

УДК 553.3

Чэнь Чжэн¹, Чжао Пэнда², Ли Цзюньцзянь³, Ян Лэй⁴

ДВЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА МЕДНО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В РАЙОНЕ ДАЛАЙМЯО (ВНУТРЕННЯЯ МОНГОЛИЯ, КНР)

Слабая геологическая изученность района Далаймьяо и большой ресурсный потенциал медно-полиметаллических руд ставит под сомнение адекватную оценку содержания полезного компонента с помощью традиционных методов исследования. Авторы на основе изучения геологического строения региона и корреляции закономерностей размещения полезных ископаемых на восточном и западном флангах Восточно-Учжумуцинского металлогенического пояса (перспективная площадь Эрлян) составили две модели прогноза минеральных ресурсов, основанные на геологических аномалиях, и выделили целевые участки для поисков и опробования с помощью программы Morpas 3,0.

Ключевые слова: месторождение Далаймьяо, геологическая аномалия, двухстадийный прогноз, минеральные ресурсы.

Weak geological knowledge Dalaymyao area and a large resource potential of the copper-polymetallic ore casts doubt on an adequate assessment of mineral content using traditional research methods. The authors of this article by studying the geology of the region and the correlation of patterns of distribution of minerals of eastern and western wings of the East Uchzhumutsin' metallogenic belt (prospective area Erlyan) managed to make two models for prediction of mineral resources based on geological anomalies, and provide target areas for exploration using Morpas 3,0.

Key words: field Dalaymyao, geological anomaly, a two-stage prediction of mineral resources.

Введение. Район Далаймьяо расположен на западном фланге перспективной площади Эрлян Восточно-Учжумуцинского металлогенического пояса, который протягивается на севере провинции Силиньхот (Внутренняя Монголия), сопредельной с Монголией. Геологическая изученность района остается весьма слабой. Лишь на восточном фланге металлогенического пояса, на территории Южно-Гобийской провинции Внутренней Монголии, в течение последних лет выявлено несколько крупных медно-полиметаллических месторождений и рудопроявлений [Wu Fu-Yuan et al, 2002, 2007]. Поэтому прогнозные и оценочные работы в изучаемом районе имеют очень важное значение для будущих поисковых и разведочных работ.

Геологическое строение региона. В пределах региона преобладают ордовикские, девонские, каменноугольные и пермские отложения. К ордовикским относятся свиты убиньяобао и баяньхусу. Отложения свиты убиньяобао распространены в основном в западной части региона, около г. Ужиниту, где представлены слабометаморфизованными морскими образованиями: серицитовыми и алевролитовыми сланцами, аркозовыми метапесчаниками, сланцами, туфоалевролитами и линзами известняков. Свита баяньхусу сложена слабометаморфизованной

мелководно-морской терригенной ассоциацией, состоящей из аркозовых и кварцевых песчаников, алевролитов, а также глинистых сланцев с линзами известняков, мощность более 2640 м. Породы свиты залегают согласно на отложениях свиты убиньяобао и субширотно протягиваются вдоль восточной части района вблизи г. Дабушен-Баженхуцзигиту.

К девонской системе относятся свиты ницюэхэ и тарбагете. Свита ницюэхэ представлена здесь главным образом отложениями нижнего и верхнего ярусов и сложена карбонатами мелководной терригенной формации. Образования нижнего яруса свиты в регионе выходят на поверхность лишь на юго-западе от г. Хунгерсуму, где представлены однородными фиолетовыми конгломератами, видимая мощность 420 м. Гальки хорошо окатаны, состоят, как правило, из кварцевых, аркозово-кварцевых песчаников и кварцитов. Исходя из литологической характеристики предполагается, что конгломераты образовались в прибрежной обстановке.

