DOI:10.47765/0869-7175-2020-10028

УДК 551.24.01 (571.61/.64)
© Е.Г.Иволга, Ю.Ф.Манилов, В.Б.Каплун, 2020

Глубинное строение минерагенических зон Южного Приморья

Е.Г.ИВОЛГА, Ю.Ф.МАНИЛОВ, В.Б.КАПЛУН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИТиГ ДВО РАН); 680000, г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65)

На основе комплексного анализа сейсмической, плотностной, магнитной и геоэлектрической информации вдоль геотраверса г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная установлены особенности глубинного строения минерагенических зон региона. Показано, что геофизические методы, имея разную физическую основу, отражают разные характеристики элементов литосферы. Полученные разносторонние геофизические данные позволяют через структурные особенности и физические характеристики минерагенических объектов выявить генезис эндогенных оруденений различного типа, выработать новые подходы к процессу прогнозирования.
Ключевые слова: геофизическая модель, литосфера, террейн, минерагеническая зона, оруденение, дизъюнктивная структура.

Иволга Екатерина Григорьевна
кандидат геолого-минералогических наук — k.ivolga2011@yandex.ru

Манилов Юрий Феликсович
кандидат геолого-минералогических наук — ymanilov@itig.as.khb.ru

Каплун Виталий Борисович
кандидат геолого-минералогических наук — kaplun@itig.as.khb.ru

The deep structure of mineragenetic zones in Southern Primorye

E.G.IVOLGA., Yu.F.MANILOV, V.B.KAPLUN (Institute of Tectonics and Geophysics FEB RAS)

The deep structure of mineragenetic zones under the Spassk-Dalniy–Zerkalnaya Bay geotraverse has been derived from the integrated interpretation of seismic, density, magnetic, and geoelectric data. The studies demonstrate that geophysical methods based on different physical principles reflect various characteristics of lithosphere elements. Large sets of the obtained geophysical data provide crucial information on structural features and physical characteristics of mineragenetic objects to understand the genesis of endogenous mineralization of various types and develop new approaches to forecasting.
Key words: geophysical model, lithosphere, terrane, mineragenetic zone, mineralization, disjunctive structure.

Южная часть Приморья (рис. 1) в геологическом и металлогеническом отношении является наиболее изученным регионом Дальнего Востока. Территория в значительной степени покрыта геологической съёмкой 1:50 000, по ней регулярно проводятся обобщающие работы по тектонике, магматизму и металлогении [3, 4, 6–9, 12, 14, 15, 17–21]. Несмотря на постоянную эволюцию парадигм и методики геологических исследований, большинство работ как в прошлом, так и в настоящее время основывается на изучении верхней части земной коры, то есть области локализации основных рудно-магматических систем (РМС). Гораздо хуже обстоит дело с изучением глубинного строения литосферы областей генерации и транзита РМС.

Цель настоящей работы – на основе комплексной обработки и интерпретации данных разных геофизических методов выявить особенности строения литосферы минерагенических зон вдоль геотраверса г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная.

Тектоника. С запада на восток профиль пересекает Ханкайский супертеррейн (ХС) и Сихотэ-Алинский орогенный пояс (САОП) с наложенным на него в восточной части Восточно-Сихотэ-Алинским вулкано-плутоническим поясом (ВСАВПП) [3, 4, 6] (см. рис. 1).

Ханкайский супертеррейн, он же Ханкайский массив [3, 19], – наиболее древнее гетерогенное сооружение (PR_1–O), состоящее из четырёх террейнов, имеющих разную геодинамическую природу:

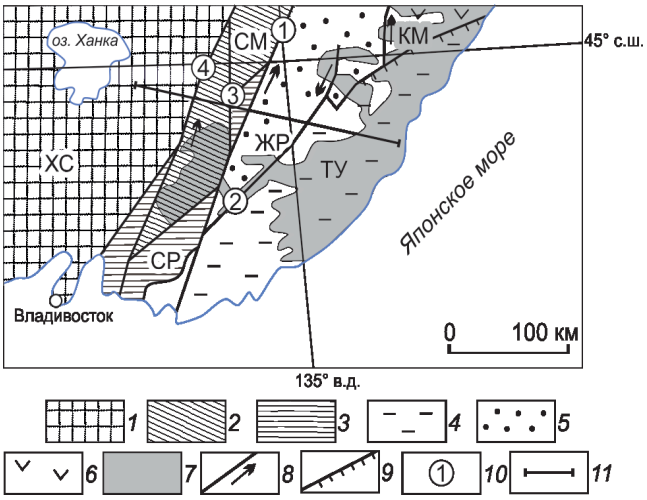


Рис. 1. Тектоническая схема южного Приморья с расположением профиля исследований г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная. *По [4]*:

1 – Ханкайский (ХС) докембрийский супертеррейн; *2–3* – юрские террейны: *2* – фрагменты аккреционных призм (СМ – Самаркинский), *3* – фрагменты докембрийского-раннепалеозойского континента, включённые в структуры юрской аккреционной призмы и испытавшие вместе с ними цикл син- и постаккреционных преобразований (СР – Сергеевский комплекс Самаркинского террейна); *4–6* – раннемеловые террейны – фрагменты: *4* – неокомской аккреционной призмы (ТУ – Таухинский), *5* – приконтинентального синсдвигового турбидитового бассейна (ЖР – Журавлевско-Амурский), *6* – баррем-альбской островодужной системы (КМ – Кемский); *7* – наложенные вулканогенные пояса; *8* – левые сдвиги; *9* – надвиги; *10* – основные разломы: 1 – Центральный Сихотэ-Алинский, 2 – Фурмановский, 3 – Меридиональный, 4 – Арсеньевский; *11* – геофизический профиль г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная

Матвеевско-Нахимовского, Спасского, Вознесенского и Сергеевского. Амальгамация этих террейнов произошла в позднесилурийское время и сопровождалась внедрением коллизионных гранитов шмаковского и гродековского комплексов. Он сложен преимущественно метаморфическими породами разной степени метаморфизма. Изучаемый профиль пересекает Спасский террейн ($Є_1$). Террейн является фрагментом раннепалеозойской аккреционной призмы, сложен хаотическими образованиями турбидитов, известняков, переслаивающихся с кремнями, конгломератами, песчаниками и алевролитами, включающий ультраосновные и основные образования.

Сихотэ-Алинский орогенный пояс представлен с запада на восток Самаркинским, Журавлевско-Амурским и Таухинским террейнами.

Самаркинский террейн сложен комплексами аккреционной призмы (T–J) с глыбами, олистоплаками палеозойских и мезозойских пород различного состава с фрагментами океанических пород рифтовых зон (тахалинский перидотит-габбровый комплекс, P_2).

Журавлевско-Амурский террейн представляет собой синсдвиговый турбидитовый (возможно задуговой) бассейн, выполненный флишевыми и флишоидными терригенными толщами (K_1), формировавшимися в обстановке трансформной окраины. Разрез отложений террейна отчётливо разделяется на берриас-валанжинскую и готерив-альбскую части. В первой преобладают алевролиты и алевроаргиллиты с горизонтами олистростром, во второй части значительна роль флиша и песчаниковой составляющей.

Таухинский террейн – самый восточный, по своей геодинамической характеристике близок к Самаркинскому, является фрагментом неокомской аккреционной призмы. Его отличие в более молодом (K_1) возрасте матрикса. В пределах Таухинского террейна выделяются три породных комплекса, залегающих друг на друге: снизу силинский, выше горбушинский и устиновский. Силинский комплекс состоит из разреза верхнеюрских базальтов и кремнистых пород, перекрывающихся берриас-валанжинскими турбидитами. Горбушинский комплекс пород представлен триасовыми кремнями, юрскими кремнисто-глинистыми породами и берриас-валанжинскими турбидитами. Устиновский комплекс выделяется по олистоплакам, нижняя часть которых состоит из конгломератов, а верхняя – из турбидитов. Характерная особенность террейна – в наличии крупных пластин карбонатных пород, разделяющих вышеуказанные комплексы.

