ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2020, том 493, № 1, с. 27–30

———— МЕТАЛЛОГЕНИЯ ———

УДК 553.041(571.56)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ Рb—Zn-МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИССИСИПСКОГО ТИПА НА ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИС-АНАЛИЗА МОДЕЛИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ)

© 2020 г. А. Л. Галямов^{1,*}, А. В. Волков¹, член-корреспондент РАН А. А. Сидоров¹

Поступило 19.02.2020 г. После доработки 13.04.2020 г. Принято к публикации 13.04.2020 г.

Впервые использованы результаты современных исследований литосферы на основе гравитационных данных спутника GOCE для анализа закономерностей размещения и особенностей формирования Pb–Zn месторождений миссисипского типа ("Mississippi Valley-type", MVT), на восточной окраине Сибирской платформы. Районы распространения месторождений MVT расположены на флангах крупной Лено-Вилюйской газонефтеносной провинции. ГИС-анализ модели глубинного строения земной коры показал, что пространственное размещение месторождений MVT-типа совпадает с поднятиями (астеносферными) поверхности MOXO, приурочены к среднетемпературной области верхней мантии и контролируются аномально глубокими прогибами (около 2 км) верхнего горизонта осадочного слоя литосферы, выделяемого по сейсмическим скоростям. Важную роль в образовании Pb–Zn месторождений MVT-типа могла играть гибридная – геотермально-углеводородная минералообразующая система.

Ключевые слова: Восток Сибири, глубинная модель, тектоническая обстановка, цинк, свинец, месторождение, миссисипский тип, гибридная, геотермально-углеводородная система **DOI:** 10.31857/S2686739720070063

Полученные космическим аппаратом GOCE (*Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer*) гравиметрические данные стимулировали развитие глобальных моделей глубинного строения земной коры и верхней мантии, способствовавших пониманию металлогенической специализации крупных рудных районов и провинций.

В сообщении для ГИС-анализа закономерностей размещения и особенностей формирования Pb—Zn-месторождений миссисипского типа ("Mississippi Valley-type", MVT) на Северо-Востоке России впервые приводятся результаты современных исследований литосферы на основе гравитационных данных GOCE: глобальные карты глубины поверхности Мохо, мощности и строения осадочного чехла [1, 2], модель CRUST1.0, унаследованная из модели CRUST2.0 [3]. Тип коры связан с возрастом фундамента и тектонической активизации [3]. Глобальная модель содержит данные о глубине Мохо, скоростей сжатия и сдвига, а также плотности восьми слоев: воды, льда, трехслойного осадочного чехла и верхней, средней и нижней кристаллической коры [2].

Месторождения МVТ-типа широко распространены в мире. В России они составляют всего около 10% от общего количества Pb-Zn-месторождений. Характерная особенность геодинамической обстановки этих месторождений — залегание в платформенных и субплатформенных карбонатных комплексах на флангах пассивной континентальной окраины, затронутой наложенными процессами коллизии, и отсутствие прямой связи с магматизмом. Важные признаки месторождений MVT-типа – органогенные постройки, палеокарсты, связь с эвапоритовыми и доломитовыми фациями. Формирование руд обусловлено аномальной флюидной активизацией в орогенных процессах [4]. При этом признается существование переходного ряда между Pb-Zn-месторождениями осадочно-эксгаляционного ("Sedimentary exhalative", SEDEX) и MVT-типа [5, 6], поскольку они залегают в близких геодинамиче-

¹ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия

^{*}E-mail: a-galyamov@yandex.ru

ских обстановках. Также многие публикации и значительное количество других исследований были посвящены анализу пространственной и генетической связи формирования MVT-месторождений и органического вещества в составе металлоносных флюидов и во вмещающих породах ([7–10] и др.).

На северо-востоке России месторождения MVT-типа располагаются, в основном, вдоль восточного фаса Сибирской платформы, в областях поднятий (астеносферных) поверхности Мохо (рис. 1а), приурочены к среднетемпературной области верхней мантии (рис. 1в) и залегают в вендских субплатформенных карбонатных и терригенно-карбонатных толщах. На юго-восточном фланге платформы в Кыллахской металлогенической зоне локализованы основные месторождения этого типа — Сардана, Перевальное и Уруй (рис. 1г).

В составе континентальной коры, согласно распространенным двух- или трехслойным глобальным моделям глубинного строения земной коры, самый верхний слой коры сложен осадочными комплексами [2]. В пределах осадочного слоя при его мощности около 20 км отмечаются сравнительно низкие сейсмические скорости. Поскольку сейсмическая скорость изменяется скачками с глубиной, в осадочном слое были выделены три горизонта (сверху вниз соответственно): мощностью 2, 5 и третий, наиболее мощный, расположенный ниже 7 км) [2].

