

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»



Национальный
исследовательский
**Томский
государственный
университет**



**Геолого-
географический
факультет**

Томского
государственного
университета

ДИНАМИКА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОСФЕР ЗЕМЛИ

Материалы Всероссийской конференции с международным участием,
посвященной 100-летию подготовки в Томском государственном университете
специалистов в области наук о Земле

8–12 ноября 2021 года

ТОМ I

Томск 2021

байкальской сейсмической зоны, Якутии и Камчатки измерительная сеть со сбором и оперативной обработкой информации с графическим отображением на специальном сервере ИМКЭС СО РАН.

С учётом актуальности и объективной необходимостью обеспечения безопасной эксплуатации существующей и развивающейся производственной, социальной и транспортной инфраструктуры при наличии криогенных процессов во многолетнемерзлых грунтах, а также в арктической зоне в ИМКЭС СО РАН формируется комплексная научно-исследовательская программа адаптации для этих целей уже доказавших свою эффективность в других природных условиях пассивных радиоволновых методов. Планируется разработка комплексной технологии использования инструментальных пассивных радиоволновых средств нового поколения для контроля геодинамических процессов и решения актуальных задач инженерной геофизики в режиме работы сети автоматических геофизических регистраторов и автономных «робот-метеостанций».

Литература

1. Воробьев А.А. О возможности электрических разрядов в недрах Земли. Известия АН СССР, Серия геология и геофизика, 1970, № 12, С. 3–14
2. Малышков Ю. П., Малышков С. Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра земли// Геология и геофизика 2009, № 2, С. 152–172
3. Малышков С.Ю., Гордеев В.Ф., Крутиков В.А., Задериголова М.М. В коллективной монографии «Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии»
- Под ред. А.В. Николаева, В.Б. Заалишвили. Изд. ГФИ ВНИИ РАН. 2019, Владикавказ.
4. Многоканальный геофизический регистратор МГР-01. /Государственный реестр РФ «Средства измерения» № 31892–06 от 22.06.06 г.
5. Оценочный доклад Росгидромета о климатических рисках на территории Российской Федерации, 2017
6. Способ геофизической разведки: патент 2414726 РФ, 2009. МПК G01V 3/08 (2006/01) Малышков Ю.П., Малышков С.Ю., Шталин С.Г., Гордеев В.Ф., Поливач В.И.
7. Шталин С.Г., Гордеев В.Ф., Малышков С.Ю., Поливач В.И., Малышков Ю.П. Регистратор импульсных электромагнитных полей для мониторинга геодинамических процессов и геофизической разведки// Датчики и системы. 2012. № 4, С. 32–37.
8. Yury P. Malyshev, Sergey Yu. Malyshev, Vasily F. Gordeev, Sergey G. Shtalin, Vitaly I. Polivach, Vladimir A. Krutikov, Michail M. Zaderigolova. Eccentric Motion of the Earth's Core and Lithosphere: Origin of Deformation Waves and their Practical Application // In the Earth's Core: Structure, Properties and Dynamics / Editors: Jon M. Phillips. Nova Science Publishers, 2013. pp. 113–210.
9. Yury P. Malyshev, Sergey Yu. Malyshev, Vasily F. Gordeev, Sergey G. Shtalin, Vitaly I. Polivach, Vladimir A. Krutikov, and Michail M. Zaderigolova Earth's Natural Electromagnetic Noises: Their Deep-Seated Origin, Effect on People, Recording and Application in Geophysics Editors: Reimer, A. // Horizons in World Physics, 2015 (283), С. 43–128. Nova Science Publishers, ISBN: 978–163482662–4;978–163482661–7

УДК 553.07

СТРУКТУРА РУДНОГО ПОЛЯ И U-Pb ДАТИРОВАНИЕ ВМЕЩАЮЩИХ И ОКОЛУРУДНЫХ ПОРОД ЗМЕИНОГОРСКОГО БАРИТ-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РУДНЫЙ АЛТАЙ)

О.М. Гринёв, К.В. Бестемьянова, А.С. Семиряков, Р.О. Гринёв

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
tomskgrom@yandex.ru, ksenijavt@mail.ru, alexey.semiryakov@mail.ru, jadestone@yandex.ru*

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90036, а также в рамках Госзадания Минобрнауки РФ № 0721-2020-0041.