Породы верхнего яруса распространены довольно широко и представлены серо-зелеными, желто-зелеными и серо-черными аркозово-кварцевыми песчаниками, алевролитами, глинистыми алевролитами и туфоалевролитами с детритом, известняками, реже андезитами. Видимая мощность свиты состав-

¹ Центр развития и исследования Китайской геологической службы, Пекин, науч. с., канд. геол.-минер. н., *e-mail:* msu_czheng@126.com

² Китайский геологический университет, факультет наук о Земле и ресурсах, Пекин, профессор, академик КАН, *e-mail:* zhaopd@cugb.edu.cn

³ Тяньцзиньский центр геологической службы при Китайской геологической службе, Пекин, науч. с., канд. геол.-минер. н., *e-mail:* lijinyang@163.com

⁴ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, аспирант, *e-mail:* yanglei@yandex.ru

ляет 4735 м. Свита тарбагете сложена буро-желтыми, коричневато-серыми глинистыми, кремнистыми и туфогенными алевролитами, желто-зелеными, буро-зелеными алевролитовыми граувакками, граувакково-аркозовыми песчаниками, граувакками с линзами известняков. Мощность свиты более 240 м. В изучаемом регионе отсутствуют отложения нижнего карбона, но развита верхнекаменноугольная—нижнепермская толща отложений (свита баолигаомьяо), представленная континентальной ассоциацией вулканитов среднего—кислого состава, пирокластических и собственно осадочных терригенных образований. Нижняя часть толщи сложена метаморфозованными аркозовыми песчаниками, граувакками, конгломератами и сланцами с линзами известняков, кристаллических туфов и андезитовых порфиринов. Верхняя часть состоит из андезитов, дацитов, риолитовых игнимбритов, туфогенных мелкозернистых песчаников и др. Образование свиты баолигаомьяо залегают на ордовикских отложениях свиты убиньяобао несогласно [Robinson et al., 1999, p. 423–442].

Район Далаймьяо расположен в центральной части Внутренней Монголии и в тектоническом отношении относится к восточной части Центрально-Азиатского орогенного пояса, представленного его Монголо-Хинганским отрезком. В южной части региона выделяется Эрлянь-Хэгэншаньская структурная зона. В регионе фиксируются три этапа тектонической эволюции — ранне-позднепалеозойский и мезозойский [Xiao wenjiao, 2003].

В палеозое рассматриваемый регион относился к области Палеоазиатского океана [Li-Jinyi, 2006, p. 207–224]. В раннем палеозое регион входил в тектоническую композицию краевого прогиба дугового комплекса. Зона субдукции протягивалась на юге от изучаемого района вдоль линии Лево-Суните — г. Си-линьхот и представлена островодужно-магматическим поясом. Севернее этой зоны терригенные отложения с редкими вулканитами ордовикских свит убиньяобао и баяньхусу формировались в обстановке задугового бассейна. К концу ордовика нижнепалеозойские толщи района были причленены к южной окраине Сибирского континента и подверглись сильному динамометаморфизму. Каледонская структура плохо сохранилась в результате деструкции во время позднепалеозойской и мезозойской тектонической и магматической деятельности.

В позднем палеозое зона субдукции, по-видимому, была локализована по линии Солуншань—Линьси. По линии Эрлянь—Хэгэншань существовала обстановка задугового бассейна, который позже трансформировался в небольшой океанический бассейн. Рассматриваемый регион на севере (в современных координатах) находился в обстановке активной континентальной окраины, где в девоне вулканическая деятельность была проявлена слабо, а в карбоне—перми достигла подъема, в результате чего сформировались вулканические образования (свита баолигаомьяо)

и множество гранитных интрузий. К концу перми, когда происходила коллизия Сино-Корейской плиты с Сибирской, в регионе возникли варисцийские структуры, которые представлены рядом линейных, пережатых и опрокинутых складок. В раннем мезозое в регионе происходила постколлизийная деятельность Палеоазиатского океана. С позднего мезозоя начался новый этап развития региона — субдукция окраинной Палеотихоокеанской плиты под континент. В результате сформировались позднемезозойско-кайнозойские вулканогенно-осадочные бассейны. Описываемый регион стал западной частью кольцевого Тихоокеанского вулcano-плутонического и Дасин-Анлинского (Большого Хинганского) вулcano-магматического поясов. В яньшаньской структуре преобладали разрывные дислокации, лишь незначительно была развита пологая складчатость [Tang Kedong, 1990, p. 249–260].

