

Д. Д. Секерина, Е. А. Дергилева, А. С. Егоров (СПГУ)

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ СТРУКТУР КАЛЕДОНСКОГО И ГЕРЦИНСКОГО ОРОГЕНЕЗА РУДНОГО АЛТАЯ

Для изучения закономерностей локализации структур Рудного Алтая в составе Алтае-Саянской складчатой области нами была изучена последовательность формирования основных элементов данного региона в ходе ранне-, позднекаледонских и герцинских орогенных процессов. Геолого-геофизические построения выполнены нами с использованием геофизической «радиально-зональной модели земной коры» [24]. На основе качественной интерпретации геофизических полей и их трансформаций, в том числе с применением линеamentного анализа, выделены блоки с корой континентального типа и разделяющие их межблоковые зоны. На стадии геотектонической интерпретации комплекса данных в рамках концепции тектоники литосферных плит геофизические блоки интерпретируются как палеоплиты с корой континентального типа; межблоковым зонам отвечают сутуры, рифты и региональные сдвиги. Построения в латеральном измерении сопровождаются глубинным геолого-геофизическим (геотектоническим) разрезом, выполненным вдоль фрагмента регионального геофизического профиля «Базальт». Выполненные палеореконструкции позволяют подойти к решению поставленной задачи: уточнению геодинамических процессов, которые привели к формированию структур и обусловили особенности локализации эндогенного оруденения Змеиногорского рудного района.

*Ключевые слова:* Горный и Рудный Алтай, глубинное строение земной коры, тектоническое районирование, палеореконструкции.

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

## LOCATION PATTERNS OF CALEDONIAN AND HERCYNIAN OROGENY STRUCTURES, RUDNY ALTAI

The authors studied the sequence of major elements formation in this region during Early Caledonian, Late Caledonian, and Hercynian orogenic processes to understand location patterns of Rudny Altai structures in the Altai-Sayan Fold Area. Geological and geophysical constructions were made by the authors using the geophysical «radial-zonal model of the earth's crust» [24]. Blocks with continental crust and interblock zones separating them were identified based on a qualitative interpretation of geophysical fields and their transformations, including using lineament analysis. At the stage of geotectonic interpretation of the data set, within the concept of lithospheric plate tectonics, geophysical blocks are interpreted as paleoplates with continental crust; sutures, rifts and regional shears correspond to interblock zones. Constructions in the lateral dimension are accompanied by a deep geological and geophysical (geotectonic) section along a fragment of the Basalt regional geophysical profile. The performed paleoreconstructions allow the solution of the problem of clarifying the geodynamic processes that led to the formation of structures and controlled the location features of endogenous mineralization in the Zmeinogorsk ore district.

*Keywords:* Gorny and Rudny Altai, deep crustal structure, tectonic zoning, paleoreconstructions.

**Для цитирования:** Секерина Д. Д., Дергилева Е. А., Егоров А. С. Закономерности локализации структур каледонского и герцинского орогенеза Рудного Алтая // Региональная геология и металлогения. – 2023. – № 93. – С. 52–62. DOI: 10.52349/0869-7892\_2023\_93\_52-62

**Введение.** Территория исследований охватывает площадь планшета М-44 Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 («Госгеолкарта-1000»), включающую структуры Горного и Рудного Алтая. В пределах региона выявлены

месторождения цветных металлов, железных руд, строительных материалов, подземных вод и других полезных ископаемых. В частности здесь широко проявлены месторождения колчедано-полиметаллического типа Змеиногорского рудного района,

представляющие большой промышленный интерес для экономического развития нашей страны.

Начало исследований Алтая относится к XVII–XVIII векам и связано с обнаружением серебряных руд в верховьях рек Чарыш, Иртыш и Обь. В 1960–1980-е годы здесь был выполнен широкий спектр детальных исследований, нацеленных на обнаружение месторождений цветных металлов. Наиболее полно изучены районы локализации полиметаллических месторождений Рудного Алтая. До 2000-х годов здесь проводились различные геологические съемки, по результатам которых были составлены листы Государственной геологической карты России первого поколения и более детальные общепроисловые карты восточной части листа. В 1999 г. начался новый этап региональных исследований, в результате которых были составлены серии листов Госгеолкарты-200/2 и Госгеолкарты-1000/3 [5; 6; 16], задействованные в нашей работе в качестве фактологической основы. Кроме того, на территории Рудного Алтая проводились специализированные геохимические, геофизические и минерагенические исследования, направленные на прогноз полиметаллического оруденения. Важным источником информации по территории Горного и Рудного Алтая являются публикации, отчеты, монографии и диссертации, разработанные в стенах ведущих научно-производственных предприятий России [3; 4; 7; 9].

Таким образом, авторский рабочий банк данных включал широкий комплекс материалов геологического картирования (комплекты листов Госгеолкарты-1000/3 и Госгеолкарты-200/2) и их геофизические и дистанционные основы. Кроме того, учитывались геотектонические и геолого-структурные схемы разных масштабов, представленные в научных публикациях В. С. Суркова, Г. С. Гусева, Н. И. Гусева, М. М. Буслова, В. П. Богомолова и других авторов [6; 17; 20].

**Научно-методический подход.** В качестве научной основы исследований приняты теоретические представления о плейт-тектонической эволюции Алтае-Саянского региона, разработанные Л. П. Зоненшайном, В. Е. Хаиным, Г. А. Гусевым и другими учеными [5; 6]. Проблемам эволюционного развития Горного и Рудного Алтая посвящены работы большой группы новосибирских ученых [4; 8]. Информация, представленная в этих работах, содержит ряд дискуссионных положений, в том числе о геодинамической модели рудоформирования, для опровержения или подтверждения которых требуется привлечение дополнительных инструментов геолого-геофизического моделирования. Авторами представляемой работы задействована методология моделирования региональных структур земной коры в рамках «радиально-зональной модели Земли» [24], позволяющая расшифровать ряд спорных особенностей строения юго-западной части Алтае-Саянской складчатой области. Разномасштабная геолого-геофизиче-

ская изученность сведена авторами в единую схему (рис. 1).

Обработка геофизической информации, сведенной в цифровой форме в рабочий банк данных, выполнялась с расчетом широкого набора трансформаций потенциальных геофизических полей: вертикально-направленной конволюции, горизонтального градиента, вертикальной производной, «аналитического сигнала», «псевдорельефа», осреднения в скользящем окне и др. [23; 25]. Наиболее информативными для опознания главных структурно-вещественных подразделений земной коры (блоков, межблоковых зон, разрывных нарушений) оказались карты горизонтального градиента магнитного и гравитационного полей.