Восточно-Сихотэ-Алинский вулкано-плутонический пояс – наложенная на породы Таухинского, частично Журавлевско-Амурского и Самаркинского террейнов структура, являющаяся частью активной континентальной окраины над зоной субдукции [2, 4]. В пределах профиля вулкано-плутонический пояс расположен в крайней восточной части. Вулканогенная составляющая представлена несколькими вулкано-плутоническими ассоциациями позднего мела и палеогена. *Позднемеловые ассоциации* – производные известково-щелочного магматизма магнетитовой серии, доминирующие во фронтальной части пояса. В тыловой части возрастает щёлочность магматических образований, которые относятся к магнетит-ильменитовой или ильменитовой серии [12]. *Позднемеловые–палеогеновые и палеогеновые* вулкано-плутонические породы выполняют структуры преимущественно субширотного и северо-западного простирания, образование которых связано со сдви-

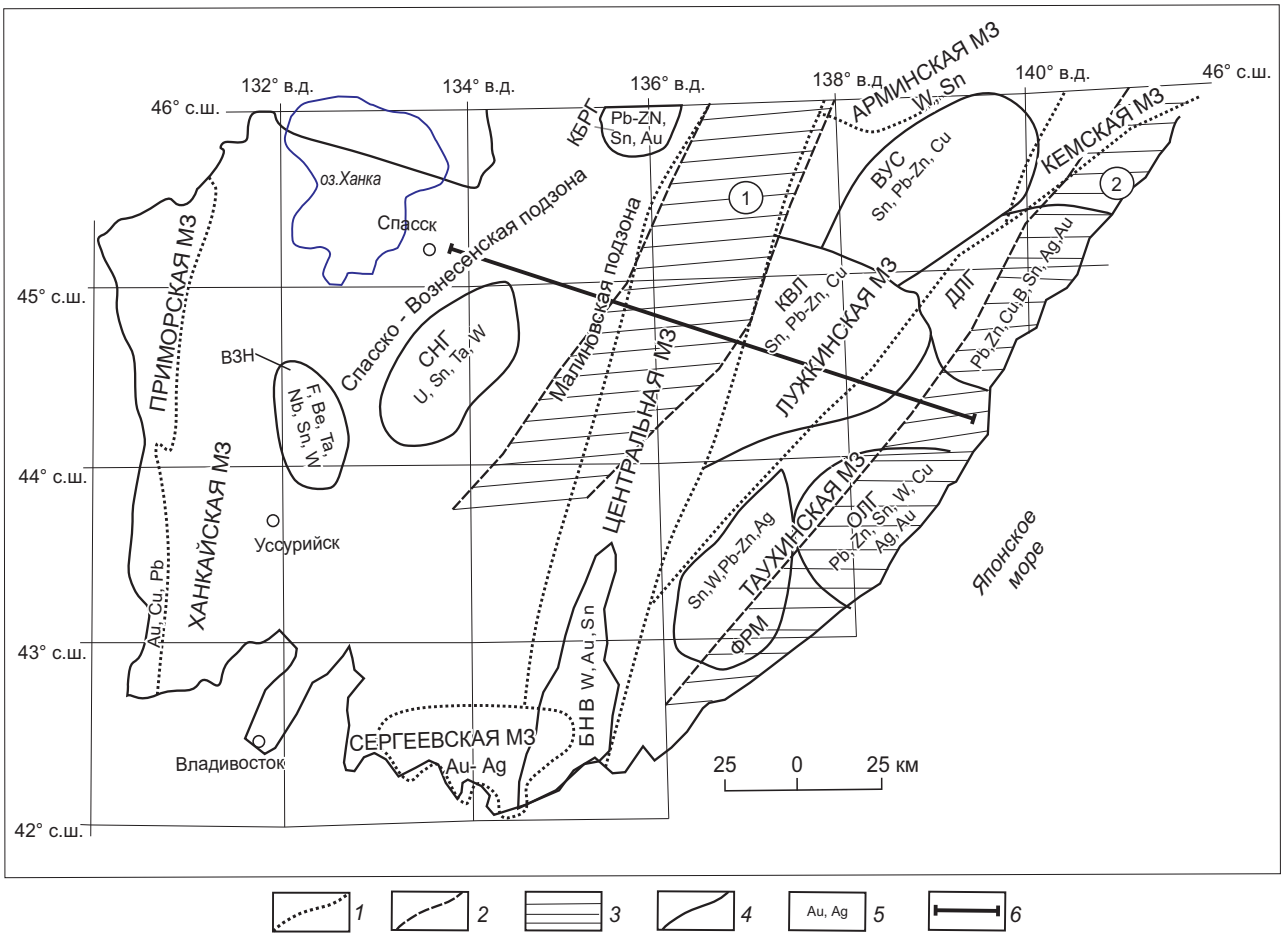


Рис. 2. Металлогенические зоны южного Приморья:

границы: *1* – металлогенических зон (МЗ), *2* – наложенных МЗ; *3* – область распространения наложенных МЗ (1 – Ариадненской, 2 – Прибрежной); *4* – границы рудных районов; *5* – рудная специализация рудных районов и зон; рудные районы: СНГ – Синегорский, ВЗН – Вознесенский, КБРГ – Кабаргинский, КВЛ – Кавалеровский, ВУС – Верхне-Уссурский, ДЛГ – Дальнегорский, ОЛГ – Ольгинский, ФРМ – Фурмановский, БНВ – Беневской; *6* – геофизический профиль г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная

говыми зонами растяжения в обстановке трансформной окраины. Эти магматиты обладают чертами, свойственными внутриплитным образованиям.

Минерагения. Существует много схем минерагенического районирования Приморья, созданных по разным принципам: по генезису преобладающего оруденения, по возрасту магматизма и преобладающего оруденения [4, 15, 17, 20], по геодинамическим условиям образования (доаккреционные, синаккреционные, постаккреционные) [4, 17, 20, 21], по особенностям вмещающих структур и др. [3, 4, 14, 19]. Несмотря на разные подходы к районированию, положение металлогенических зон (МЗ) и ареалов рудоносности вдоль профиля существенно не меняется. МЗ имеют субмеридиональное простирание в рамках выделенных террейнов или по-старому блоков Ханкайского массива и САОП.