Изучаемый район относится к западной части Байиньула (Эрлянь-Дунуцзийского) гранитного пояса, который протягивается в северо-восточном и восток-северо-восточном направлениях, а на западе распространяется на территорию Монголии. В районе преобладают каменноугольные и пермские гранитоиды. Раннекаменноугольные гранитоиды, состоящие из кварцево-диорит-тоналитовой, гранодиорит-монцонитовой, гранит-сиенитовой ассоциаций, слагают ряд массивов (Хухэаобаобуци, Тайцзиусу, Уланьяобао, Чжуньснаган и др.), которые ориентированы в северо-восточном направлении и контролируются северо-восточными разломами. Гранитоидные интрузивы внедрились в девонские и более ранние образования; прорваны пермскими гранитоидами и перекрыты юрскими вулканическими образованиями.

Позднекаменноугольные гранитоиды представлены ассоциацией роговообманковых габбро, диоритов, монцонитов, гранодиоритов, монцонит-гранитов, щелочных полевошпатовых гранитов и образуют ряд массивов (Дайбиньуци, Саиньусу, Амуусу), которые также ориентированы в северо-восточном направлении. Интрузивные тела позднекаменноугольных гранитоидов внедрились в раннекаменноугольные гранитоиды и в свою очередь прорваны пермскими гранитоидами [Miao Laicheng et al., 2008, p. 348–370].

Пермские интрузивы распространены в основном в юго-восточной части изучаемого района и имеют, как правило, северо-восточное простирание. Они внедрились в позднекаменноугольные отложения свиты баолигаомьяо и позднее были перекрыты юрскими вулканическими образованиями. Пермские интрузивы сложены кварцевыми диоритами, кварцевыми монцонитами, гранодиоритами, монцонитовыми гранитами, сиенито-гранитами и щелочными гранитами. Юрские интрузивные образования здесь встречаются редко, лишь на участке Аманьусу они представлены криптитрахитоидами, прорывающимися позднеюрские вулканические образования. Нижняя часть криптитрахитоидов представлена трахит-порфирами,

а верхняя — брекчиедержащими трахит-риолитами (кластопорфировые лавы) и риолит-порфирами.

Металлогения региона. Западный фланг Эрлянь — Восточно-Учжумуциньского металлогенического пояса, в пределах которого расположен район Далаймьяо, — изучен слабее, чем восточный. Поэтому проведение металлогенической корреляции между западным и восточным флангами рудного пояса целесообразно для прогноза его минеральных ресурсов. Некоторые авторы, изучавшие металлогению этого рудного пояса, считают, что выявленное оруденение в основном относится к мезотермальному жильному и скарновому типам полиметаллических и медно-полиметаллических месторождений, образовавшихся в позднем палеозое и частично в мезозое. При этом они не исключают возможности формирования других типов рудных месторождений — медно-молибден-порфировых, имеющих, скорее всего, мезозойский возраст в пределах Эрлянь—Восточно-Учжумуциньского металлогенического пояса [Wu Fu-Yuan et al., 2002].

Установлено, что в пределах пояса повсеместно развиты варисцийские магматические образования, на которые наложены яньшаньские магматические процессы, интенсивность которых убывала с востока на запад. Почти все палеозойские и мезозойские отложения района (на уровне свит) являются рудовмещающими. Главный фактор, способствующий оруденению, — литологический. Для рудоотложения в этих условиях наиболее вероятны морские или мелководно-континентальные вулканогенно-терригенные и известняковые отложения. Их отличительная особенность — обилие обломочного материала, широкое развитие вулканических туфогенных фаций и присутствие линзовидных или тонкослоистых известняков. Весь комплекс пород весьма благоприятен для эндогенного рудообразования.