В ходе качественной интерпретации геофизических полей применялись приемы визуального сопоставления разнотипных геологических, геофизических и дистанционных данных и их линейментный анализ. В результате были оконтурены блоки с корой континентального типа (ареалы стационарности геофизических полей) и межблоковых сутурных, рифтогенных или сдвиговых структур, проявляющихся в виде градиентных зон или границ изменения инфраструктуры полей. Вдоль границ блоков (палеоплит) нами выполнено картирование главных разрывных нарушений и опережающих дислокаций более высокого порядка [10; 11].

Глубинное моделирование выполнено нами вдоль фрагмента регионального геофизического профиля ГСЗ-МОВЗ «Базальт» [22]. В рассматриваемом сечении нами выполнен расчет параметра «сейсмической рефлексивности», базирующийся на расчете числа меток сейсмических границ в скользящем окне [11; 12]. Кроме того, рассмотрены обратные задачи грави- и магниторазведки с построением разрезов «эффективной плотности» и «эффективной намагниченности» и расчетом «особых точек» [8; 11]. На основе этих материалов удается достаточно уверенно трассировать Северо-Восточную зону разломов, разграничивающую ареалы проявления позднекаледонского и герцинского орогенеза. Эти материалы позволили выполнить моделирование ареалов развития гранитов активной континентальной окраины (D<sub>3</sub>) и Чарышско-Чуйской сутурной зоны. По материалам рефлексивности весьма уверенно трассируются границы радиальной расслоенности земной коры и верхней мантии, а также граница каледонского и герцинского орогенеза.

**Результаты и обсуждение.** В истории региона традиционно выделяется несколько основных этапов развития:

- раннепалеозойский, характеризующийся аккрецией микроплит и островных дуг к окраине Сибирского палеоконтинента (раннекаледонская);
- среднепалеозойский орогенез активной континентальной окраины, обусловленной погружением Палеоазиатской океанической плиты под Алтае-Саянскую окраину Сибирского палеоконтинента;

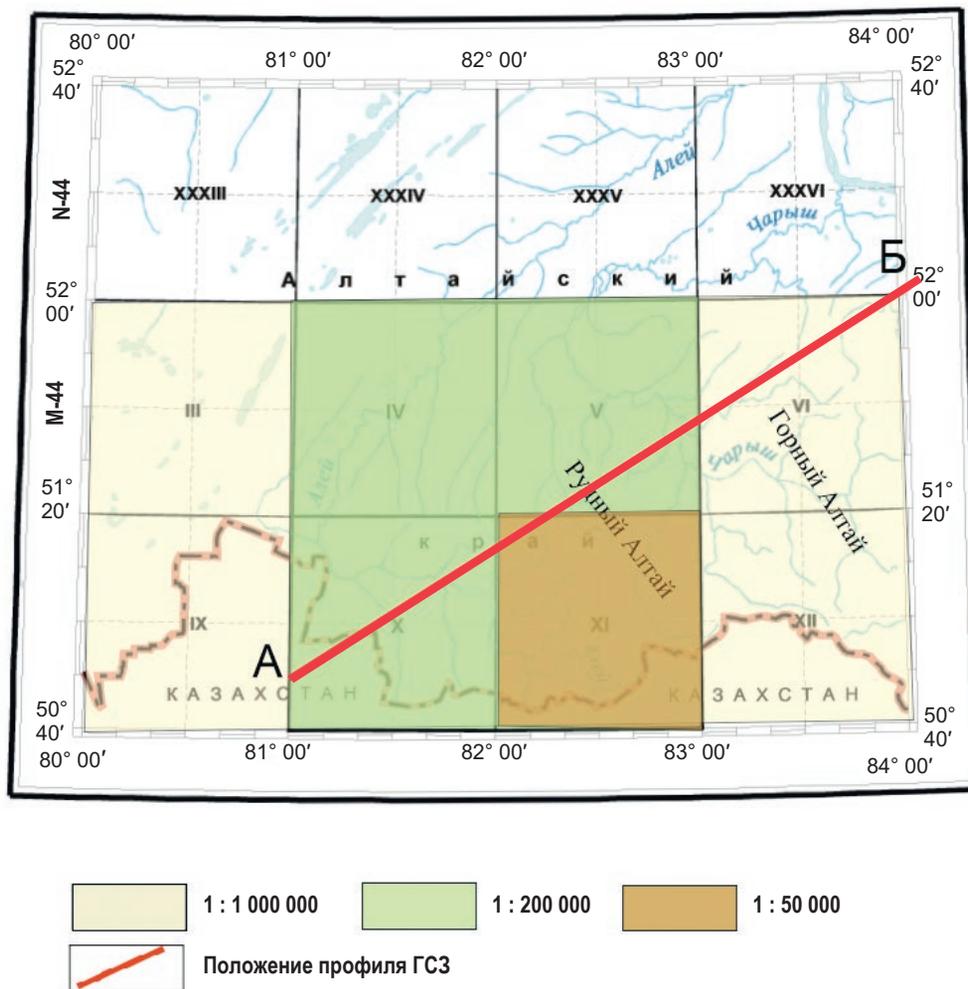


Рис. 1. Обзорная схема геолого-геофизической изученности Алтая с положением профиля глубинного сейсмического зондирования АБ

– позднепалеозойский (герцинский) орогенез, обусловленный аккрецией Сибирского и Казахского палеоконтинентов и островных дуг на месте закрывающегося Палеоазиатского океана.

На основе анализа полученных данных нами выполнено построение палеотектонических схем, на которых вынесены контуры структурно-вещественных комплексов, последовательно сформированных в ходе каледонского и герцинского тектоно-магматических циклов. Полученные результаты позволяют понять, как именно сформировался интересующий нас рудный район и какие участки могут вызывать неоднозначность интерпретации.

**Раннекаледонский орогенный этап.** Основными структурно-вещественными подразделениями (рис. 2), участвовавшими в раннекаледонской аккреции, являются Чарышко-Талицкий и объединенные Горно-Рудно-Алтайские блоки, разделенные Чарышко-Чуйской сутурной зоной [13; 14].

На окраинах блоков картируются складчато-надвиговые структуры, сформированные в ходе их аккреции. Горный и Рудный Алтай разделены Северо-Восточной разломной зоной, которая уве-

ренно прослеживается в геофизических полях и интерпретируется нами как сдвиговая граница складчато-надвигового пояса [11].

В пределах восточной окраины Горно-Алтайского блока картируются тектонические покровы, выполненные терригенно-карбонатными комплексами (флишоидная турбидитовая формация) аккреционной призмы, обдуцированные на прибрежные окраины континентальных плит [3]. Сутурная зона выполнена породами флишоидной, турбидитовой, толеит-долеритовой и щелочно-базальтовой формаций, а также образованиями аккреционной призмы.