Проведен анализ схем строения Змеиногорского рудного поля разных лет, заметно отличающихся по своему содержанию и прогнозно-поисковой направленности. За основу исследования взята схема 1949 г., построенная по результатам масштабных горных и буровых работ. На основе анализа стратиграфии, состава пород, пикативно-дизъюнктивных деформаций осадочных толщ, эффузивно-субвулканических и метасоматических образований, LA-Q-ICP-MS датирования U-Pb методом по циркону, предлагается обновленная схема рудного поля месторождения и история его формирования. Структура месторождения представляет собой вулкано-тектонический риолитовый купол, венчающий замковую часть

брахиантиклинальной складки. Подобные морфоструктуры являются основным типом наиболее богатых месторождений смежного Лениногорского рудного района, в частности Риддер-Сокольного и Ново-Лениногорского месторождений

Ключевые слова: рудное поле, барит-полиметаллические руды, девон, морфотектоника, стратиграфия, риолитовый магматизм, кварциты, Рудный Алтай, U-Pb геохронология, кальдера, история формирования

Schemes of Zmeinogorsk ore field structure made in 1996, 1960 and 1949 have been analyzed. The schemes differ from each other in contents and prospecting trends. This study is based on the 1949 scheme, made on the basis of the results of extensive mining and drilling operations. Based on the analysis of stratigraphy, LA-Q-ICP-MS dating results by U-Pb method, rocks composition, plicative and disjunctive dislocations of sedimentary, volcanic and subvolcanic formations, as well as their relationship, an updated scheme of Zmeinogorsk ore field structure is suggested. It belongs to rhyolite dome-type, which is also attributed to the neighboring Leninogorsk ore district

Keywords: ore field, barite-polymetallic ores, Devonian, morphotectonics, stratigraphy, rhyolite magmatism, quartzites, Rudny Altai, U-Pb geochronology, caldera, history of formation

Введение. Змеиногорское месторождение и существовавшее на его рудах горно-металлургическое производство сыграли выдающуюся роль в освоении богатств Рудного Алтая и для всей Южной Сибири, что отмечено в большинстве исторических справок по освоению этого региона (Гринёв, 2002₁₋₂; Чекалин, 2008). С перерывами месторождение эксплуатировалось более двух веков, являясь стержнем цивилизационного проекта «Серебряное кольцо Алтая». Даже сегодня малые тела используются для добычи золота и серебра, баритовые руды и отходы ЗИФ Змеиногорского месторождения.

Месторождение служило всеобщим эталоном для разработки полевых критериев для открытия других подобных рудоносных объектов. Вместе с тем по ряду вопросов структуры его рудного поля и возрасту слагающих его пород существуют серьезные разногласия. Подобное положение вещей в отношении уникального исторического объекта недопустимо.

Авторы целенаправленно в течение ряда лет занимаются изучением морфотектоники, магматизма и рудогенеза Змеиногорского и других районов Рудного Алтая, а также их ключевых рудных объектов (Гринёв и др., 2013; 2015; 2016; 2017; 2018; Бестемьянова и др., 2013; 2014; 2015; Bestemianova et al., 2016; 2017; Semiryakov et al., 2019; Семиряков и др., 2020; 2021 – не представлены в списке литературы). Это позволило детально изучить структуру рудного поля уникального по своему значению Змеиногорского месторождения и существенно уточнить не только его строение, но и историю формирования.

Целью данной работы является анализ схем рудного поля предшественников, выбор наиболее структурно обоснованной из них, характеристика ее с современных позиций и детальных полевых наблюдений, минералого-геохимическая аттестация и датирование вмещающих и околорудных образований U – Pb методом по циркону.