Для рудного пояса в целом характерны яньшаньские граниты калиевой известково-щелочной серии (сиенитовые и гранит-порфировые жильные образования). Они часто имеют пространственно-временную и генетическую связь с оруденением. (Некоторые авторы относят эти образования к материнским.) Но в соответствии с данными об известных рудных месторождениях в районе Далаймьяо варисцийские средне-, крупнозернистые биотитовые граниты и гранит-порфиры — главные рудовмещающие образования, а яньшаньские биотитовые граниты и щелочно-полевошпатные граниты в этом отношении имеют только второстепенное значение.

Большинство полиметаллических месторождений и рудопроявлений района приурочены к зонам разломов северо-восточного простирания, а рудные тела — к оперяющим их нарушениям в основном северо-западного и реже северо-восточного направления.

Методика прогнозных работ. Варисцийские тектоно-магматические события и связанное с ними оруденение развито более или менее повсеместно в пределах Эрлянь — Восточно-Учжумуциньского

металлогенического пояса, а яньшаньская тектоно-магматическая деятельность характеризуется убывающей интенсивностью с востока на запад. Отличие процессов рудообразования на западном и восточном флангах рудного пояса требует изменения методики исследований. Наш подход к прогнозу полиметаллических и медно-полиметаллических месторождений в районе Далаймьяо сводится к следующему. На первой стадии работ на основе созданной комплексной информации о геоаномалиях проводятся прогнозные работы с целью выявления палеозойских полиметаллических месторождений в районе перспективного палеозойского медно-полиметаллического оруденения (модель I, табл. 1). На второй стадии на основе комплексной мультиэлементной информации в районе исследования проводится прогноз с целью выявления скрытых полиметаллических месторождений, имеющих мезозойский возраст, и перспективных участков мезозойского полиметаллического оруденения (модель II, табл. 2). Если модель I выражает характеристики фоновых геоаномалий, то модель II будет воплощать черты наложенных геоаномалий. Авторы, используя обе модели, в две стадии провели прогнозную процедуру, чтобы результаты, полученные на каждой стадии прогноза, можно было сопоставить.

Модель прогноза выражается рядом переменных, измеряющих перспективность каждой геоаномалии,

Таблица 1

Комплексная мультиэлементная информация о геоаномалиях модели прогноза на палеозойское медно-полиметаллическое оруденение (модель I)

Тип информации		Характеристика
Геологическая	Стратиграфическая	Рудовмещающие палеозойские отложения: свиты баолигаомьяо, ницхоэ и убиньяобао
	Структурная	Места пересечения линейных структур разного направления
	Магматические образования	Варисцийские гранитоиды среднего-кислого состава
Геохимическая	Отдельные элементы	Аномалии Cu, Zn, Pb, W, Mo
	Группы элементов	Аномалии Cu—Zn—Pb и W—Mo

Таблица 2

Комплексная мультиэлементная информация о геоаномалиях модели прогноза скрытого мезозойского полиметаллического оруденения (модель II)

Тип информации		Характеристика
Геологическая	Стратиграфическая	Сложнодислоцированные отложения
	Структурная	Места сгущения структур и структурного пересечения
Геофизическая	Аэромагнитная	Участки локальных магнитных аномалий
	Гравитационная	Участки аномалий Буге — гравитационных минимумов
Геохимическая	Группы элементов	Аномалии Cu—Zn—Pb и W—Mo