**Позднекаледонский коллизионный и активноокаинный орогенные этапы.** Тектоническая схема этого этапа эволюции (рис. 3) отображает особенности проявления двух сближенных по времени орогенных процессов: коллизионного и активноокаинного.

На фоне структур, сформированных в ходе раннекаледонского этапа эволюции, отражено расположение заложенных в среднем палеозое Иртышской структурно-формационной зоны

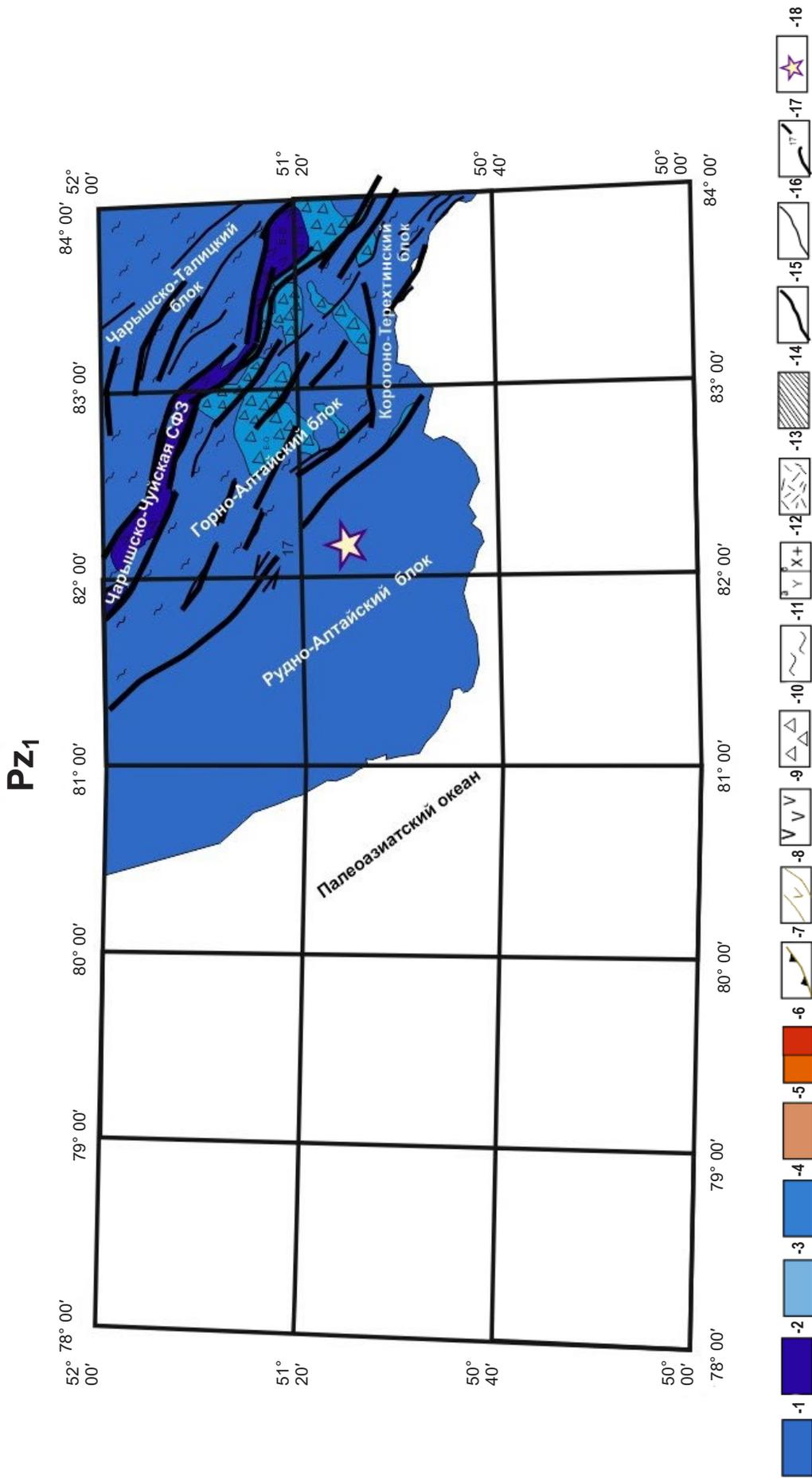


Рис. 2. Структуры раннекаледонского орогенеза Горно-Рудно-Алтайского региона

1–6 – ареалы развития: 1–2 – раннекаледонских структур (1 – блоки с корой континентального типа, 2 – межблоковые зоны); 3–4 – позднекаледонского орогенеза (3 – блоки, 4 – Иртышская структурно-формационная зона); 5–6 – раннегерцинических структур (5 – блоки, 6 – межблоковые зоны); 7–14 – структурно-вещественные подразделения: 7 – Иртыш-Зайсанская субдукционная зона (вне площади исследования), 8 – Иртыш-Зайсанская коллизионная сутурная зона (вне площади исследования), 9 – кора океанического типа, 10 – аккреционная дуга (флишодная турбидитовая формация), 11 – пассивная континентальная окраина (терригенно-карбонатная формация), 12 – вулканоплутонические пояса активной континентальной окраины (а – базальт-дацит-риолитовая, б – габбро-гранодиорит-гранитовая формации), 13 – задуговые рифты активной континентальной окраины (бимодальная базальт-риолитовая, габбро-плагиогранитовая формации), 14 – офиолиты (толеит-базальтовая метаморфизованная формация); 15–16 – разрывные нарушения (15 – главные, 16 – второстепенные); 17 – Северо-Восточная разломная зона; 18 – положение Змеиногорского рудного узла

