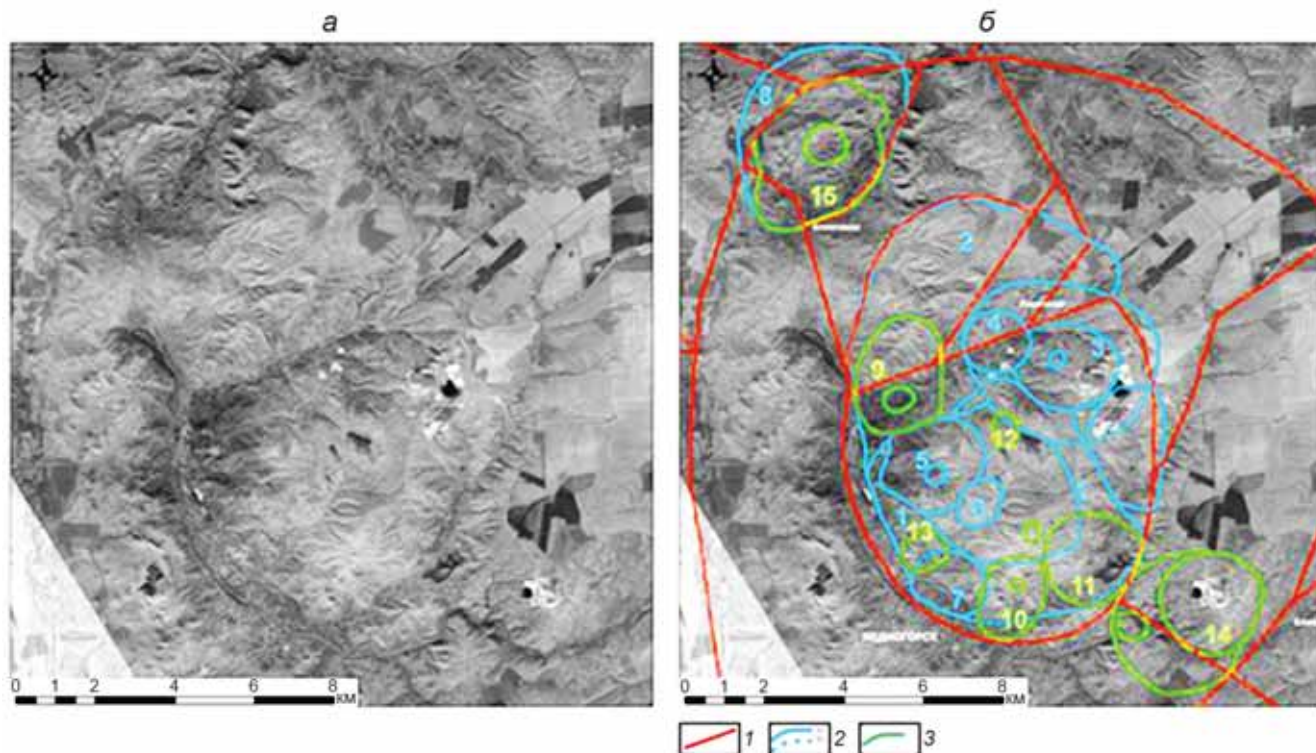


Рис. 3. Вулканический центр Медногорского палеовулканического сооружения. Космический снимок с сайта Геопортал Роскосмоса (URL: <http://geoportalsomz.ru>): 1 — главные тектонические нарушения; 2 — границы структур 1-го (базальтового) этапа (*a* — видимые, *b* — перекрытые структурами 2-го этапа); 3 — границы структур 2-го (кислого) этапа

Эти работы позволяют построить так называемую рабочую версию карты-схемы строения территории, включающей палеовулканическое сооружение. Предположения подтверждаются во время проведения полевых работ, включающих специализированные геологические маршруты. По результатам таких маршрутов строят геологические разрезы, устанавливают зоны фациальных переходов пород, уточняют границы структурных элементов палеовулканического сооружения. На основе этих работ строится уточненная карта-схема фаций палеовулканического сооружения (рис. 4).

На следующем этапе выделяют и оценивают перспективные площади. На основе описанных выше критериев приуроченности зон минерализации к элементам сооружения выделяются площади размером от 4 до 50 км². На этих площадях проводится литогеохимическая съемка по сети 200×500 м и детальнее. Результаты лабораторного исследования проб анализируются статистическими и графическими методами. Для различных типов зон минерализации характерны свои особенности содержания и пространственного распределения химических элементов. Эти зоны приурочены к определенным тектоническим обстановкам и связаны с гидротермальными процессами. Это дает возможность использовать опережающие атмогеохимические исследования с целью локализации зон повышенной проницаемости газовых индикаторов.