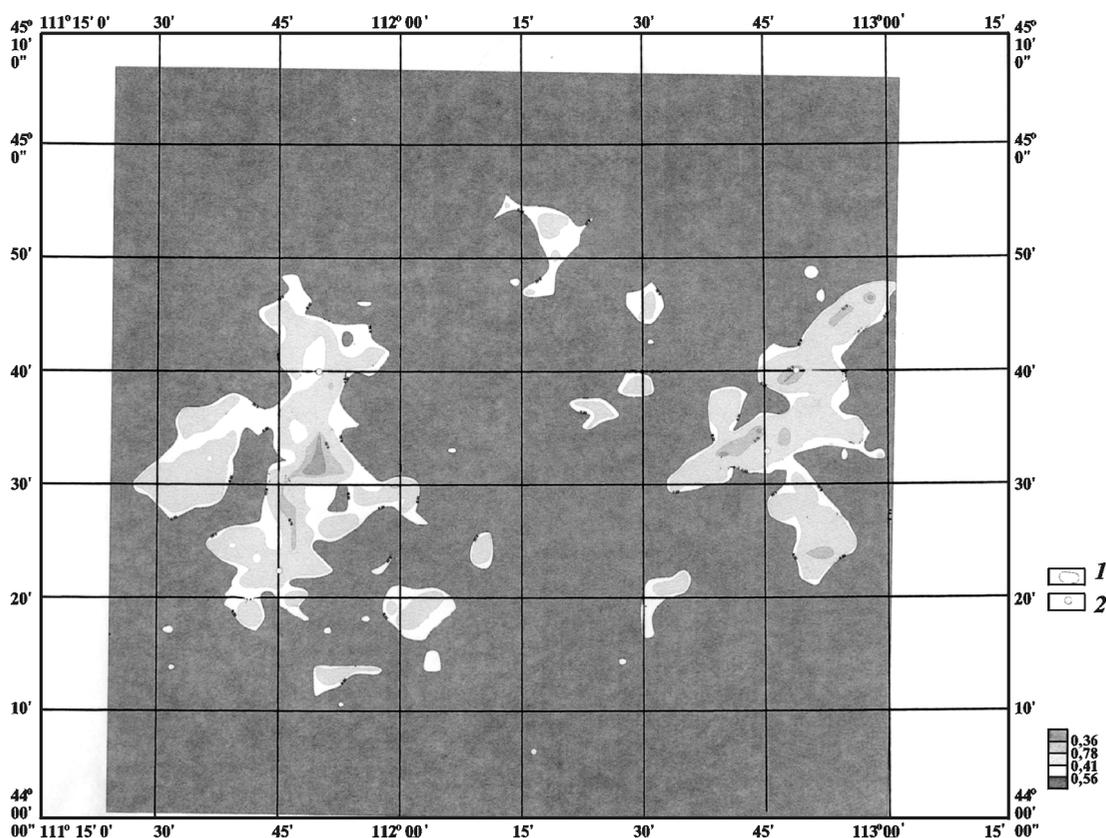


Рис. 1. Карта распределения перспективности позднепалеозойского медно-полиметаллического оруденения: 1 — изолинии перспективности оруденения, 2 — рудопроявление

связанной с оруденением. В нашем случае переменными (модель I) прогноза на позднепалеозойское медно-полиметаллическое оруденение представлены следующие показатели: свита баолигаомяо (X_1), свита убиньябао (X_2), свита ницюэхэ (X_3), энтропия объединенных отложений (X_4), структура (X_5), изоплотность нарушений (X_6), тела варисцийских магматических образований средне-кислого состава (X_7), аномалия Cu (X_8), аномалия Pb (X_9), аномалия Zn (X_{10}), аномалия W (X_{11}), аномалия Mo (X_{12}) и аномалия Sn (X_{13}). На основе техники ГИС и компьютерной обработки выбраны соответствующие переменные с геологической, геофизической, геохимической карт и с карты дистанционного изучения.

