

УДК 551.24.031(571.150)

Д. Д. Секерина, А. С. Егоров (СПГУ)

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ, ГЕОТЕКТОНИЧЕСКОЙ ПОЗИЦИИ И ЭВОЛЮЦИОННОЙ ИСТОРИИ ЗМЕИНОГОРСКО-БЫСТРУШИНСКОГО ПРОГИБА РУДНОГО АЛТАЯ

В данной статье обоснованы особенности глубинного строения и последовательность проявления геодинамических обстановок Рудного Алтая, определяющих закономерности локализации эндогенного колчеданно-полиметаллического оруденения. Для решения поставленной задачи на региональном уровне выполнена интерпретация комплекса геолого-геофизических данных (дистанционные основы, цифровые модели потенциальных полей, геофизические разрезы разных типов, в том числе данные сейсморазведки ГСЗ-МОВЗ по геотраверсу «Базальт»). При выполнении детальных палеорекоstructions в пределах Змеиногорско-Быструшинского прогиба использованы данные локальной сейсморазведки. Историко-эволюционная модель развития региона представлена в форме набора палеоразрезов, отражающих изменения структурных и вещественных параметров на основных стадиях эволюционного развития региона в геодинамических обстановках активной континентальной окраины и складчато-надвигового пояса коллизионного орогена.

Ключевые слова: палеорекоstructions, тектоническое районирование, геодинамические обстановки.

D. D. Sekerina, A. S. Egorov (SPMU)

FEATURES OF THE DEEP STRUCTURE, GEOTECTONIC POSITION, AND EVOLUTIONARY HISTORY OF THE ZMEINOGORSK-BYSTRUSHINSKY TROUGH OF RUDNY ALTAI

This article substantiates the deep structure features and the sequence of manifestation of the geodynamic settings of Rudny Altai, which determine the distribution patterns of endogenous pyrite-polymetallic mineralization. To solve the issue at the regional level, a body of geological and geophysical data was interpreted (remote sensing maps, digital models of potential fields, geophysical sections of various types, including seismic data from the WAR geotraverse "Basalt"). When performing detailed paleoreconstructions within the Zmeinogorsk-Bystrushinsky trough, local seismic data were used. The evolutionary development model of the region is presented in the form of a set of paleosections reflecting changes in structural and material parameters at the main stages of the evolutionary development of the region in the geodynamic settings of the active continental margin and the fold-thrust belt of the collision orogen.

Keywords: paleoreconstructions, tectonic zoning, geodynamic settings.

Для цитирования: Секерина Д. Д., Егоров А. С. Особенности глубинного строения, геотектонической позиции и эволюционной истории Змеиногорско-Быструшинского прогиба Рудного Алтая // Региональная геология и металлогения. – 2024. – № 97. – С. 17–26.

Введение. Актуальной задачей исследований Рудного Алтая является выявление закономерностей локализации колчеданно-полиметаллического оруденения [24] с обоснованием новых прогнозных критериев. Геотектоническая интерпретация комплекса геолого-геофизических данных этого региона рассматривается нами как один из главных инструментов, позволяющих выявить прогнозные критерии и закономерности рудоформирования.

В соответствии с современными представлениями формирование колчеданно-полиметаллического оруденения Рудного Алтая связывается

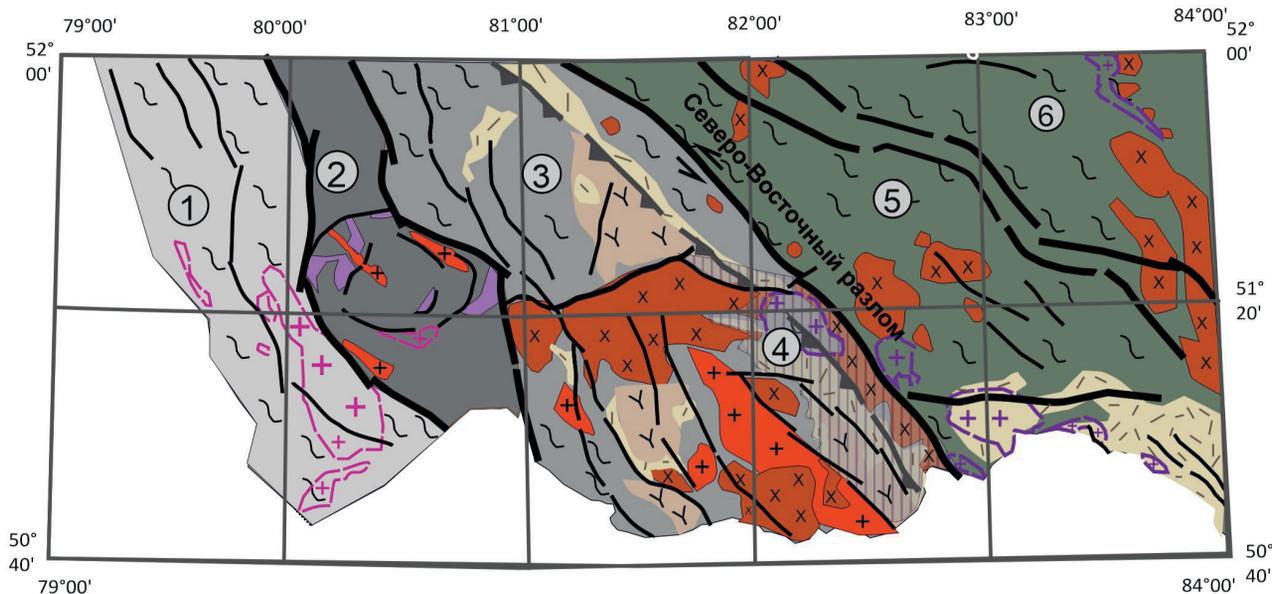
с геодинамической обстановкой активной континентальной окраины, развивавшейся в девонское время вдоль границы Палеоазиатского океана [1]. При моделировании структур активной континентальной окраины основное внимание было уделено моделированию структурно-вещественных неоднородностей вулканоплутонического пояса [16] и тыловодужной рифтогенной впадины.

В пределах детально изучаемого нами Змеиногорско-Быструшинского прогиба проявляются две фазы формирования структур активной континентальной окраины: I фаза – рифтогенная (D₁₋₂), сопровождавшаяся проявлением бимодальной

базальт-риолитовой и габбро-плагиигранитовой формаций [14]; II фаза – субдукционная (D_{2-3}), характеризовавшаяся проявлением вулканигов (базальт-дацит-риолитового состава) и габбро-гранодиорит-гранитовых интрузий [16]. В позднем девоне – среднем карбоне происходит еще одно важное событие, оказавшее влияние на характер локализации колчеданно-полиметаллического оруденения Рудного Алтая – переход от режима активной континентальной окраины к коллизионному орогенезу. Коллизия вызвана сближением и последующим столкновением Казахстанского и Сибирского палеоконтинентов с закрытием Палеоазиатского океана [21]. Коллизионные события характеризуются развитием складчато-надвиговых дислокаций и внедрением гранитоидных батолитов. В пределах Змеиногорско-Быструшинского прогиба складчато-надвиговые дислокации проявляются только в западной и центральной зонах; восточный фланг практически не затронут герцинскими коллизионными процессами.