По результатам геохимического исследования перспективных площадей выделяются участки или аномальные зоны с указанием геохимических параметров и оценкой их перспективности. Также формулируются рекомендации для дальнейшего детального геофизического и геохимического изучения или для планирования буровых работ.

Заключение. Палеовулканические исследования показали присутствие на Полярном и Среднем Урале сооружений двух тектономагматических циклов — салаирского (520–410 млн лет) и каледонского (410–260 млн лет), а в пределах Южного Урала — палеовулканических сооружений салаирского цикла (Медногорское и Гайское палеовулканические сооружения), каледонского (Валерьяновская палеовулканическая зона) и герцинского (Жетыкольское и Суундукское палеовулканические сооружения). С этими сооружениями связаны известные медно-колчеданные, медно-порфировые и золоторудные месторождения. Палеовулканические реконструкции различных территорий с развитым слоем магматических пород и известными месторождениями позволили установить структурные поисковые критерии. Для поисков эндогенного оруденения благородных и цветных металлов наиболее перспективны области развития жерловых фаций и приконтактные части крупных пластообразных интрузивных массивов.

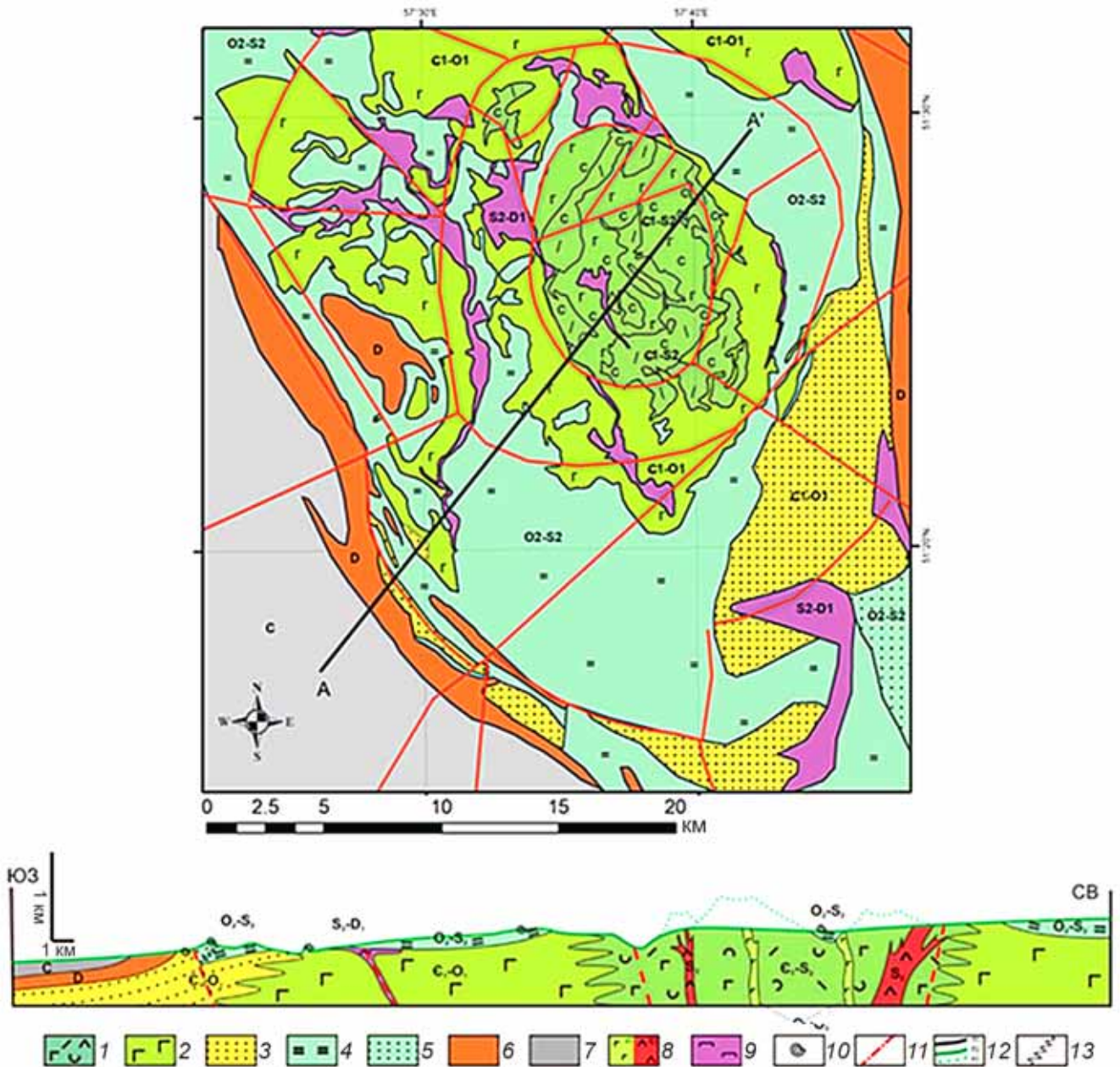


Рис. 4. Схематическая карта фаций палеовулканического сооружения и разрез:

1 — жерловые фации 1- и 2-го этапов ($C_1-O_1 + O_2-S_2$); 2 — склоновые фации 1-го этапа (C_1-O_1); 3 — удаленные фации 1-го этапа (C_1-O_1); 4 — склоновые фации 2-го этапа (O_2-S_2); 5 — удаленные фации 2-го этапа (O_2-S_2); 6 — терригенные отложения поствулканической эпохи девонского возраста; 7 — осадочные отложения каменноугольного возраста; 8 — субвулканические тела (a — основного состава, б — кислого состава); 9 — серпентиниты; 10 — фауна; 11 — тектонические нарушения; 12 — границы (a — геологические, б — земной поверхности, в — предполагаемой формы структур-вулканов); 13 — фациальные границы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дьяконов В.В. Медно-порфировые месторождения — условия локализации и поиска. М.: РУДН, 2010. 239 с.
 Дьяконов В.В. Фанерозойские палеовулканические сооружения и рудная минерализация медно-молибден-порфирового типа: Автореф. докт. дисс. М., 2011.