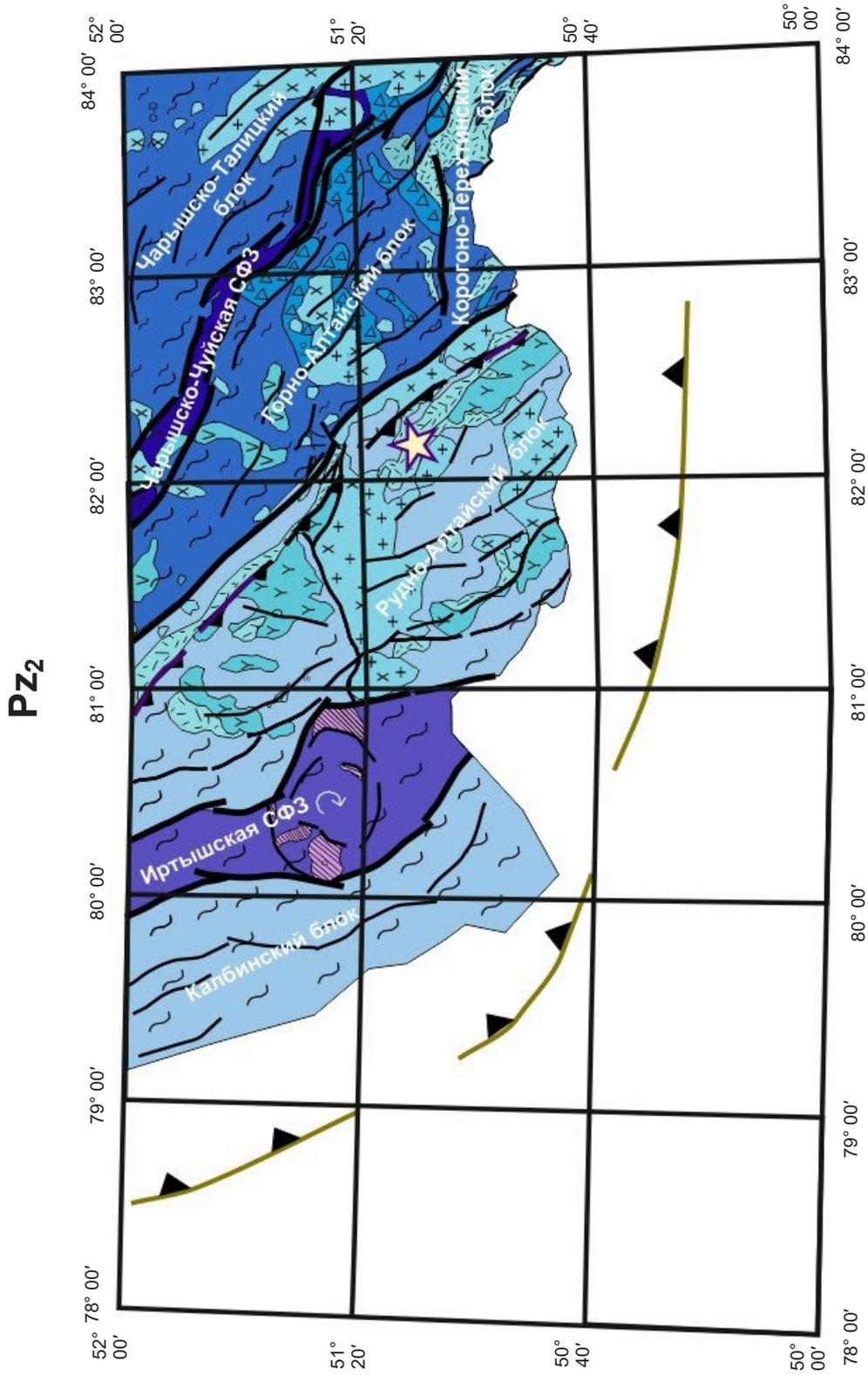


Рис. 3. Схема проявления позднекаледонского орогенеза (условные обозначения к схеме см. на рис. 2)

и причленившегося Калбинского континентального блока. Их современное расположение в пограничной зоне Сибирского палеоконтинента связывается с постаккреционными сдвиговыми перемещениями континентальных плит вдоль Чарышско-Теректинской зоны разломов в условиях косо́й субдукции океанической плиты [3; 4].

В пределах Горного и Рудного Алтая в этот период протекали активные коллизионные процессы с формированием метаморфических комплексов. На континентальной окраине Сибирского палеоконтинента преобладали шельфовые карбонатно-терригенные отложения [14].

В центральной части Иртышской структурно-формационной зоны выделяется кольцевая структура, к флангам которой приурочены локальные тела офиолитов толеит-базальтовой метаморфизованной формации ( $D_1$ ) [5]. В сочетании с зеленосланцевыми породами ( $D_3$ ) эта зона маркирует ареал развития в раннем девоне океанического бассейна, который был закрыт в ходе аккреции Казахской и Сибирской литосферных плит. Кольцевая зональность офиолитов позволяет предположить, что в пределах Иртышской зоны локализован блок с корой континентального типа, испытавший ротацию в процессе столкновения Казахской и Сибирской литосферных плит. Столкновение сопровождалось формированием складчато-надвиговых деформаций по окраинам блоков [6].

На рассматриваемой схеме в пределах структур Горного Алтая отображены ореолы развития дацит-риолитовых комплексов девонской континентальной окраины. Раннедевонско-раннекаменноугольный структурный ярус представлен вулканогенно-осадочными и осадочными молассоидными образованиями, вулканитами и субвулканическими телами риолитовой, базальт-андезит-риолитовой и андезитовой формаций, интрузивными образованиями габбро-плагиогранитовой, габбро-гранодиорит-гранитовой, габбро-долеритовой формаций. В северо-западной части в пределах Чарышско-Чуйской СФЗ формировались вулканогенные впадины (Рубцовская, Золотушинская и интересующая нас Змеиногорско-Быструшинская [16]), заполненные вулканогенно-осадочными образованиями средне-позднедевонской формации [20; 21].

В составе магматических комплексов выделяется два генетических типа: 1 – образования тыловодужного рифтогенеза, представленные вулканоплутоническим поясом бимодальной базальт-риолитовой и габбро-плагиогранитовой формации ( $D_{1-2}$ ); 2 – комплексы вулканоплутонического пояса, представленные интрузивными (габбро-гранодиоритовыми) и вулканическими (андезит-базальтовыми) комплексами ( $D_3-C_1$ ). Причиной пространственного совмещения ареалов вулканоплутонического и рифтогенного магматизма может являться изменение в девоне угла наклона литосферного слэба Палеоазиатского океана. Совмещение же вулканических и интрузивных структур активной континентальной окра-

ины может свидетельствовать о высоком уровне денудации вулканических образований в пределах Рудно-Алтайского блока [15].

В позднем девоне ( $D_3$ ) в Горном и Рудном Алтае формируются крупные гранитоидные плутоны [5]. Именно с девонским вулканизмом генетически связано колчеданно-полиметаллическое оруденение Рудного Алтая [6].

**Герцинский орогенный этап.** Предполагается, что вдоль раннедевонской Алтайской окраины Сибирского палеоконтинента развивалась палеоокеаническая кора Обь-Зайсанского палеоокеанического бассейна – фланга Палеоазиатского океана. Кора океана в позднем палеозое была поглощена в Рудно-Алтайской субдукционной зоне [3; 4]. Реликты этой океанической коры, выполненные ультрамафитами дунит-гарцбургитовой формации и амфиболитами, картируются в составе пород иртышского метаморфического комплекса [9].

Схема герцинского орогенеза (рис. 4) отражает проявление коллизионного и постколлизионного этапов эволюции региона.