Методика исследований. Приведенная тектоническая схема (рис. 1) отражает положение основных геоструктур Рудного Алтая и расположение опорного геофизического профиля.

Для моделирования структур земной коры региона авторами сформирован рабочий банк геолого-геофизических данных, включающий цифровые модели (ЦМ) разнообразных геологических, геофизических и дистанционных карт и разрезов. ЦМ потенциальных полей подвергались различного вида преобразованиям с расчетом трансформаций (вертикальные и горизонтальные производные, осреднение в скользящем окне, разложение полей на составляющие [2; 22; 27]) с использованием таких программных комплексов, как КОСКАД 3D, Surfer, Oasis Montaj и др. [13]. Применение алгоритма спектрального разложения полей позволило исключить помехи, искажающие полезные сигналы, и изучить закономерности локализации аномальных источников на разных глубинах [29]. На основе последовательного сопоставления



Структурно-формационные зоны:

- | | |
|----------------------|-------------------------------------|
| ① Калба-Нарымская | ④ Змеиногорско-Быструшинский прогиб |
| ② Иртышская сутурная | ⑤ Горно-Алтайская |
| ③ Рудно-Алтайская | ⑥ Чарышко-Талицкая |



Рис. 1. Обзорная тектоническая схема Рудного Алтая с положением профиля геотраверса ГСЗ-МОВЗ «Базальт» [8; 30]

1, 2 – консолидированные структуры: 1 – ареалы проявления позднекаледонского орогенеза, 2 – ареалы проявления герцинского орогенеза; 3–9 – структурно-вещественные подразделения: 3 – офиолиты (D_1), 4–6 – комплексы активной континентальной окраины: 4 – рифтогенные (бимодальные базальт-риолитовые, риолит-риодацитовые формации D_{1-2}), 5, 6 – вулканоплутонических поясов (5 – базальт-дацит-риолитовая формация (D_{2-3}), 6 – габбро-гранодиорит-гранитовая формация D_3), 7 – коллизионные интрузивные формации (габбро-гранит-лейкограниты C_{1-3}), 8, 9 – постколлизионные интрузивные формации (8 – гранитовая P_1 , 9 – плюмазит-гранитовая T_1); 10–12 – прочие обозначения: 10 – контур Змеиногорско-Быструшинского прогиба, 11 – геотраверс ГСЗ-МОВЗ «Базальт»; 12 – границы и разрывные нарушения (а – главные разрывные нарушения, б – фронтальная зона проявления герцинских коллизионных орогенных процессов, в – второстепенные разрывные нарушения)

трансформант с исходными геологическими картами выявлены наиболее информативные способы обработки полей [10], которые в дальнейшем вовлекались в технологическую схему обработки и интерпретации геофизических данных. Критерием информативности являлось контрастирование аномального проявления блоков и межблоковых зон, ареалов проявления комплексов активной континентальной окраины, разрывных нарушений, отдельных геологических границ.

На стадии качественной интерпретации геофизических полей выполнен картографический анализ охарактеризованных выше трансформаций и карт «структурного анализа полей», построенных с использованием алгоритмов распознавания образов с обучением и без обучения [11; 15]. Этими средствами выполнено моделирование контуров блоков (палеоплит) с корой континентального типа и межблоковых (сутурных) зон [14], а также границ структурно-вещественных подразделений, сформированных в разнотипных геодинамических обстановках [12].

Разрезы земной коры региона построены в сечении сейсмических профилей с привлечением результатов решения обратных задач гравитационного и аномального магнитного полей. На разрезе, построенном вдоль профиля ГСЗ-МОВЗ «Базальт», удалось выделить основные горизонтальные границы, оценить параметры структур рифтогенного Змеиногорско-Быструшинского прогиба и неоднородности земной коры вулканоплутонического пояса Рудного Алтая [7]. Разрывные нарушения ранжированы по глубинности проявления и роли в формировании доминирующих структур земной коры (I ранга – глубинные границы блоков и межблоковых (сутурных) зон, складчато-надвиговых поясов и рифтогенных структур; II ранга – верхнекоровые разрывные нарушения, заложенные в условиях активной континентальной окраины и коллизийного орогенеза).

Палеорекострукции представлены в форме разрезов, отражающих изменения особенностей глубинного строения литосферы Рудного Алтая на основных этапах ее эволюции. Моделирование литосферы выполнено в рамках «радиально-зональной модели» [6]. Рассматриваемое сечение пересекает структуры герцинского и каледонского складчатого обрамления Сибирского палеоконтинента в направлении с запада на восток (рис. 2).

Первый разрез (рис. 2, а), отвечающий геологическим событиям раннего–среднего девона, отражает начальный цикл развития активной континентальной окраины Сибирского палеоконтинента. Положение зоны субдукции маркируется офиолитами раннедевонского возраста Иртышской (Иртыш-Зайсанской) зоны [8; 21].

В пределах западной и центральной частей Рудного Алтая развиваются ранне-среднедевонские комплексы вулканоплутонического пояса. Они перекрывают более древние флишевые и флишоидные отложения пассивной континентальной окраины. Над погружающейся океанической плитой предполагается развитие многочисленных

промежуточных магматических очагов; в разрезе верхней коры происходит формирование интрузивных массивов гранитоидного состава. В условиях общего сжатия закладывается система надвиговых и сдвиговых дислокаций.

Змеиногорско-Быструшинский прогиб в это время развивается в геодинамической обстановке тылового рифтогенеза. Исследователи этого региона выделяют две фазы формирования рифтогенных вулканитов [14]. На первой фазе формируются комплексы бимодальной серии базальт-риолитового состава, на второй – риолит-риодациты [14]. К завершающему этапу рифтогенеза приурочено внедрение интрузий габбро-плагиогранитов [17]. Последние являются продуктами плавления амфиболитового субстрата и локализуются вдоль разломных зон [9]. Отмечается генетическое сходство и комагматичность плагиогранитов с субвулканическими риолитами [14].

Колчеданно-полиметаллическое оруденение Рудного Алтая рассматривается многими авторами [5; 14; 16; 20] как вулканогенное, гидротермально-осадочное. Механизм рудообразования для данного типа оруденения связан с порфиоровыми интрузивными комплексами, которые выступают в качестве катализаторов развития гидротермально-рециклинговых систем на завершающей стадии вулканического цикла [14; 16; 24]. В качестве аналоговых структур в зарубежных исследованиях приводятся примеры колчеданно-полиметаллических месторождений типа Куроко [24].

Второй разрез (рис. 2, б) также описывает процессы, протекавшие в среднем–позднем девоне в обстановке активной континентальной окраины. Однако расширение ареала развития базальт-дацит-риолитовых комплексов и гранодиорит-гранитовых интрузивных массивов вулканоплутонического пояса в восточном направлении свидетельствует, скорее всего, о более пологом погружении субдукционной зоны в сравнении с предыдущим этапом. Этим обстоятельством объясняется прорывание гранитоидами змеиногорского комплекса ранее сформированных (D_2) рифтогенных образований. С этим этапом также связывается образование колчеданно-полиметаллического оруденения. Рудовмещающими для оруденения являются вулканогенно-осадочные породы базальт-риолитовой кремнисто-терригенной формации [3].