Анализ схем структуры рудного поля предшественников. Наиболее «молодая» схема строения рудного поля Змеиногорского месторождения была опубликована в 1996 году (Чекалин, 1996), в дальнейшем она была взята за основу при проведении геологической съемки второго поколения масштаба 1:200 000

(Государственная..., 2001). На этой схеме барит-полиметаллическое оруденение месторождения имеет глубоко стратиформный характер и располагается в виде «стратиграфической линзы» внутри разреза верхней алевроито-аргиллито-известково-кремнистой подсвиты мельничной свиты (D_{2mn3}). Подсвита подстилается туфами, лавами риолитов, риодацитов средней (D_{2mn2}) и алевролитами, песчаниками и туфами кислого состава нижней подсвиты (D_{1mn1}) мельничной свиты.

Датировки отложений на схеме даны на основе определения эмской морской фауны в глинистых известняках нижней подсвиты, обнаруженной в ее обнажении на северной периферии заводского пруда г. Змеиногорска. Контакты между подсвитами на схеме согласные, стратиграфические, без осложнения их тектоникой и внедрениями магматических пород.

Более ранняя схема строения рудного поля месторождения опубликована в работе (Гармаш, 1960) и имеет заметно проявленный тектоно-стратиграфический характер с участием метасоматических образований и внедрением магматических расплавов. Оруденение на схеме приурочено к контактовым зонам метасоматических микрокварцитов, образующих в плане расширенное в запад-северо-западной части линзообразное тело, выклинивающееся в восток-юго-восточном направлении. С запада тело кварцитов ограничивается субмеридиональным разломом. По отношению к вмещающим грубослоистым известковым аргиллитам микрокварциты занимают субсогласное положение. На глубину тело микрокварцитов погружается под углом около 50-60° и выклинивается, разветвляясь в хвостовой части. Тело размещается в замковой части брахиантиклинали, образуемой мощной пачкой аргиллитов и глинистых известняков нижнемельничной подсвиты (D_{1mn1}). В западной части тела микрокварцитов расположено мелкое штокообразное тело долеритов, от которого веерообразно в восточном, северном и северо-западном румбах распространяются дайки долеритов, секущих микрокварциты и руды. Западный фланг рудного поля слагается метаморфическими сланцами.

Возрастных датировок на схеме не приводится. По ряду особенностей она явно противоречит схеме, опубликованной в 1996 году. Более того, как первая, так и вторая схемы противоречат или не учитывают мно-

гие принципиальные особенности, характеризующие строение Змеиногорского месторождения.

Анализ фондовой литературы показал, что схема работы А.А. Гармаша (1960) представляет собой сильно упрощенный фрагмент наиболее детальной схемы структуры рудного поля Змеиногорского месторождения, составленной по материалам его доразведки конца 40-х годов (Отчет о разведки Змеиногорского месторождения на Алтае за 1947-1949 гг. / Отв. исполн. Вьюнов Ф.Н., Стахович Ф.Д. Змеиногорск, 1949. 185 с.). Опираясь на эту схему, был проведен морфотектонический анализ ее территории, а также геохимическое и изотопно-геохимическое изучение и датирование U-Pb методом по цирконам основных структурообразующих элементов, дополненных реально наблюдаемыми взаимоотношениями метаморфических, гидротермально-метасоматических, эффузивных и субвулканических пород.

Результаты исследования. Большую часть площади структуры рудного поля Змеиногорского месторождения (около 60 %) образует депрессия, нижняя часть которой почти по полному кольцу трассируется руслом р. Змеёвки. На космоснимке местности депрессия проявлена как реликтовая кальдера зонально-кольцевого типа, кратко описанная в работе (Гринёв и др., 2017). Основание депрессии имеет размеры 360×240 м, по периферии она обрамляется приподнятой в рельефе кольцевой зоной с диаметром 800×600 м. Основание и большая часть обрамляющей кольцевой зоны сложены разновеликими тектоническими блоками аргиллитов-известковистой нижнемеловой подсвиты (D_{lower}), образуя структуру типа «разбитой тарелки» с ориентировкой преобладающих нарушений субширотного, север-северо-западного и диагональных (СЗ и СВ) направлений. Глубина депрессии составляет около 80 м.