Аккреция Сибирского и Казахстанского континентов происходила в условиях закрытия Палеоазиатского палеоокеана в середине карбона. Касательный характер аккреции литосферных плит вызвал заложение сдвиговых систем с формированием приразломных прогибов и накоплением отложений сероцветной угленосной молассовой карбонатно-терригенной формации [3–5].

Ареал проявления орогенных коллизионных процессов характеризуется широким развитием складчато-надвиговых деформаций, гранитоидным плутонизмом и формированием осадочных впадин на окраинах складчатой области [23].

В северной части Рудно-Алтайского блока, вследствие протекания активных магматических процессов во внутренних зонах коллизии, формировались вулканогенные образования средне-позднекаменноугольного андезит-дацит-риолитового комплекса и комагматичные им гранитоиды габбро-гранит-лейкогранитового комплекса.

Пермско-среднеюрский постколлизионный этап характеризуется релаксацией земной коры, при которой важную роль играли мантийные магмы, способствовавшие широкому проявлению магматических комплексов на территории Горного и Рудного Алтая [8; 9]. В это время закладываются магматические образования мантийного и корово-мантийного генезиса. Ярким примером проявления постколлизионных комплексов является редкометалльное оруденение Горного Алтая. Также именно этот период может выступать в качестве основного в процессе регенерации полиметаллических месторождений Рудноалтайского типа [6; 16; 18].

Результаты изучения особенностей глубинного строения и истории развития региона свидетельствуют о проявлении ранне-, позднекаледонского и герцинского орогенных процессов на территории Змеиногорского рудного узла [16; 19].

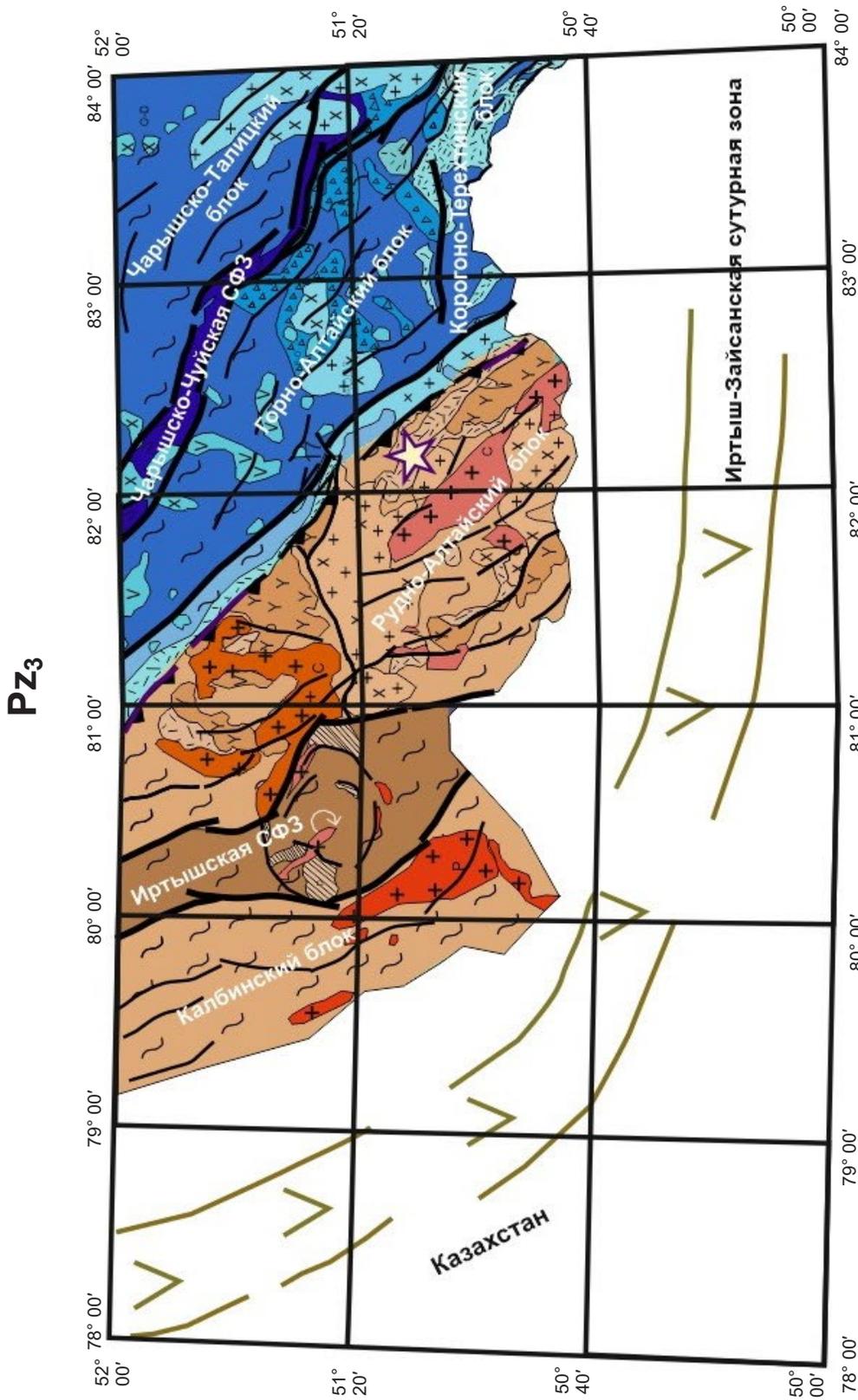


Рис. 4. Схема проявления герцинского орогенеза (условные обозначения к схеме см. на рис. 2)

Змеиногорский рудный район локализуется в пределах мегапрогиба Рудного Алтая и выполнен широким комплексом горных пород, испытавших интенсивные преобразования в ареале проявления каледонского и герцинского орогенезов.

Раннекаледонский орогенный этап в пределах Змеиногорского рудного узла проявлялся в виде складчато-надвиговых деформаций, развивавшихся на фоне ареалов развития комплексов флишеидной турбидитовой формации. Позднекаледонский этап ассоциируется с пространственным совмещением образований вулканоплутонического пояса активной континентальной окраины ( $D_{1-2}$ ) и структур бимодальной серии тыловодужного рифтогенеза ( $D_{2-3}$ ). Проявлениями данного этапа эволюции региона являются вулканические трюги, выполненные вулканогенно-осадочными породами, вмещающими колчеданно-полиметаллические месторождения Змеиногорского рудного узла. Раннегерцинские орогенные процессы проявлены в пределах Рудного Алтая и ряда смежных территорий и представлены тектоническими складчато-надвиговыми деформациями и образованиями молассовой карбонатно-терригенной формации, гранитоидными интрузивами карбон-пермского возраста.