Третий разрез (рис. 2, в) отражает проявление процессов в условиях ранне-позднекарбоневой аккреции Сибирского и Казахстанского палеоконтинентов в условиях закрытия Палеоазиатского океана [4; 29]. На этом этапе происходит внедрение интрузивов каменноугольного возраста и заложение системы складчато-надвиговых дислокаций [23]. Эти надвиговые деформации преимущественно восточной вергентности моделируются нами в пределах Рудного Алтая от Иртыш-Зайсанской зоны на западе вплоть до Змеиногорско-Быструшинского прогиба на востоке.

Развитие структур Рудного Алтая на постколлизийном этапе связано с внедрением гранитов (P_1) и плюмазит-гранитов (T_1), контрастно прояв-

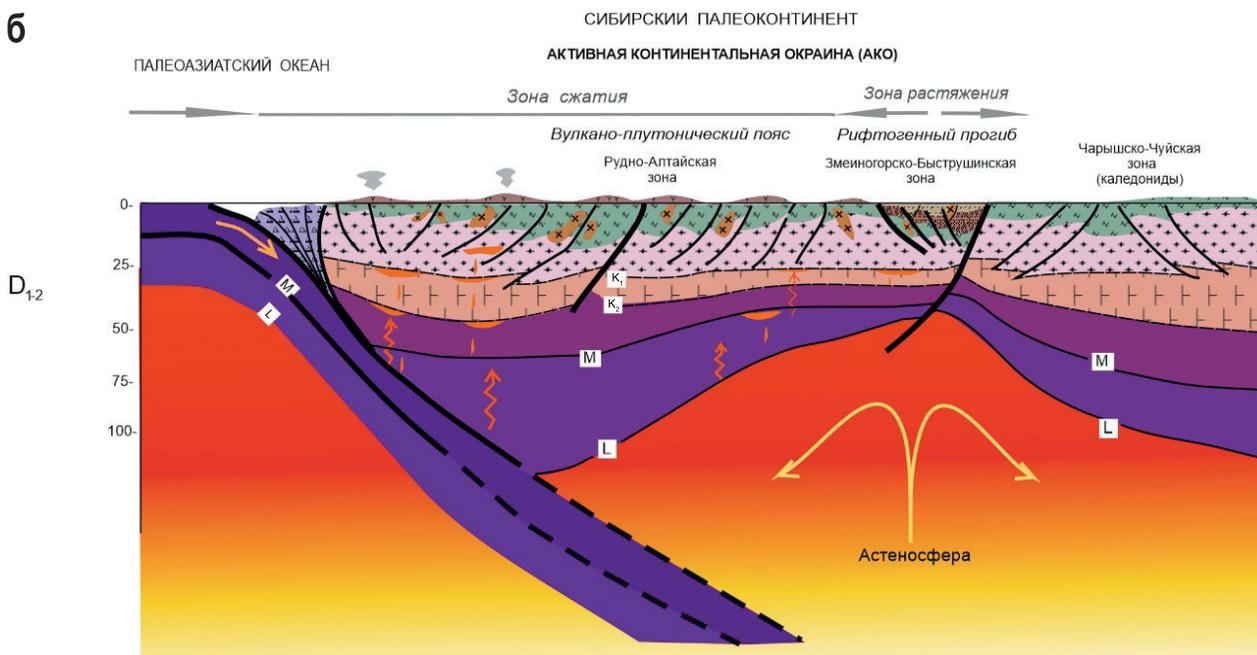
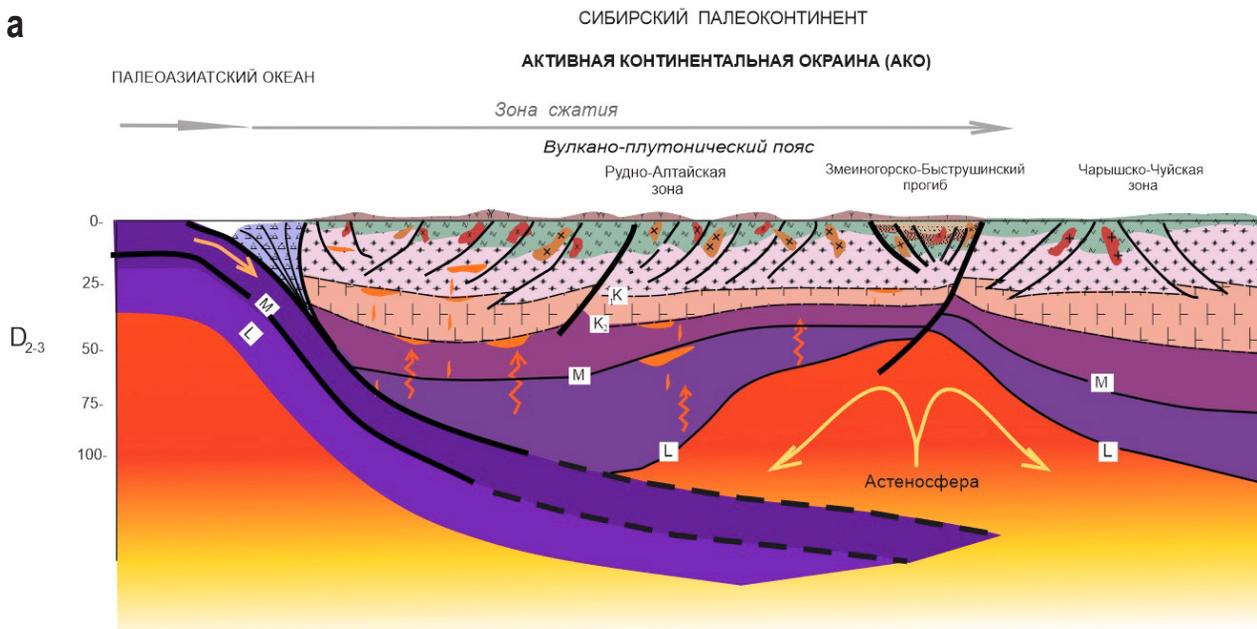
ляющихся в гравитационном и магнитном полях и таким образом осложняющих моделирование рудовмещающих структур в пределах перспективных площадей.

С учетом высокой прогностической значимости рассмотренных выше структур вулканоплутонического пояса и рифтогенного тыловодужного прогиба их проявление наиболее детально исследовано нами на площади Змеиногорско-Быструшинского прогиба (рис. 3). Восточной границей рифтогенного прогиба является Северо-Восточный разлом [5]. Последний контрастно проявлен на исходном сейсморазведочном разрезе и инверсионных гравиметрических и магнитометрических моделях [25]. Западная граница прогиба также

имеет глубинное заложение и сбросовую кинематику [30].

Расшифровка строения внутренних неоднородностей прогиба, включая изучение морфологии вулканогенно-осадочных комплексов и разновозрастных интрузивных массивов, выполнена нами по результатам комплексной интерпретации разрезов, рассчитанных методами решения обратных задач гравитационного и магнитного полей. Для определения вергентности разломов, оказавших влияние на формирование скрытого оруденения, нами использовались данные геологического картирования крупного масштаба [25].