Судя по ГИС-анализу модели глубинного строения земной коры, наиболее широко в мире распространен маломощный верхний горизонт. На восточной окраине Сибирской платформы в этом горизонте выявлены два аномально глубоких прогиба (около 2 км) — в областях нижнего течения р. Лена и в Южном Верхоянье. К этим прогибам пространственно приурочены Pb—Zn-месторождения Кыллахской и Туора-Сисской металлогенических зон (рис. 16).

Средний горизонт, менее распространенный в мире, чем верхний горизонт, охватывает многие углеводородные провинции (Аравийский полуостров, Южная Америка, Западная Сибирь и др.) и их обрамление. На восточной окраине Сибирской платформы в Вилюйской впадине мощность этого горизонта достигает 4 км (рис. 16).

С нижним, наиболее мощным горизонтом, но наименее распространенным в мире, также связаны крупные углеводородные провинции. Мощность этого горизонта в локальных прогибах Вилюйской впадины более 14 км; здесь локализованы несколько газовых и газо-конденсатных месторождений (Средневилюйское, Усть-Вилюйское, Соболохское и др.) Лено-Вилюйской газонефтеносной провинции (рис. 16). ГИС-анализ показал, что металлогенические зоны с МVТ-месторождениями расположены на флангах Лено-Вилюйской газонефтеносной провинции: Кыллахская — на юго-восточном, Орулганская — на восточном, а Туора-Сисская — на северном фланге (рис. 1а–1в).

Вендские слои, вмещающие стратиформные Pb-Zn-руды Кыллахской зоны, входят в состав юдомской серии Южного Верхоянья (рис. 1г) и представлены мелкозернистыми доломитами, их битуминозными разностями, к северу сменяюшимися известняками [11]. Наиболее богатая Pb-Zn-минерализация локализована в зоне фациальной смены состава рудовмещающей пачки [12] на фланге широкого ареала развития битуминозных тонкозернистых и глинистых известняков и доломитов юдомской серии [13]. Геотермальная активизация восточного фланга Кыллахской зоны, как и Пиренейской провинции месторождений МVТ-типа [14], могла быть обусловлена рифтогенным развитием (рис. 16, 1г). На востоке Кыллахской зоны широко распространены образования базальт-долеритовой, габбро-долеритовой и ультраосновной-шелочной с карбонатитами формаций в раннерифейских вулканогенно-терригенных и ранневендских молассоидных комплексах. Таким образом, на восточной окраине Сибирской платформы существовали все условия для возникновения гибридных геотермально-углеводородных минералообразующих систем [15].

В заключение отметим, что в настоящем сообщении впервые использованы результаты современных исследований литосферы на основе гравитационных данных спутника GOCE для анализа закономерностей размещения и особенностей формирования Pb–Zn-месторождений миссисипского типа на восточной окраине Сибирской платформы. Показано, что металлогенические зоны месторождений MVT-типа расположены на флангах крупной Лено-Вилюйской газонефтеносной провинции.

Пространственное размещение месторождений МVТ-типа совпадает с поднятиями (астеносферными) поверхности Мохо, приурочены к среднетемпературной области верхней мантии и контролируются аномально глубокими прогибами (около 2 км) верхнего горизонта осадочного слоя литосферы, выделяемого по сейсмическим скоростям. Важную роль в образовании Pb–Znместорождений МVT-типа могла играть гибридная – геотермально-углеводородная минералообразующая система [15].

Помимо сравнительно хорошо изученной Кыллахской металлогенической зоны, в северной части восточного фаса Сибирской платформы расположены Туора-Сисская и Орулганская площади (рис. 1а–1в) распространения страти-



Рис. 1. Позиция свинцово-цинковых и серебро-полиметаллических месторождений Северо-Востока России в структуре поверхности Мохо (а), мощность верхнего горизонта осадочного слоя Земной коры (б), температура верхней мантии (в) и размещение фаций вендских комплексов Кыллахской зоны в позднесарданинское время (Vsr₂) (с использованием материалов [2, 3, 5]) (г). Месторождения: 1 - серебро-полиметаллические, 2 - колчеданно-полиметаллические в терригенных породах, 3 - колчеданно-полиметаллические в вулканогенно-карбонатных породах, 4 - стратиформные свинцово-цинковые в карбонатных породах, 5 - полиметаллические жильные, 6 - олово-серебро-полиметаллические жильные. Масштаб проявлений: 7 - крупные, 8 - средние-мелкие, 9 - рудопроявления, 10 - контуры металлогенических зон, 11 - Лено-Вилюйская нефтегазоносная провиция; 12 - контур врезки Г; 13 - глубина до поверхности Мохо; 14 - области рифтовых комплексов. Сейсмические горизонты осадочного слоя литосферы: 15 - верхний; 16 - средний; 17 - нижний; 18 - мощность осадочного слоя литосферы; 19 - температура верхней мантии, 20-22 - состав рудовмещающей пачки верхнесарданинской свиты: 20 - сахаровидные доломиты, 21 - известняки тонкозернистые, часто с кремневыми стяжениями, 22 - песчаники (прибрежная фации); 23 - ареал распространения битуминозных известняков сарданинской свиты; 24 - ареал выходов рифейских базальтов и долеритовых силлов, 25 - выходы вендских карбонатных толщ в современном структурном плане; 26 - зона фациальной смены известняков и доломитов рудовмещающей пачки верхнесарданинской свиты.

ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ том 493 № 1 2020

формного полиметаллического оруденения в отложениях рифея и венда, что расширяет перспективы выявления новых Pb–Zn-месторождений как MVT-, так и SEDEX-типа.

Полученные результаты могут быть использованы для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и оценки месторождений миссисипского типа не только на Северо-Востоке, но и в других металлогенических провинциях России.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках темы Госзадания ИГЕМ РАН: "Металлогения рудных районов вулканоплутоногенных и складчатых орогенных поясов Северо-Востока России".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Bouman J., Ebbing J., Meekes S. //* Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinform. 2015. V. 35. P. 16–30.
- Laske G., Masters G. // EOS Trans AGU. 1997. V. 78. F483. http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/sediment.html#sed
- Bassin C., Laske G., Masters G. // EOS Trans. AGU. 2000. V. 81. F897. http://mahi.ucsd.edu/Gabi/ rem.html.
- Bradley D.C., Leach D.L. // Mineral. Depos. 2003. V. 38. P. 652–667.
- Goodfellow W.D., Lydon J.W. // Mineral Deposits of Canada. 2007. Spec. Publ. № 5. P. 163–183.

- Sangster D.F. // Denver: Society of Economic Geologists. 1996. Spec. Pap. 4. 687 p.
- 7. Павлов Д. И., Галямов А.Л. Геологические соотношения стратиформного свинцово-цинкового оруденения и нефтепродуцирующих толщ (на примере Южного Верхоянья) // Литол. и полез. ископаемые. 1988. № 3. С. 89–100
- Greenwood P.F., Brocks J.J., Grice K., Schwark L., Dick J.M., Evans K.A. Organic Geochemistry and Mineralogy. I. Characterisation of Organic Matter Associated with Metal Deposits // Ore Geol. Rev. 2013. № 50. P. 1–27.
- Migdisov A., Guo X., Williams-Jones A., Sun C., Vasyukova O., Sugiyama I., Fuchs S., Pearce K., Roback R. Hydrocarbons as Ore Fluids // Geochem. Persp. Lett. 2017. V. 5. P. 47–52.
- Ozdemir A., Palabiyik Y. Significance of Relationships between Hydrocarbons and Metallic Ore Deposits in Oil and Gas Exploration: Part III. Lead and Zinc Deposits // Тр. Симп. "Международная наука, технология и новейшие достижения в области социальных наук". Ankara. Turkey. 2019. Т. 2. Р. 240–250.
- Структурные условия формирования богатых Ag, Au, Sn, Sb и Pb–Zn-руд месторождений Якутии. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2002. 175 с.
- 12. Иогансон А.К. Кропачев А.Л. // Геология и геофизика. 1976. № 9. С. 126–134.
- Давыдов Ю.В. Сардана // Структурные условия формирования богатых Ag, Au, Sn, Sb и Pb–Zn-руд месторождений Якутии. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2002. С. 143–161.
- 14. *Grandia F., Asmerom Y., Getty S., et al.* // J. Geochem. Exploration. 2000. V. 69/70. P. 377–380.
- Procesi M., Ciotoli G., Mazzini A. // Earth-Science Reviews. 2019. V. 192. P. 529–544.

DISTRIBUTION AND FEATURES OF FORMATION OF Pb-Zn DEPOSITS OF THE MISSISISIPI TYPE ON THE EASTERN EDGE OF THE SIBERIAN PLATFORM (BY THE RESULTS OF GIS ANALYSIS OF THE GLOBAL CRUST MODEL)

A. L. Galyamov^{a,#}, A. V. Volkov^a, and Corresponding Member of the RAS A. A. Sidorov^a

^a Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

[#]E-mail: a-galyamov@yandex.ru

The results of recent lithosphere studies that based on the gravity data of the GOCE satellite (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) for the first time were used to analyze distribution of Pb-Zn deposits of the Mississippi type ("Mississippi Valley type", MVT), on the eastern edge Siberian platform. The areas of MVT-deposits are located on the flanks of the large Leno-Vilyui oil and gas province. A GIS analysis of the model of the earth's crust structure showes the spatial distribution of MVT-type deposits that coincides with the elevations of the MOHO surface, and locally is controlled by abnormally thick (about 2 km) upper horizon of the lithospheric sedimentary layer, allocated by seismic speeds. The hybrid-geothermal-hydrocarbon mineral-forming system could play an important role in the formation of Pb-Zn deposits of the MVT type.

Keywords: North-East of Russia, Sardana deposit, lead, zinc, ores, Missisipi Valley type, model