Глубинный разрез земной коры, характеризующий строение рассматриваемых орогенных структур, выполнен по фрагменту профиля ГСЗ-МОВЗ «Базальт», (А. В. Егоркин, Л. В. Акиншина и др., 1993) [7], положение которого представлено на

рис. 1. Помимо данных ГСЗ в этих построениях авторы использовали:

- разрез ГСЗ в показателях рефлексивности (рассчитывается плотность меток сейсмических границ на единичную площадку в «скользящем окне») [11];

- результаты решения обратных задач потенциальных полей по И. И. Приезжеву, (COSCAD 3D) и алгоритмам, разработанным М. Б. Штокаленко [2];
- расчет особых точек магнитного и гравитационного полей способом деконволюции Эйлера [17].

Верификация результирующей модели земной коры выполнена с использованием алгоритма плотностного подбора «Oasis Montaj».

Положение главных тектонических границ на глубинном разрезе (рис. 5) увязано с тектоническими схемами (рис. 2–4).

Западный фрагмент геотраверса (ПК 255-260) пересекает Рудно-Алтайский блок [13]. В верхней части его разреза картируются образования вулканоплутонического пояса активной континентальной окраины, представленные базальт-дацит-риолитовой ( $D_{2-3}$ ) и габбро-гранодиорит-гранитовой ( $D_3$ ) формациями. Ареал их развития в разрезе весьма уверенно проявляется на результатах решения обратных задач гравитационного и магнитного полей, рассчитанных с использованием способа М. Б. Штокаленко [2]. Вулканы подстилаются осадками ( $S-D_{1-2}$ ). Их мощность (2–3 км) качественно оценивается по ареалу особых точек, рассчитанных с применением способа деконволюции

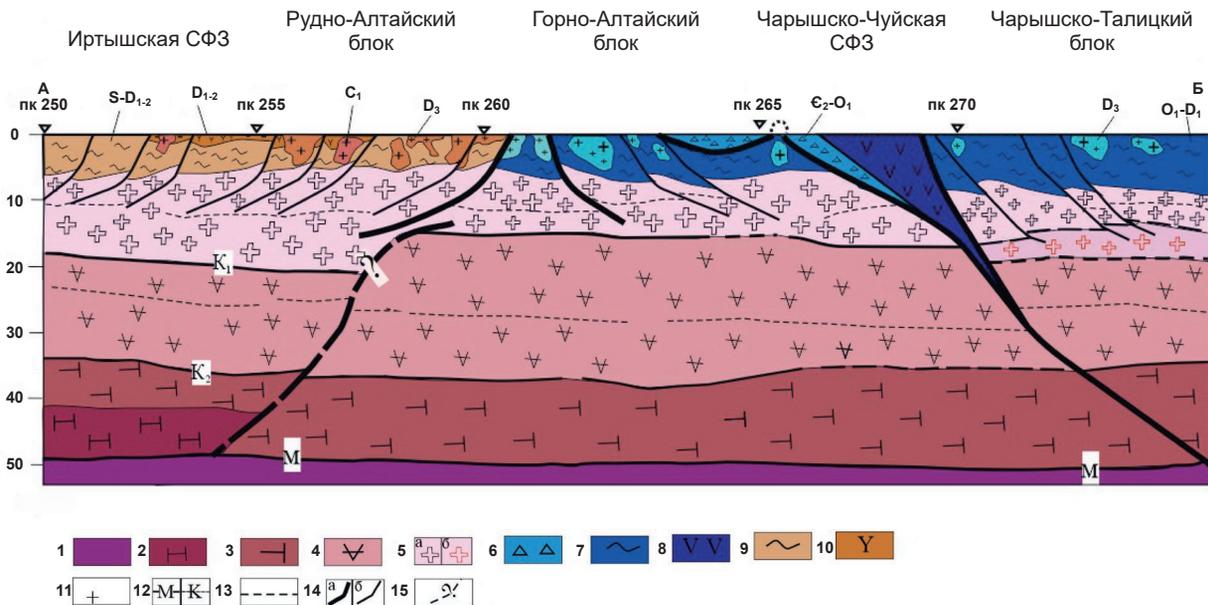


Рис. 5. Глубинный геолого-геофизический разрез Горно-Рудно-Алтайского блоков в сечении профиля ГСЗ-МОВЗ «Базальт»

1–10 – структурно-вещественные подразделения: 1 – литосферная мантия, 2–3 – нижняя кора, в том числе корово-мантийная зона (2), 4 – средняя кора, 5 – верхняя кора (гранито-гнейсовый слой), в том числе ареал пониженных значений скорости упругих волн (6), 6 – аккреционная призма (флишеидная турбидитовая формации), 7 – терригенно-карбонатные осадки, 8 – океаническая кора (офиолиты), 9 – флиш, 10 – базальт-дацит-риолитовая формация, 11 – габбро-гранодиорит-гранитовая формация; 12–13 – структурно-вещественные границы: 12 – главные границы радиальной расслоенности (М – граница Мохо, К – подошва верхней коры), 13 – второстепенные границы радиальной расслоенности, 14–15 – разрывные нарушения: 14 – а – главные, б – второстепенные, 15 – разрывные нарушения, выделяемые по косвенным признакам

Эйлера [17]. Вергентность надвиговых дислокаций Рудно-Алтайского блока северо-восточная. Гипсометрически ниже в разрезе моделируются образования гранитогнейсового (AR) слоя. Скорости распространения продольных волн в данном слое по результатам ГСЗ характеризуются значениями 6,45–6,50 м/с.

В базальной части земной коры западного фланга Рудного Алтая по данным ГСЗ и результатам плотностного моделирования выделяется высокоскоростная зона (6,88–7,34), отвечающая, предположительно, слою «коро-мантийной смеси» [13].

На интервале ПК 260–261 картируется глубинная граница Горно- и Рудно-Алтайского блоков земной коры. Эта тектоническая граница, часто называемая «Северо-Восточной зоной разломов», контрастно проявляется на потенциальных полях и их трансформантах (см. рис. 3–4).

Глубинный разрез Горно-Алтайского блока характеризуется увеличенной мощностью земной коры. В центральной части каледонских структур выделяется Чарышко-Чуйская структурно-формационная зона, выполненная комплексами океанической коры и аккреционной призм. Образование аккреционной призмы картируются в районе ПК 264–266, их заложение связывается нами с тектоническим покровом Чарышко-Чуйской сутурной зоны, которая имеет клиновидную морфологию в приповерхностной части и полого погружающийся в западном направлении глубинный канал. Разрывные нарушения восточного фланга представлены надвигами юго-западной вергентности [19], которые вылаживаются в базальтовой части гранито-гнейсового слоя. Судя по результатам решения обратной задачи гравитационного поля (по методу М. Б. Штокаленко), все образования ордовикского периода были подвергнуты интенсивным деформациям.