Палеореконструкции разрезов Змеиногорско-Быструшинского прогиба характеризуют главные



этапы активной континентальной окраины Сибирского палеоконтинента и начальный этап коллизии (D₃-C) Казахстанского [28] и Сибирского палеоконтинентов [23].

Первый разрез (рис. 3, а) отражает события, протекавшие в раннем–среднем девоне в пределах Змеиногорско-Быструшинского прогиба в обстановке тыловодужного рифтогенеза активной континентальной окраины. На данной стадии происходит излияние щелочно-базальтовых магм из мантийного источника. На начальной фазе сформированы вулканы бимодальной базальт-дацит-риолитовой серии [19]. На завершающей фазе формировались вулканы дацит-риолитового состава суммарной мощностью до 1,5 км и прои-

зошло внедрение плагиогранитов (D₂). В ходе этого процесса поступающее флюидное вещество сформировало колчеданно-полиметаллическое оруденение в форме вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд [14]. Главные рудовмещающие формации локализуются на глубинах до 3 км.

На *втором разрезе* (рис. 3, б) отображается формирование в пределах прогиба комплексов активной континентальной окраины. В этот период происходит излияние вулканических комплексов базальт-андезит-риолитовой формации и внедрение позднедевонских змеиногорских гранитов [26], прорывающих структуры более раннего возраста [18].

В

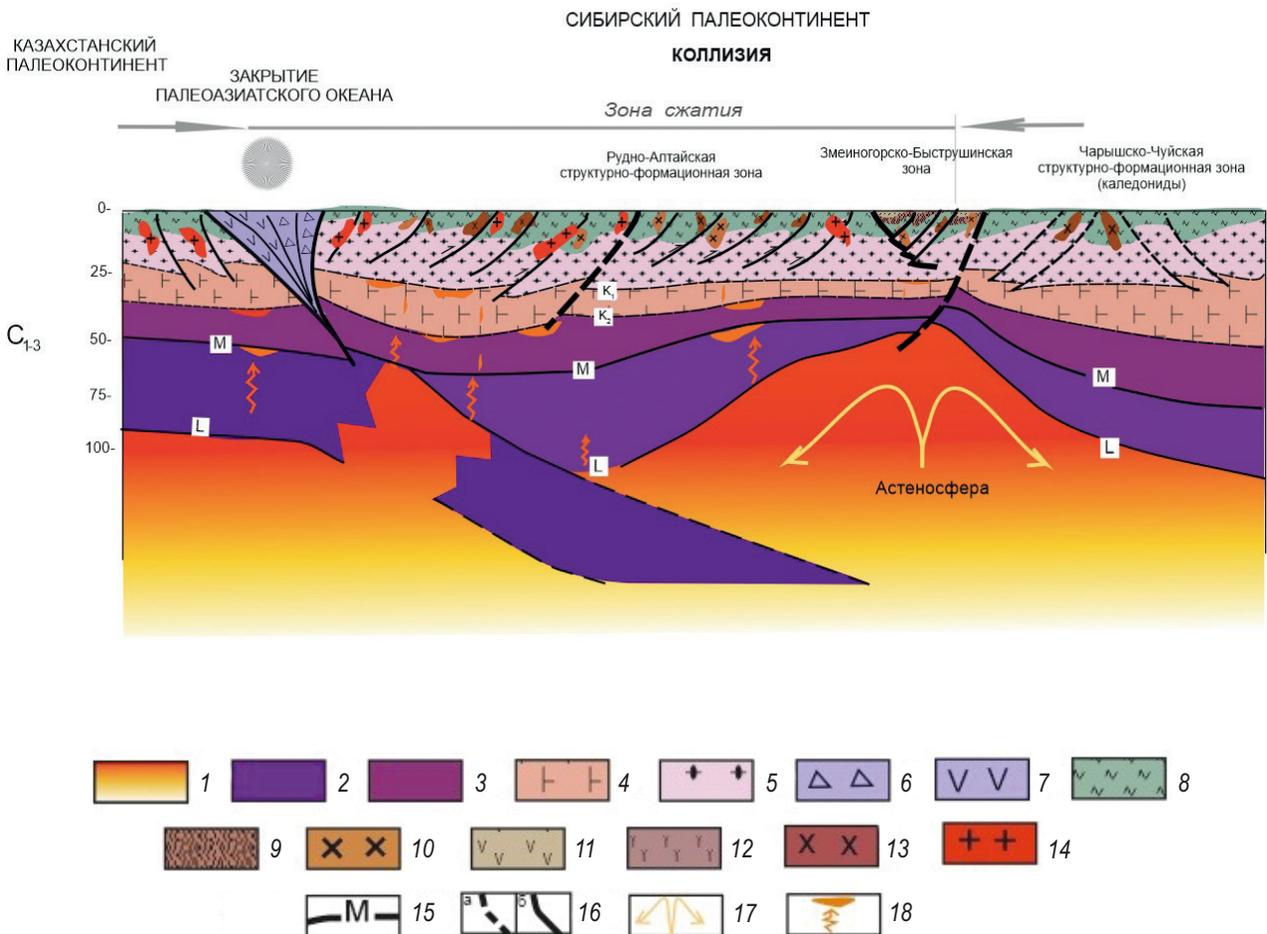


Рис. 2. Развитие структур земной коры Рудного Алтая в ходе: а – начального цикла активной континентальной окраины (D₁₋₂), б – завершающего цикла активной континентальной окраины (D₂₋₃), в – коллизийного орогенеза (C₁₋₃)

1–14 – структурно-вещественные подразделения: 1 – астеносфера, 2 – литосферная мантия, 3 – нижняя кора, 4 – средняя кора, 5 – гранитогнейсовый слой (верхняя кора), 6 – комплексы аккреционной призмы, 7 – комплексы островной дуги, 8 – осадки пассивной континентальной окраины, 9–13 – комплексы активной континентальной окраины (9 – бимодальная базальт-риолитовая рифтогенная формация (D₁₋₂), 10 – интрузивные плагиограниты рифтогенные (D₂), 11 – базальт-дацит-риолитовая формация вулканоплутонического пояса (ВПП) (D₂₋₃), 12 – вулканы риолитового состава ВПП (D₂₋₃), 13 – габбро-гранодиорит-гранитовая формация ВПП (D₃), 14 – коллизионные гранитоиды (C₁); прочие обозначения: 15 – границы радиальной расслоенности земной коры, в том числе K₁ – подошва верхней коры, K₂ – подошва средней коры, М – граница Мохоровичича, подошва литосферы; 16 – разрывные нарушения (а – более древние, б – сформированные на рассматриваемом этапе эволюции); 17 – мантийный плюм; 18 – направления тепло-массопереноса и промежуточные магматические очаги