В структурном плане, судя по типу слоистости и элементам залегания нижнемеловой подсвиты в обрамляющих бортах депрессии, толща образовала здесь антиклинальную структуру, замковая часть которой расположена на северной трети Змеиногорского рудного поля, где располагалось одноименное месторождение барит-полиметаллических руд, а ныне – карьер Большой разнос. В южной и северной частях структуры нижнемеловая подсвита смята в антиклинальные складки субширотного и запад-северо-западного простирания.

Западный фланг кольцевой зоны складывается сложнорасчлененными раннепалеозойскими зелеными сланцами, имеющими с девонскими стратифицированными толщами тектонические контакты. Согласно U-Pb датированию по детритовым цирконам из метапесчаников и кварц-хлорит-серицитовых сланцев основными рубежами формирования цирконов являлись средний-поздний кембрий (~496 млн лет) и поздний рифей (~805 млн лет). Тот факт, что цирконы моложе 450 млн лет не участвуют в формировании осадочных пород, косвенно говорит о нижнепалеозойском воз-

расте накопления осадков, подвергнутых в дальнейшем зеленосланцевому метаморфизму (Семиряков и др., In Press).

Нижнемеловая подсвита основания кальдерообразной депрессии и в меньшей степени обрамляющей кольцевой зоны обильно насыщены пологими субсогласными силловыми и крутонаклонными секущими дайковыми телами риолитов. Определение абсолютного возраста риолитов из западной обрамляющей зоны кальдерной депрессии показало значение конкордантного возраста $389,8 \pm 1,3$ млн лет, что соответствует эйфельскому веку среднего девона (Семиряков и др., 2021).

Обнажающееся в пределах стенок карьера в разной степени подробленные и перемещенные блоки слоистой нижнемеловой подсвиты вмещали линзообразное тело вторичных микрокварцитов, развитых по аргиллитам и глинистым известнякам. Форма в плане Комисского карьера почти в точности повторяет контуры тела микрокварцитов, изображенного на схеме А.А. Гармаша (1960). Гипсометрически наиболее высокое положение в настоящее время в рудном поле занимает южная стенка карьера, сложенная грубослоистыми блоками нижнемеловой подсвиты, пронизанных зоной мощных баритовых жил с обломками вторичных микрокварцитов и вмещающих пород. А в начале разработки месторождения вершина г. Змеиной слагалась коренным выходом выветренных темно-бурых микрокварцитов. Не отработанные до конца периферийные реликты этого тела можно наблюдать и сегодня в блоках нижнемеловой подсвиты карьера.

Микрокварциты сформировались в замковой периклинальной части брахиантиклинали под воздействием внедрения риолитовых расплавов, пронизывающих кальдерную структуру. Об этом свидетельствуют датировка единичного зерна циркона, извлеченного из вторичного кварцита показавшая возраст $388,8 \pm 16$ млн лет, что также соответствует эйфельскому веку среднего девона (Семиряков и др., 2021). Вероятно, данное зерно циркона является реликтом, захваченным метасоматическим раствором из исходной кислой магмы.

Осложненная блоковой тектоникой замковая часть брахиантиклинали с размещенным в ней телом микрокварцитов с южного фланга прорываются штокверковой зоной барита с обильными обломками кремнеобразных микрокварцитов и вмещающих пород. Баритовый цемент складывается как тонко-среднезернистыми агрегатами барита, так и его крупно- и пегматоидными пластинчатыми кристаллами (Гринев и др., 2018; Semiryakov et al., 2019). Штокверк насыщен также барит-сульфидной шлирово-жильной минерализацией медной специализации. Северная приконтактная зона тела микрокварцитов фрагментарно вскрыта в карьере Змеиногорского рудника и представлена в штокверково-жильной зоной барит-галенит-сфалеритовых руд и их брекчиями, не до конца отработанными предшественниками.

Завершающий элемент строения рудного поля представлен толщей тонкоплитчатых и тонкослоистых туфов, туфобрекчий и прослоев лав риолитов, трансгрессивно перекрывающих северную периферию Змеиногорской брахиантиклинали. По-видимому, изначально эта туфовая толща имела площадное развитие, включая внутреннюю и приподнятую зоны кальдерно-кольцевого комплекса, но впоследствии была в значительной степени эродирована. Датирование цирконов из двух проб туфов северной стенки кальдеры характеризуются значениями конкордантного возраста в $378,6 \pm 1,2$ млн лет, что соответствует франскому веку позднего девона (Семиряков и др., 2021).