Изучаемый район разделен на 4030 квадратов со стороной 2×2 км. Методом анализа произведения матрицы перспективность геологической аномалии для оруденения (F) определяется по уравнению

$$F = 0,046019X_1 + 0,020863X_2 + 0,032342X_3 + 0,092049X_4 + 0,159698X_5 + 0,017136X_6 + 0,100893X_7 + 0,095154X_8 + 0,061427X_9 + 0,083397X_{10} + 0,106720X_{11} + 0,100967X_{12} + 0,08333X_{13}.$$

По критичной величине $F = 0,8$ район Далаймьяо разделен на 5 геологических аномалий, связанных с позднепалеозойским медно-полиметаллическим оруденением: участки Замухаоэндэ—Булагэту, Чжуньцзихэдэдэгэ, Байиньерденни, Чжуньсуцзиамуусу—

Чжуньсуцзихуа и Эньгэлыньбагуча (рис. 1). По схеме распределения накопленной частотности перспективности на оруденение опробованных единиц (рис. 2) при критической величине, равной 0,6, оруденение в районе Далаймьяо будет сосредоточено на двух аномалиях, связанных с оруденением, — восточной и западной. При этом восточная аномалия будет соответствовать вышеуказанным участкам, на которых в северо-восточном направлении распространены почти все известные рудопроявления района. По комплексной мультиэлементной информации о геоаномалиях на глубинное мезозойское полиметаллическое оруденение (модель II) выбраны следующие показатели перспективности геоаномалий для прогноза оруденения на глубине: энтропия объединенных отложений (X_1), изоплотность нарушений (X_2), ассоциация Cu—Zn—Pb (X_3), ассоциация W—Mo (X_4), скрытый интрузив (X_5), структура (X_6). Таким же образом перспективность геоаномалий для оруденения (F) определяется по уравнению

$$F = 0,159274X_1 + 0,030366X_2 + 0,234684X_3 + 0,248872X_4 + 0,0499474X_5 + 0,276857X_6.$$

При критической величине $F = 0,8$ в районе Далаймьяо выявлены 4 геоаномалии, связанные с оруденением на глубине (участки Замухаоэндэ—Булагэту, Чжуньцзихэдэдэгэ, Чжуньсуцзиамуусу—Чжуньсуцзихуа и Эньгэлыньбагуча). По схеме распределения накопленной частотности перспективности для оруденения опробованных аномалий (рис. 2),