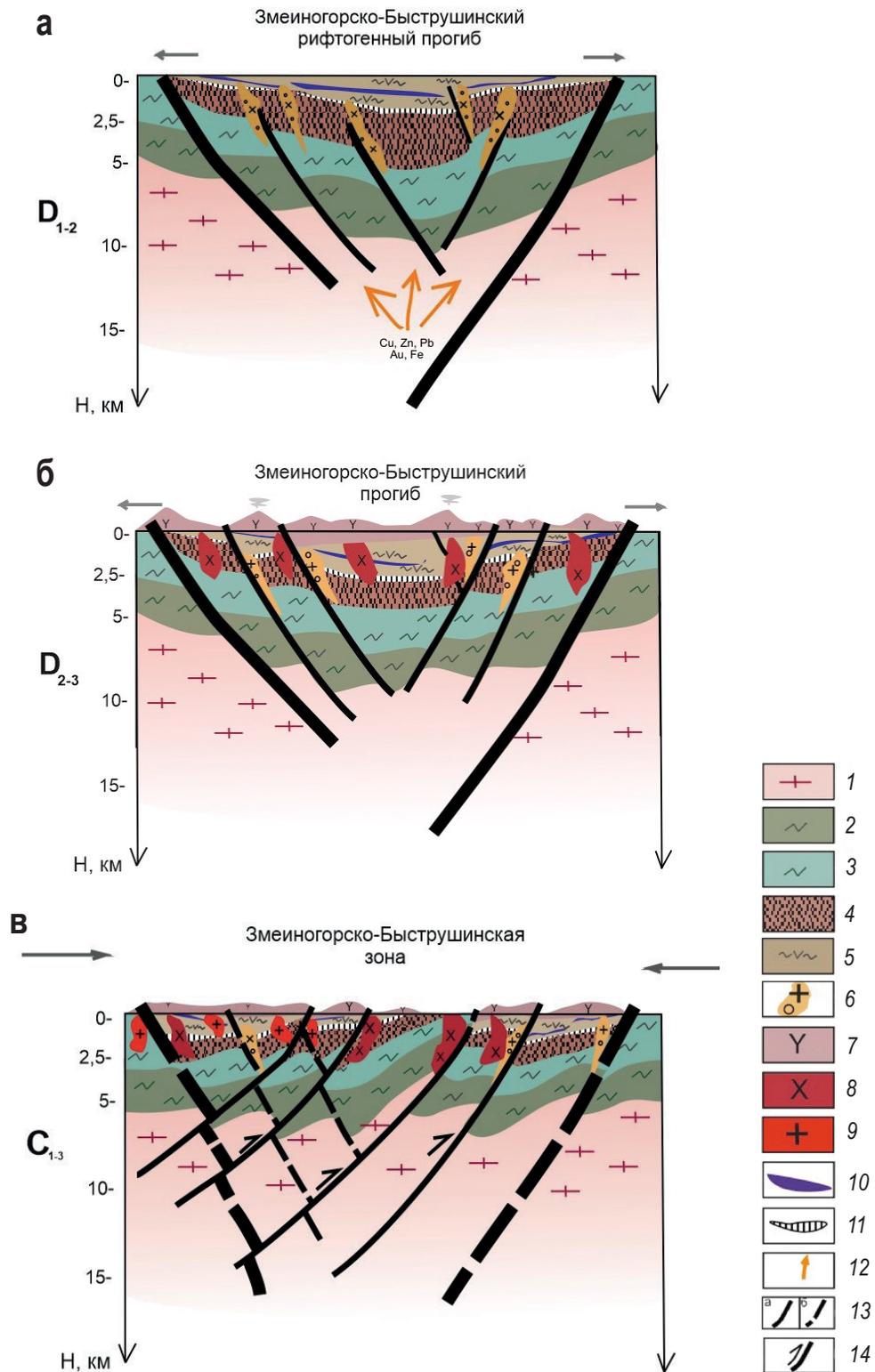


Рис. 3. Развитие структурно-вещественных подразделений верхней коры Змеиногорско-Быструшинского прогиба в ходе: а – начального цикла активной континентальной окраины (D_{1-2}), б – завершающего цикла активной континентальной окраины (D_{2-3}), в – коллизионного орогенеза (C_{1-3})

1–11 – структурно-вещественные подразделения: 1 – гранитогнейсовый слой (верхняя кора), 2, 3 – комплексы пассивной континентальной окраины (2 – терригенно-карбонатные, 3 – флиш); 4–6 – комплексы задугового рифтогенного прогиба (4 – бимодальная базальт-риолитовая рифтогенная формация D_{1-2} , 5 – базальт-дацит-риолитовая формация вулcano-плутонического пояса (ВПП) D_{2-3} , 6 – плагиогранитовые интрузии D_{1-2}); 7, 8 – комплексы вулcano-плутонического пояса (7 – вулканы риолитового состава D_{2-3} , 8 – габбро-гранодиорит-гранитовая формация D_3); 9 – коллизионные гранитоиды C_1 ; 10, 11 – рудные формации (10 – сплошные колчедано-полиметаллические руды, 11 – прожилково-вкрапленные руды); 12 – направление движения рудоносных флюидов; 13, 14 – разрывные нарушения (направление надвигов, 13 – разрывные нарушения разных морфокинематических типов (а – формирование отвечает рассматриваемому этапу, б – сформированные на более ранних стадиях эволюции), 14 – направления надвиговых деформаций)

Третий разрез (рис. 3, в) демонстрирует смену режима активной континентальной окраины на коллизионную обстановку, которая оказала контрастное деформационное воздействие на современный облик Рудного Алтая. Коллизия проявлена в виде надвиговых дислокаций, которые привели к выведению на дневную поверхность ранне-среднепалеозойских комплексов пассивной континентальной окраины. На этом этапе заложены крупные плутоны каменноугольных гранитов (С₁) [14].

Таким образом, историко-эволюционные схемы, построенные нами по результатам обработки и интерпретации комплекса геолого-геофизических данных, позволяют выявить закономерности локализации колчеданно-полиметаллического оруденения и будут использованы для разработки генетической модели рудоформирования в части моделирования особенностей миграции рудоносного вещества, необходимого для образования оруденения в вулканогенно-осадочных комплексах Змеиногорско-Быструшинского прогиба.

Заключение. Представленная в статье историко-эволюционная модель Рудного Алтая была создана для решения задачи обоснования новых критериев рудоносности в пределах Змеиногорско-Быструшинского прогиба, она организована на двух разномасштабных уровнях в форме двух наборов палеоразрезов.

Региональные палеоразрезы показывают изменение структурных и вещественных параметров разреза земной коры вдоль субширотного сечения в ходе главных геодинамических процессов каледонского и герцинского тектоно-магматических циклов.

Обстановка активной континентальной окраины в раннем–среднем девоне характеризовалась заложением на древнем континентальном основании Рудного Алтая образований вулканоплутонического пояса; на восточном фланге активной окраины в обстановке задугового рифтогенеза заложен Змеиногорско-Быструшинский рифтогенный прогиб (D₁₋₃).