По данным ГСЗ, в пределах Чарышко-Талицкого блока на глубине 12–17 км хорошо идентифицируется «волновод», характеризующийся пониженными (на фоне вышележащих образований) значениями скоростей от 6,23 до 6,27 км/с.

**Заключение.** Сопоставляя схемы палеорекоконструкций (рис. 2–4) с моделью глубинного разреза в сечении профиля ГСЗ-МОВЗ, можно сделать следующие выводы.

1. Граница сочленения герцинской Рудно-Алтайской и каледонской Чарышко-Чуйской структурно-формационных зон отчетливо прослеживается в потенциальных полях и на их трансформантах. Ее морфология обоснована результатами линеаментного анализа и решениями обратных задач гравитационного и магнитного полей.

2. Морфология Иртышской структурно-формационной (сутурной) зоны оценивается нами на качественном уровне, поскольку ареал ее развития не попадает на площадь исследований. Характер заложения Чарышко-Чуйской СФЗ (сутуры) весьма уверенно картируется по данным комплексного ана-

лиза схем рефлективности по профилю ГСЗ-МОВЗ и решению обратных задач потенциальных полей.

3. По ряду косвенных признаков (глубина заложения, закономерности локализации особых точек, расчеты в показателях рефлективности) можно предположить более высокий уровень денудации Рудно-Алтайского блока по сравнению Горно-Алтайским.

Таким образом, в данной работе авторами проведена оценка закономерностей локализации Змеиногорского рудного района в региональном масштабе. Используя богатую фактологическую основу, проведен расчет трансформант потенциальных полей, на основе которых выполнен линеаментный анализ. В результате комплексной интерпретации тектонических и геолого-структурных схем построены палеорекоконструкции, последовательность которых отражает характер проявления трех орогенных этапов: ранне- и позднекаледонского, раннегерцинского.

С привлечением данных глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), расчета рефлективности и решения обратных задач потенциальных полей, авторами выполнено глубинное моделирование структурно-вещественных неоднородностей земной коры. Сопоставление и увязка палеосхем с глубинным разрезом позволяет рассматривать особенности строения и эволюции региона в трехмерном геологическом пространстве.

Анализ закономерностей расположения Змеиногорского рудного района, характеризующегося образованием колчеданных месторождений, позволяет наметить следующие факторы, которые следует учитывать в детальных исследованиях района:

- тесная связь рудогенеза с формированием девонских вулканических трогов базальт-риолитовой формации;

- сложное проявление разновозрастных орогенных процессов в пределах исследуемой территории, которые являются рудоконтролирующими структурами промышленного колчеданно-полиметаллического оруденения Рудного Алтая.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балк П. И., Долгаль А. С. Аддитивные методы решения обратных задач гравиразведки и магниторазведки. – М. : Научный мир, 2020. – 456 с.
2. Волков В. В. Проблемы плитной тектоники в региональной геологии Алтае-Саянской складчатой области // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 54. – С. 38–44.
3. 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.
4. 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-ХI (Российская часть) в 1996–2000 гг. / О. В. Мурзин, В. И. Горшечников, В. М. Чекалин и др. – АлтФ ФБУ «ТФГИ по СФО», 2001.

5. 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. – № 257. – С. 703–719.

6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 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.

7. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алтай-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.

8. Данильев С. М., Данильева Н. А., Большакова Н. В. Обследование уплотненных отвалов вскрышных пород Кировского рудника методами инженерной геофизики // Материалы 17-й научно-практической конференции и выставки. – М. : ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2021. – 86 с.

9. Егоров А. С., Мовчан И. Б. Комплексирование геофизических методов: учебное пособие // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. – СПб. : Санкт-Петербургский горный ун-т, 2018. – 116 с.

10. Калинин Д. Ф., Егоров А. С., Большакова Н. В. Потенциальная нефтегазоносность Западно-Камчатского побережья и ее связь со структурно-тектоническим строением Охотоморского региона по геофизическим данным // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. – СПб. : Санкт-Петербургский горный ун-т, 2022. – № 1 (53). – С. 59–75.

11. Кусин А. Ю. Общекоровая складчатость и горообразование // Ученые записки Казанского ун-та. Серия: Естественные науки. – 2009.

12. Легенда Алтай-Саянской серии листов ГК РФ масштаба 1 : 1 000 000 (третье издание) / Г. А. Бабин, Л. Л. Зейферт, А. Ф. Щигрев и др. – Новокузнецк : Фонды ВСЕГЕИ, 2009.

13. Легенда Алтайской серии листов ГК РФ масштаба 1 : 200 000 (второе издание). Объяснительная записка / Гл. ред. С. П. Шокальский. – ФГУ АлтТФГИ, 1999.

14. Обоснование адекватности томографии потенциальных полей / С. Г. Алексеев, Н. П. Сенчина, С. Ю. Шаткевич, М. Б. Штокаленко, И. Б. Мовчан // Материалы 43 сессии Междунар. науч. семинара им. Успенского. – М. : ИФЗ РАН, 2017. – С. 21–26.

15. Обь-Зайсанская, Алтай-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.

16. 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.

17. Петров Д. А. Особенности структуры руд Рубцовского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) // Записки Горного института. – 2006. – Т. 167, № 2. – С. 40.

18. Петрологическая модель редкометалльных месторождений Калба-Нарымского пояса (Восточный Казахстан) / А. В. Травин, А. Г. Владимиров, Н. Г. Мурзинцев, И. Ю. Анникова, С. В. Хромых, П. Д. Котлер // Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева. – 2021. – № 3. – С. 21–28.

19. Сенчина Н. П. Деконволюция Эйлера в интерпретации данных потенциальных полей Казанско-Кажимского авлакогена // Междунар. научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 11 (113).

20. Тектоника и глубинное строение Алтай-Саянской складчатой области / В. С. Сурков, О. Г. Жеро, Д. Ф. Уманцев, Г. М. Зайцева. – М. : Недра, 1973. – 144 с.

21. 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.

22. Электронное издание «Атлас „Опорные геолого-геофизические профили России“. Глубинные сейсмические разрезы по профилям ГСЗ, отработанным в период с 1972 по 1995 год». – ВСЕГЕИ, 2013.

23. 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.

24. Deep Structure, Tectonics and Petroleum Potential of the Western Sector of the Russian Arctic / A. S. Egorov, O. M. Prischepa, Y. V. Nefedov, V. A. Kontorovich, I. Y. Vinokurov // J. Mar. Sci. Eng. – 2021. – Vol. 9, iss. 3. – 258 p.

25. Early assessment of seismic hazard in terms of Voronezh massif-Moscow Depression contact / I. B. Movchan, A. A. Yakovleva, A. Movchan, Z. I. Shaygallyamova // Mining of Mineral Deposits. – 2021. – No. 15. – Pp. 62–70.