Завершился магматизм в пределах Змеиногорского рудного поля внедрением даек долеритов, расположенных в основном в пределах приразломной кольцевой зоны кальдеры. Наиболее крупное штокообразное проявление этих даек располагается в краевой запад-северо-западной части тела микрокварцитов, от которого звездообразно на восток, северо-восток, север, запад-северо-запад отходят линейные маломощные дайки, секущие как микрокварциты, так и руды.

Проведенная пошаговая реставрация Змеиногорского рудного поля и U-Pb датирование слагающих его образований позволяют с достаточной полнотой и достоверностью восстановить его купольно-риолитовую вулканотектоническую природу и историю его формирования.

Исследования по определению возраста U-Pb методом по цирконам проводились в лаборатории геохронологии и геодинамики ГГФ ТГУ

Литература

1. Гармаш А.А. Особенности структуры Змеиногорского месторождения на Алтае // Основные вопросы и методы изучения структур рудных полей и месторождений. М.: Геолтехиздат, 1960. С. 566–581.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание 2-е. Серия Алтайская. Лист М-44-XI (Змеиногорск). Объяснительная записка / Составители: О.В. Мурзин [и др.], редактор: Я.М. Гутак. СПб.: Изд-во СПб карт-фабрики ВСЕИ, 2001. 174 с. (МПР РФ, ОАО «Рудно-Алтайская экспедиция»).
3. Гринёв О.М. Историческая ретроспектива и потенциал месторождений Рудного Алтая как источника золота и серебра // Материалы III Всероссийской научной конференции «Петрология магматических и метаморфических комплексов». Томск: Изд-во ТГУ. 2002. С. 44–58. (1)
4. Гринёв О.М. К проблеме оруденелых брекчий и золотоносных кварцитов в рудных полях полиметаллических месторождений Рудного Алтая / О.М. Гринёв, А.С. Семиряков, К.В. Бестемьянова, Р.О. Гринёв // Материалы X Всероссийской петрологической конференции с международным участием «Петрология магматических и метаморфических комплексов». Томск: Изд-во «Томский ЦНТИ», 2018. С. 103–111.
5. Гринёв О.М. К проблеме технологического освоения золото-серебряных барит-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Материалы III Всероссийской научной конференции «Петрология магматических и метаморфических комплексов». Томск: Изд-во ТГУ. 2002. С. 32–43. (2)
6. Гринёв О.М. Морфоструктуры и вещественный состав эмс-раннеэйфельских вулканитов Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) / О.М. Гринёв, К.В. Бестемьянова, Р.О. Гринёв // Материалы IX Всероссийской петрографической конференции с международным участием «Петрология магматических и метаморфических комплексов». Томск: Изд-во Томского ЦНТИ. 2017. С. 118–127.
7. Семиряков А.С. Новые данные U-Pb датирования цирконов зеленых сланцев Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) / А.С. Семиряков, К.В. Бестемьянова, Р.О. Гринёв // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXV Международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. – In Press.
8. Семиряков А.С. Результаты U-Pb датирования вулканоплутонических образований Змеиногорского месторождения (Рудный Алтай) / А.С. Семиряков, К.В. Бестемьянова // Материалы XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования». Том 4. СПб., 2021. С. 90–92.
9. Чекалин В.М. Геолого-генетическая модель Змеиногорского золото-серебро-барит-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) // Руды и металлы. 1996. №6. С. 55–65.
10. Чекалин В.М. Северо-Западный Алтай как родина горнозаводского дела Сибири в прошлом, настоящем и будущем // Международный научно-практический форум Минерально-сырьевая база Сибири: история становления и перспективы, посвященный 100-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири и 90-летию Сибгеолкома. Материалы научно-практической конференции. Том II. История становления Сибирской геологической школы и геологических исследований. Издание 2-е доп. и испр. Томск: Изд-во ТПУ. 2008. С. 541–557.