В среднем–позднем девоне мы предполагаем уменьшение угла наклона субдукционной зоны, что привело к расширению ареала развития вулканоплутонического пояса, образования восточного фланга которого перекрывают ранее сформированный рифтогенный прогиб. Соответствующая палеорекострукция показывает развитие в пределах Змеиногорско-Быструшинского прогиба вулканогенных комплексов базальт-риолитового состава, к которым, предположительно, приурочено оруденение и внедрение гранитоидных батолитов. Вулканогенно-осадочные комплексы для Рудно-Алтайской минерагенической зоны выступают в роли вмещающих пород, которые контролируют развитие ареалов колчеданно-полиметаллического оруденения. Внедрение интрузивов на данном этапе является осложняющим фактором для геолого-структурных построений, разработки новых

критериев оруденения и выявления перспективных структур.

Третий палеоразрез характеризует коллизионный этап развития региона, обусловленный сближением и последующим столкновением Сибирского и Казахстанского палеоконтинентов. Место закрытия Палеоазиатского океана маркируется Иртыш-Зайсанской сутурной зоной. В пределах Рудного Алтая коллизия континентов сопровождается заложением складчато-надвигового пояса [8]. Коллизионные деформации (С₁) существенно осложняют и камуфлируют проявления скрытого и слабо проявленного колчеданно-полиметаллического оруденения.

Палеоразрезы, составленные для Змеиногорско-Быструшинского прогиба на более детальном уровне, показывают:

- проявление двух фаз ранне-среднедевонского рифтогенеза с формированием бимодальной базальт-риолитовой формации и внедрением интрузивов;
- на средне-позднедевонском этапе произошло активное внедрение гранитоидных батолитов;
- коллизионные процессы девона – среднего карбона привели к заложению надвиговых деформаций, искаживших характер заложения рудовмещающих формаций и проявление прожилково-вкрапленного колчеданно-полиметаллического оруденения.

Таким образом, наибольший интерес для прогноза зон локализации скрытого колчеданно-полиметаллического оруденения представляют две обстановки: вулканоплутонического пояса и рифтогенного прогиба активной континентальной окраины. Обстановки активной континентальной окраины и коллизионного орогенеза имеют характерные проявления в разрывной тектонике и морфологии главных структурно-вещественных подразделений. В качестве вмещающих формаций для скрытого оруденения выступают вулканогенно-осадочные комплексы, которые идентифицируются в пределах Змеиногорско-Быструшинского прогиба на глубине до 3 км. Исходя из этого, дальнейшие прогнозные построения стоит выполнять на более детальном уровне до средних глубин 3–5 км.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас «Опорные геолого-геофизические профили России». Глубинные сейсмические разрезы по профилям ГСЗ, отработанным в период с 1972 по 1995 год. – URL: <https://vsegei.ru/ru/info/seismic/> (дата обращения: 05.05.2023).
2. Балк П. И., Долгаль А. С. Аддитивные методы решения обратных задач гравиразведки и магниторазведки // Научный мир. – М., 2020. – 456 с.
3. Волков В. В. Проблемы плитной тектоники в региональной геологии Алтае-Саянской складчатой области // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 54. – С. 38–44.
4. Геодинамика палеозойских океанов Центральной Азии / А. Н. Диденко, А. А. Моссаковский, Д. М. Печерский, С. В. Руженцев, С. Г. Самыгин, Т. Н. Хераскова // Геология и геофизика. – 1994. – Т. 35 (7–8). – С. 59–75.

5. Геологический отчет о работах по составлению и подготовке к изданию комплекта Государственной геологической карты масштаба 1 : 200 000 на Змеиногорской площади, листы М-44-Х, М-44-ХІ (Российская часть) в 1996–2000 гг. / О. В. Мурзин, В. И. Горшечников, В. М. Чекалин и др. – АлтФ ФБУ «ТФГИ по СФО», 2001.
6. Глубинное строение, тектоника и геодинамика Охотоморского региона и структур его складчатого обрамления / А. С. Егоров, Н. В. Большакова, Д. Ф. Калинин, А. С. Агеев // Записки Горного института. – 2022. – Т. 257. – С. 703–719.
7. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Горно-Алтайская. Лист М-44-IV (Рубцовск). Объяснительная записка / С. И. Федак, Ю. А. Туркин, П. Ф. Селин и др. – М. : Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2019.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-44 – Рубцовск. Объяснительная записка / Н. И. Гусев, Ю. Е. Вовшин, А. А. Круглова, М. Г. Пушкин и др. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 415 с.
9. Гусев А. И. Петрология плагиогранитоидов выдрихинского комплекса Салаира // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 2. – С. 65–70.
10. Данильев С. М., Данильева Н. А., Большакова Н. В. Обследование уплотненных отвалов вскрышных пород Кировского рудника методами инженерной геофизики // Материалы 17-й научной практической конференции и выставки. – М., 2021. – С. 86.
11. Духанин А. С., Алексеев С. Г., Сенчина Н. П. Структура струйных ореолов рассеяния глубокозалегающих месторождений Рудного Алтая // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 80. – С. 75–94.
12. Егоров А. С. Особенности глубинного строения и вещественного состава геоструктур земной коры континентальной части территории России // Записки Горного института. – 2015. – Т. 216. – С. 13–30.
13. Егоров А. С., Мовчан И. Б. Комплексование геофизических методов: учебное пособие. – СПб. : Санкт-Петербургский горный ун-т, 2018. – 116 с.
14. К проблеме формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая / Б. А. Дьячков, М. А. Мизерная, А. П. Пяткова и др. // Отечественная геология. – 2021. – № 5. – С. 3–16.
15. Кашин С. В., Молчанов А. В., Шатов В. В. Гидротермально-метасоматические формации регионального распространения и их использование для прогнозирования скрытого колчеданно-полиметаллического оруднения (на примере Змеиногорского рудного района, Рудный Алтай) // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 56. – С. 65–77.
16. Кисин А. Ю. Общековровая складчатость и горообразование // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2009. – Т. 151, кн. 3. – С. 216–228.
17. Легенда Алтайской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Изд. 2-е. Объяснительная записка / гл. ред. С. П. Шокальский. – ФГУ АлтТФГИ, 1999.
18. Мезозойская тектонотермальная активизация и эпитептермальное золотое оруденение в Северо-Восточном Горном Алтае / Н. И. Гусев, А. И. Гусев, С. П. Шокальский, С. В. Кашин, А. Н. Ларионов, Е. В. Толмачева // Региональная геология и металлогения. – 2014. – № 57. – С. 49–61.
19. Надсубдукционные плагиограниты Рудного Алтая: возраст и особенности состава / М. Л. Куйбида, Н. Н. Крук, С. П. Шокальский, Н. И. Гусев, О. В. Мурзин // Докл. РАН. – 2015. – Т. 464, № 3. – С. 1–6.
20. Обь-Зайсанская, Алтае-Саянская и Восточно-Саяно-Енисейская покровно-складчатые области: основные особенности тектонического развития / Г. С. Гусев, Н. В. Межеловский, А. Ф. Морозов, В. А. Килипко, О. Н. Сироткина // Региональная геология и металлогения. – 2017. – № 72. – С. 26–41.
21. Особенности 2D- и 3D-интерпретации аномалий потенциальных полей / С. Г. Алексеев, С. А. Козлов, М. Б. Штокаленко, В. Е. Смирнов // Записки Горного института. – 2011. – Т. 194. – С. 128–131.
22. Петров Д. А. Особенности структуры руд Рубцовского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) // Записки Горного института. – 2006. – Т. 167 (2). – С. 40–42.
23. Потенциальная нефтегазоносность Западно-Камчатского побережья и ее связь со структурно-тектоническим строением Охотоморского региона по геофизическим данным / Д. Ф. Калинин, А. С. Егоров, Н. В. Большакова // Вестник Камчатской региональной организации. Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. – 2022. – № 1 (53). – С. 59–75.
24. Секерина Д. Д., Дергилова Е. А., Егоров А. С. Закономерности локализации структур каледонского и герцинского орогенеза Рудного Алтая // Региональная геология и металлогения. – 2023. – № 93. – С. 52–62.
25. Сенчина Н. П. Деконволюция Эйлера в интерпретации данных потенциальных полей Казанско-Кажимского авлакогена // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 11 (113). – С. 7–13.
26. Серавина Т. В., Кузнецова С. В., Филатова Л. К. Особенности вещественного состава вмещающих пород и руд Лазурского рудного поля (Змеиногорский рудный район, Рудноалтайская минерагеническая зона) // Отечественная геология. – 2021. – № 3–4. – С. 36–47.
27. Туркин Ю. А., Новоселов К. Л. Петролого-геохимические особенности девонских гранитоидов северо-западной части Рудного Алтая // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2012. – Т. 321, № 1. – С. 5–15.
28. Хромых С. В. Базитовый и сопряженный гранитоидный магматизм как отражение стадий развития Алтайской аккреционно-коллизонной системы (восточный Казахстан) // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63, № 3. – С. 330–355.
29. Alekseev V. I. Deep structure and geodynamic conditions of granitoid magmatism in the Eastern Russia // Journal of Mining Institute. – 2020. – Vol. 243. – Pp. 259–265.
30. Early assessment of seismic hazard in terms of voronezh massif-moscow depression contact / I. Movchan, A. Yakovleva, A. Movchan, Z. Shaygallyamova // Min. Miner. Depos. – 2021. – No. 15. – Pp. 62–70.