## REFERENCES

1. Balk P. I., Dolgal' A. S. Additivnye metody resheniya obratnykh zadach gravirazvedki i magnitorazvedki. Moscow, Nauchnyy mir, 2020, 456 p.

2. Volkov V. V. Problemy plitnoy tektoniki v regional'noy geologii Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti. *Regional Geology and Metallogeny*, 2013, no. 54, pp. 38–44.

3. Didenko A. N., Mossakovskiy A. A., Pecherskiy D. M., Ruzhentsev S. V., Samygin S. G., Kheraskova T. N. Geodinamika paleozoyskikh okeanov Tsentral'noy Azii. *Geologiya i geofizika*, 1994, vol. 35, no. 7–8, pp. 59–75.

4. Murzin O. V., Gorshechnikov V. I., Chekalin V. M. et al. Geologicheskii otchet o rabotakh po sostavleniyu i podgotovke k izdaniyu komplekta Gosudarstvennoy geologicheskoy karty mashtaba 1 : 200 000 na Zmeinogorskoy ploshchadi, listy M-44-X, M-44-XI (Rossiyskaya chast') v 1996–2000 gg., 2001.

5. 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. *Zapiski Gornogo instituta*, 2022, no. 257, pp. 703–719.

6. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Mashtab 1 : 200 000 (izdanie второе). Seriya Gorno-Altayskaya. List M-44-IV – Rubtsovsk. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation of the third generation. Scale 1 : 200 000. Gorno-Altayskaya series. Sheet M-44-IV – Rubtsovsk. Explanatory note]. Eds.: S. I. Fedak, Yu. A. Turkin, P. F. Selin et al. Moscow, Moskovskiy filial FGBU «VSEGEI», 2019.

7. 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 of the third generation. Scale 1 : 1 000 000. Altae-Sayanskaya series. Sheet M-44 – Rubtsovsk. Explanatory note]. Eds.: N. I. Gusev, Yu. E. Vovshin, A. A. Kruglova, M. G. Pushkin et al. St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2015, 415 p.

8. Danil'ev S. M., Danil'eva N. A., Bol'shakova N. V. Obsledovanie uplotnennykh otvalov vskryshnykh porod Kirovskogo rudnika metodami inzhenernoy geofiziki.

Материалы 17 научно-практической конференции и выставки. Moscow, EAGE Geomodel', 2021, 86 p.

9. Egorov A. S., Movchan I. B. Kompleksirovanie geofizicheskikh metodov: uchebnoe posobie. Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii. St. Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gornyy universitet, 2018, 116 p.

10. 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. *Vestnik Kamchatskoy regional'noy organizatsii Uchebno-nauchnyy tsentr. Nauki o Zemle*. St. Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gornyy universitet, 2022, no. 1 (53), pp. 59–75.

11. Kusin A. Yu. Obshchekorovaya skladchatost' i goroobrazovanie. Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Estestvennye nauki, 2009.

12. Legenda Altae-Sayanskoy serii listov GK RF mashtaba 1 : 1 000 000 (tret'e izdanie). Eds.: G. A. Babin, L. L. Zeyfert, A. F. Shchigrev et al. Novokuznetsk, Fondy VSEGEI, 2009.

13. Legenda Altayskoy serii listov GK RF mashtaba 1 : 200 000 (vtoroe izdanie). Ob'yasnitel'naya zapiska. Gl. red. S. P. Shokal'skiy. 1999.

14. Alekseev S. G., Senchina N. P., Shatkevich S. Yu., Shtokalenko M. B., Movchan I. B. Obosnovanie adekvatnosti tomografii potentsial'nykh poley. *Materialy 43 sessii Mezhdunarodnogo nauchnogo seminaru imeni Uspenskogo*. Moscow, 2017, pp. 21–26.

15. Gusev G. S., Mezhelovskiy 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. *Regional Geology and Metallogeny*, 2017, no. 72, pp. 26–41.

16. Alekseev S. G., Kozlov S. A., Shtokalenko M. B., Smirnov V. E. Osobennosti 2D- i 3D-interpretatsii anomalii potentsial'nykh poley. *Zapiski Gornogo instituta*, 2011, vol. 194, p. 128.

17. Petrov D. A. Osobennosti struktury rud Rubtsovskogo kolchedanno-polimetallicheskogo mestorozhdeniya (Rudnyy Altay). *Zapiski Gornogo instituta*, 2006, vol. 167, no. 2, p. 40.

18. Travin A. V., Vladimirov A. G., Murzintsev N. G., Annikova I. Yu., Khromykh S. V., Kotler P. D. Petrologicheskaya model' redkometall'nykh mestorozhdeniy Kalba-Narymskogo poyasa (Vostochnyy Kazakhstan). *Vestnik Vostochno-Kazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni D. Serikbaeva*, 2021, no. 3, pp. 21–28.

19. Senchina N. P. Dekonvolutsiya Eylera v interpretatsii dannykh potentsial'nykh poley Kazansko-Kazhimskogo avlakogena. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2021, no. 11 (113).

20. Surkov V. S., Zhero O. G., Umantsev D. F., Zaytseva G. M. Tektonika i glubinnoe stroenie Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti. Moscow, Nedra, 1973, 144 p.

21. Khromykh S. V. Bazitovyy i sopryazhenny granitoidnyy magmatizm kak otrazhenie stadiy razvitiya Altayskoy akkretsiionno-kollizionnoy sistemy (Vostochnyy Kazakhstan). *Geologiya i geofizika*, 2022, vol. 63, no. 3, pp. 330–355.

22. Elektronnoe izdanie «Atlas „Opornye geologo-geofizicheskie profili Rossii“. Glubinnye seismicheskie razrezy po profilyam GSZ, otrabotannym v period s 1972 po 1995 god». VSEGEI, 2013.

23. 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.

24. Egorov A. S., Prischeva O. M., Nefedov Y. V., Kontorovich V. A., Vinokurov I. Y. Deep Structure, Tectonics and Petroleum Potential of the Western Sector of the Russian Arctic. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2021, vol. 9, iss. 3, 258 p.

25. Movchan I. B., Yakovleva A. A., Movchan A., Shaygallyamova Z. I. Early assessment of seismic hazard in terms of Voronezh massif-Moscow Depression contact. *Mining of Mineral Deposits*, 2021, no. 15, pp. 62–70.

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

Дергилёва Екатерина Андреевна – студент, кафедра геофизики, СПГУ. <dergilevaea@yandex.ru>

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

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

Dergileva Ekaterina Andreevna – Student, Department of Geophysics, SPMU. <dergilevaea@yandex.ru>

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

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

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