 Корчуганова Н.И., Корсаков А.К. Дистанционные методы геологического картирования: Учебник. М.: КДУ, 2009. 288 с.
 Косарев А.М. Палеозойский вулканизм Южного Урала: соотношение формаций и петрогенетических серий, эволюция вулканизма, геодинамика // Магматизм

и метаморфизм в истории Земли: Тез. докл. XI Всеросс. петрограф. совещ. Т. 1. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2010. С. 332–333.
 Котельников А.Е. Медногорское палеовулканическое сооружение и перспективы его рудоносности: Автореф. канд. дисс. М., 2013.
 Кривцов А.И. Металлогения андезитовидных вулканоплутонических поясов. Ч. 2. М.: ЦНИГРИ, 1999. 268 с.
 Кривцов А.И., Мигачев И.Ф. Металлогения андезитовидных вулканоплутонических поясов. Ч. 1. М.: ЦНИГРИ, 1997. 327 с.

Кузнецов Ю.А. Главные типы магматических формаций. Избр. тр. Т. 2. Новосибирск: Наука, 1989. 394 с.

Arun K. The Crater Lake of Oregon, USA: a collapsed caldera of Mount Mazama Volcano // *Earth Sci. India (Popular iss.)*. 2012. Vol. V (IV), October. P. 1–22.

Dickinson W.R., Hatherton T. Andesitic volcanism and seismicity around the Pacific // *Science*. 1967. Vol. 157 (3790). P. 801–803. DOI: 10.1126/science.157.3790.801.

Dyakonov V.V., Kotelnikov A.A., Mahmoud A.S., Kotelnikova E.M. Reconstruction of volcanic structures: examples from Kazakhstan and Egypt // *IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Sci.* 2020. Vol. 471 (012015). DOI:10.1088/1755-1315/471/1/012015.

Dyakonov V.V., Yapaskurt O.V., Kotelnikov A.E. et al. The structural and textural features of felsic volcanics of

the Sarbai Formation (Southern Urals) // *Moscow Univ. Geol. Bull.* 2017. Vol. 72. P. 320–325. URL: <https://doi.org/10.3103/S0145875217050027> (дата обращения: 15.06.2020).

Troll V.R., Carracedo J.C. The Geology of Tenerife. Chpt 5 // *Geology of the Canary Islands*. 2016. P. 227–355. URL: <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04268-X> (дата обращения: 15.06.2020).

Yapaskurt O.V. Lithology. Processes and factors of the epigenesis of rocks: diagnostics and systematic analysis // *Zh. Estestvennonauchn. Issled.* 2016. Vol. 1, N 1. URL: <https://doi.org/10.12737/17332> (дата обращения: 10.05.2020).

Поступила в редакцию 22.03.2020

Поступила с доработки 05.04.2020

Принята к публикации 05.04.2021