REFERENCES

1. Atlas «Opornye geologo-geofizicheskie profili Rossii». Glubinnye seysmicheskie razrezy po profilyam GSZ, otrabotannym v period s 1972 po 1995 [Electronic edition Atlas Basic geological and geophysical profiles of Russia[®]. Deep seismic sections according to the profiles of the GSZ, worked out in the period from 1972 to 1995]. URL: <https://vsegei.ru/ru/info/seismic///> (05.05.2023).
2. Balk P. I., Dolgal' A. S. Additivnye metody resheniya obratnykh zadach gravirazvedki i magnitorazvedki [Additive methods for solving inverse problems gravity and magnetic exploration]. *Nauchnyy mir*. Moscow, 2020, 456 p.
3. Volkov V. V. Problemy plitnoy tektoniki v regional'noy geologii Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti [Problems of plate tectonics in the regional geology of the Altai-Sayan folded region]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2013, no. 54, pp. 38–44.
4. Didenko A. N., Mossakovsky A. A., Pechersky D. M., Ruzhentsev S. V., Samygin S. G., Kheraskovat T. N. Geodynamika paleozoyskikh okeanov Tsentral'noy Azii [Geodynamics of the Paleozoic oceans of Central Asia]. *Geologiya i geofizika*, 1994, vol. 35 (7–8), pp. 59–75.