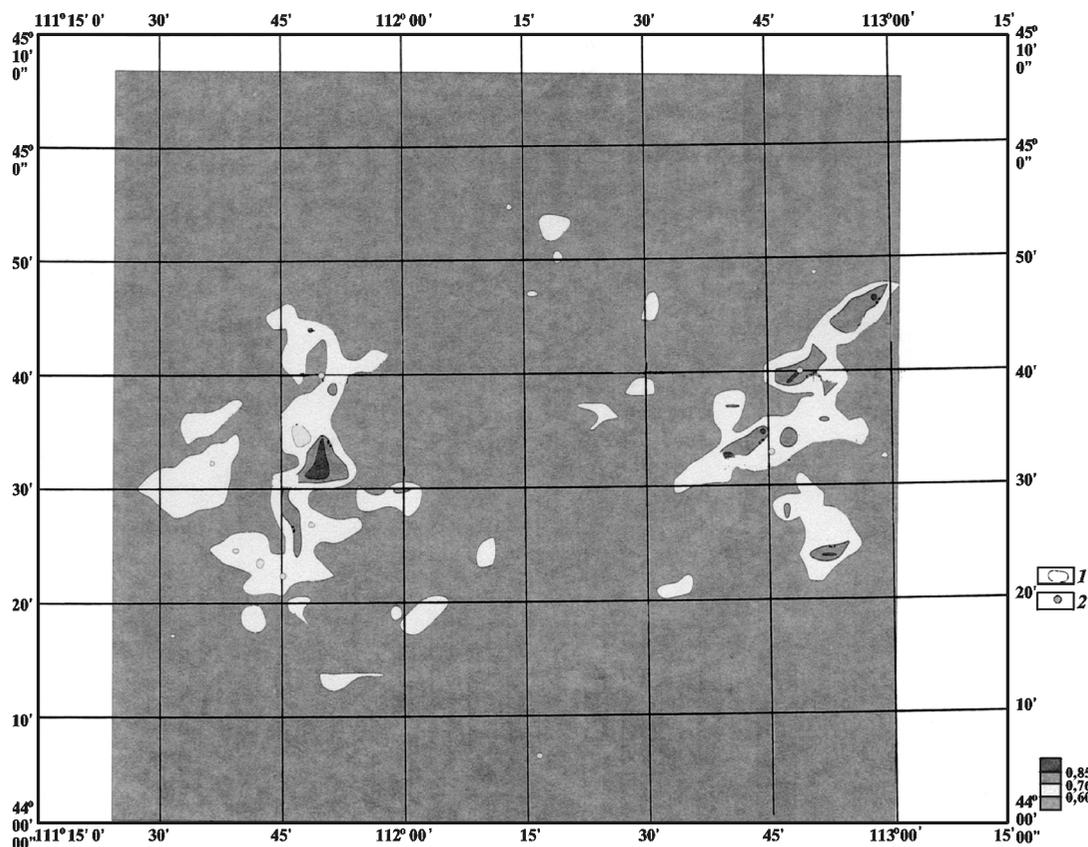


Рис. 2. Карта распределения перспективности оруденения на глубине:
1 — изолинии перспективности оруденения, 2 — рудопроявление

равной 0,6, оруденение в районе Далаймьяо будет сконцентрировано в двух аномалиях, связанных с оруденением: восточной — участки Чжуньцзихэдэдэгэ—Чжуньсуцзиуха—Эньгэлыньбагуча и западной — участки Чаганьдэлышеньбуци—Замухаоэндэ—Саиньбусу. На переходной части между ними установлены аналогичные позднепалеозойскому оруденению перспективные участки.

Заключение. На основании изучения металлогенических закономерностей в регионе с помощью техники ГИС и компьютерной обработки информации о геологических, геофизических, геохимических аномалиях создана прогнозная модель участков с позднепалеозойским медно-полиметаллическим оруденением (модель I) и сходная с ней прогнозная

модель глубинных мезозойских полиметаллических комплексов оруденения (модель II). Проведен двухстадийный анализ прогнозных ресурсов позднепалеозойского оруденения и наложенного на него скрытого мезозойского оруденения.

Сопоставление результатов прогноза на двух стадиях, изображенных на рис. 1 и 2, показывает, что распределение геологических аномалий, связанных с позднепалеозойским медно-полиметаллическим оруденением, в точности совпадает с распределением геоаномалий, связанных со скрытым мезозойским оруденением. Поэтому в районе Далаймьяо не только позднепалеозойское, но и мезозойское оруденение перспективно для дальнейших поисковых и разведочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Li Jinyi. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate // *J. Asian Earth. Sci.* 2006. Vol. 26. P. 207–224.

Miao Laicheng, Fan Weiming, Liu Dunyi et al. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: Implications for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling Orogenic Belt, China // *Ibid.* 2008. Vol. 32. P. 348–370.

Robinson P.T., Zhou M.F., Hu X.F. et al. Geochemical constraints on the origin of the Hegenshan ophiolite, Inner Mongolia, China // *Ibid.* 1999. Vol. 17. P. 423–442.

Tang Kedong. Tectonic development of Paleozoic foldbelts at the north margin of the Sino-Korean craton // *Tectonics.* 1990. Vol. 9. P. 249–260.

Wu Fu-Yuan, Sun De-you, Li Huimin et al. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis // *Chem. Geol.* 2002. Vol. 187. P. 143–173.

Wu Fu-Yuan, Guo-Chun Zhao, De-You Sun. The Hulan Group: Its role in the evolution of the Central Asian Orogenic Belt of NE China // *J. Asian Earth. Sci.* 2007. Vol. 30. P. 542–556.

Xiao Wenjiao. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt // *Tectonics.* 2003. Vol. 22. N 6.