5. Geologicheskii otchet o rabotakh po sostavleniyu i podgotovke k izdaniyu kompleksa Gosudarstvennoy geologicheskoy karty masshtaba 1 : 200 000 na Zmeinogorskoj ploshchadi, listy M-44-X, M-44-XI (Rossiyskaya chast') v 1996–2000 [Geological report on the work on the compilation and preparation for publication of a set of the State Geological Map on a scale of 1 : 200 000 on Zmeinogorskaya Square, sheets M-44-X, M-44-XI (Russian part) in 1996–2000]. O. V. Murzin, V. I. Gorshechnikov, V. M. Chekalin et al. AltF FBU «TFGI po SFO», 2001.
6. Egorov A. S., Bol'shakova N. V., Kalinin D. F., Ageev A. S. Glubinnoe stroenie, tektonika i geodinamika Okhotomorskogo regiona i struktur ego skladchatogo obramleniya [Deep structure, tectonics and geodynamics of the Okhotsk Sea region and structures of its folded frame]. *Zapiski Gornogo instituta*, 2022, vol. 257, pp. 703–719.
7. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii mashtaba 1 : 200 000. Izdanie vtoroe. Seriya Gorno-Altayskaya. List M-44-IV (Rubtsovsk). Ob'yasnitel'naya zapiska [The State geological map of the Russian Federation on a scale of 1 : 200 000. The second edition. Gorno-Altayskaya series. Sheet M-44-IV (Rubtsovsk). Explanatory note]. Ed. by S. I. Fedak, Yu. A. Turkin, P. F. Selin et al. Moscow, Moskovskiy filial FGBU «VSEGEI», 2019.
8. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Mashtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List M-44 – Rubtsovsk. Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Altai-Sayan series. Sheet M-44 – Rubtsovsk. Explanatory note]. Ed. by N. I. Gusev, Yu. E. Vovshin, A. A. Kruglova, M. G. Pushkin et al. St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2015, 415 p.
9. Gusev A. I. Petrologiya plagiogranitoidov vydrizhinskogo kompleksa Salaira [Petrology of plagiogranitoids of the Vydrizhinsky Salair complex]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2014, no. 2, pp. 65–70.
10. Danil'ev S. M., Danil'eva N. A., Bol'shakova N. V. Obsledovanie uplotnennykh otvalov vskryshnykh porod Kirovskogo rudnika metodami inzhenernoy geofiziki [Inspection of compacted overburden dumps of the Kirovsky mine by methods of engineering geophysics]. *Materialy 17-y nauchnoy prakticheskoy konferentsii i vystavki*. Moscow, 2021, pp. 86.
11. Dukhanin A. S., Alekseev S. G., Senchina N. P. Struktura struynykh oreolov rasseyaniya glubokozalegayushchikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya [Structure of jet scattering halos of deep-lying deposits of the Ore Altai]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2019, no. 80, pp. 75–94.
12. Egorov A. S. Osobennosti glubinnogo stroeniya i veshchestvennogo sostava geostruktur zemnoy kory kontinental'noy chasti territorii Rossii [Features of the deep structure and material composition of the geostructures of the Earth's crust of the continental part of the territory of Russia]. *Zapiski Gornogo instituta*, 2015, vol. 216, pp. 13–30.
13. Egorov A. S., Movchan I. B. Kompleksirovanie geofizicheskikh metodov: uchebnoe posobie [Integration of geophysical methods: textbook]. St. Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gornyy un-t, 2018, 116 p.
14. D'yachkov B. A., Mizernaya M. A., Pyatkova A. P. et al. K probleme formirovaniya kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdeniy Rudnogo Altaya [On the problem of formation of pyrite-polymetallic deposits of the Ore Altai]. *Otechestvennaya geologiya*, 2021, no. 5, pp. 3–16.
15. Kashin S. V., Molchanov A. V., Shatov V. V. Gidrotermal'no-metasomaticheskie formatsii regional'nogo rasprostraneniya i ikh ispol'zovanie dlya prognozirovaniya skrytogo kolchedanno-polimetallicheskiego orudneniya (na primere Zmeinogorskogo rudnogo rayona, Rudnyy Altay) [Hydrothermal-metasomatic formations of regional distribution and their use for predicting hidden pyrite-polymetallic mineralization (on the example of the Zmeinogorsky ore district, Rudny Altai)]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2013, no. 56, pp. 65–77.
16. Kisin A. Yu. Obshchekorovaya skladchatost' i gorobrazovanie [Scientific notes of the Kazan University]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki*, 2009, vol. 151, iss. 3, pp. 216–228.
17. Legenda Altayskoy serii listov Gosudarstvennoy geologicheskoy karty Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1 : 200 000. Izd. 2-e. Ob'yasnitel'naya zapiska [Legend of the Altai series of sheets of the State Geological Map of the Russian Federation scale 1 : 200 000. Ed. 2nd Explanatory note]. Ed. by S. P. Shokal'skiy. FGU AltTFGI, 1999.
18. Gusev N. I., Gusev A. I., Shokalsky S. P., Kashin S. V., Larionov A. N., Tolmacheva E. V. Mezozoyskaya tektonotermal'naya aktivizatsiya i epitermal'noe zolotoe orudnenie v Severo-Vostochnom Gornom Altae [Mesozoic tectonothermal activation and epithermal gold mineralization in the Northeastern Altai Mountains]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2014, no. 57, pp. 49–61.
19. Kuibida M. L., Kruk N. N., Shokalsky S. P., Gusev N. I., Murzin O. V. Nadsubduksionnye plagiogranity Rudnogo Altaya: vozrast i osobennosti sostava [Suprasubduction plagiogranites of the Ore Altai: age and composition features]. *Dokl. RAN*, 2015, vol. 464, no. 3, pp. 1–6.
20. Gusev G. S., Mezhelovsky N. V., Morozov A. F., Kilipko V. A., Sirotkina O. N. Ob'-Zaysanskaya, Altae-Sayanskaya i Vostochnosayano-Eniseyskaya pokrovno-skladchatye oblasti: osnovnye osobennosti tektonicheskogo razvitiya [Ob-Zaisan, Altai-Sayan and East China-Yenisei cover-folded regions: main features of tectonic development]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2017, no. 72, pp. 26–41.
21. Alekseev S. G., Kozlov S. A., Shtokalenko M. B., Smirnov V. E. Osobennosti 2D- i 3D-interpretatsii anomalii potentsial'nykh poley [Features of 2D and 3D interpretation of anomalies of potential fields]. *Zapiski Gornogo instituta*, 2011, vol. 194, pp. 128–131.
22. Petrov D. A. Osobennosti struktury rud Rubtsovskogo kolchedanno-polimetallicheskiego mestorozhdeniya (Rudnyy Altay) [Features of the ore structure of the Rubtsovsky pyrite-polymetallic deposit (Rudny Altai)]. *Zapiski Gornogo instituta*, 2006, vol. 167 (2), pp. 40–42.
23. Kalinin D. F., Egorov A. S., Bol'shakova N. V. Potentsial'naya neftegazonosnost' Zapadno-Kamchatskogo poberezh'ya i ee svyaz' so strukturno-tektonicheskim stroeniem Okhotomorskogo regiona po geofizicheskim dannym [Potential oil and gas potential of the West Kamchatka coast and its connection with the structural and tectonic structure of the Okhotsk Sea region according to geophysical data]. *Vestnik Kamchatskoy regional'noy organizatsii. Uchebno-nauchnyy tsentr. Seriya: Nauki o Zemle*, 2022, no. 1 (53), pp. 59–75.
24. Sekerina D. D., Dergileva E. A., Egorov A. S. Zakonomernosti lokalizatsii struktur kaledonskogo i gertsinskogo orogeneza Rudnogo Altaya [Patterns of localization of the structures of the Caledonian and Hercynian orogeny of the Ore Altai]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2023, no. 93, pp. 52–62.
25. Senchina N. P. Dekonvlyutsiya Eylera v interpretatsii dannykh potentsial'nykh poley Kazansko-Kazhimskogo avlakogena [Euler deconvulsion in the interpretation of data from potential fields of the Kazan-Kazhim avlakogen]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2021, no. 11 (113), pp. 7–13.
26. Seravina T. V., Kuznetsova S. V., Filatova L. K. Osobennosti veshchestvennogo sostava vmeshchayushchikh porod i rud Lazurskogo rudnogo polya (Zmeinogorskiy rudnyy rayon, Rudnoaltayskaya mineragenicheskaya zona) [Features of the material composition of the host rocks and ores of the Lazursky ore field (Zmeinogorsky ore district, Rudnoaltay mineragenic zone)]. *Otechestvennaya geologiya*, 2021, no. 3–4, pp. 36–47.
27. Turkin Yu. A., Novoselov K. L. Petrologo-geokhimicheskie osobennosti devonskikh granitoidov severo-zapadnoy chasti Rudnogo Altaya [Petrological and geochemical features of Devonian granitoids of the northwestern part of the Rudny Altai]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo*

universiteta. Inzhiniring georesursov, 2012, vol. 321, no. 1, pp. 5–15.

28. Khromykh S. V. Bazitovyy i sopryazhenny granitoidnyy magmatizm kak otrazhenie stadiy razvitiya Altayskoy akkretionno-kollizionnoy sistemy (vostochnyy Kazakhstan) [Basitic and conjugate granitoid magmatism as a reflection of the stages of development of the Altai accretion-collision system (East Kazakhstan)]. *Geologiya i geofizika*, 2022, vol. 63, no. 3, pp. 330–355.

29. Alekseev V. I. Deep structure and geodynamic conditions of granitoid magmatism in the East of Russia. *Journal of the Mining Institute*, 2020, vol. 243, pp. 259–265. DOI: 10.31897/PMI.2020.3.259

30. Movchan I., Yakovleva A., Movchan A. and Shaigal'yamova Z. Early assessment of seismic hazard in the conditions of contact of the Voronezh massif with the Moscow Depression. *Minute. Miner. Depot*, 2021, no. 15, pp. 62–70. DOI: 10.33271/mining 15.03.062

Секерина Дарья Денисовна – аспирант, кафедра геофизики. <sekerinadar@mail.ru>

Егоров Алексей Сергеевич – доктор геол.-минерал. наук, профессор, зав. кафедрой геофизики. <egorov_as@pers.spmi.ru>

Sekerina Darya Denisovna – Post-graduate Student, Department of Geophysics. <sekerinadar@mail.ru>

Egorov Alexey Sergeevich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of Department of Geophysics. <egorov_as@pers.spmi.ru>

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (СПГУ). 21-я линия, Васильевский остров, д. 2, Санкт-Петербург, Россия, 199106.

Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University (SPMU). 2 21st Line, St. Petersburg, Russia, 199106.