Для данной работы использовано минерагеническое районирование М.Д.Рязанцевой [17], которое основано на разделении рудогенерирующего магматизма по геодинамическим условиям образования, и охарактеризованы следующие типы МЗ (рис. 2):

1. Область проявления коллизионного магматизма – Ханкайская МЗ (ХС), Центральная МЗ (Самаркинский террейн).

2. Области проявления субдукционного магматизма – Лужкинская (Журавлевско-Амурский террейн), Таухинская МЗ (Таухинский террейн).

3. Области проявления внутриплитного магматизма – Ханкайская МЗ (Ханкайский супертеррейн), Ариадненская наложенная (Самаркинский террейн), Прибрежная наложенная (Таухинский террейн).

Металлогенические зоны областей проявления коллизионного магматизма. Коллизионный магматизм в пределах *Ханкайской МЗ* начался в раннем палеозое и завершился в силуре. На восточной окраине ХС образовались крупные батолитоподобные массивы биотитовых и роговообманково-биотитовых микроклиновых и лейкократовых гранитов шмаковского комплекса, с которыми на профиле связаны единичные мелкие, не имеющие практического значения рудопроявления вольфрама, полиметаллов, железа (Спасско-Вознесенская подзона). Это скарны, локализующиеся в неглубоких и незначительных по площади провесах кровли, имеющих в своём составе карбонатные породы.

Центральная МЗ пространственно совпадает с Самаркинским террейном САОП, лежит не только в области столкновения, но и перемещения блоков на северо-восток вдоль окраинно-континентальных левосторонних сдвигов. Здесь происходил метаморфизм субстрата и выплавление из него больших объёмов анатектоидных гранитов. Раннемеловые гранитоиды объединяют две плутонические ассоциации – хунгарийский комплекс с особым типом высокоглинозёмистых гранитов (K_1g) и татибинский с повышенной глинозёмистостью и биотитовым типом гранитов (K_1al). С хунгарийскими гранитами в крайней северо-западной части Приморья связаны уникальные месторождения вольфрама. С гранитами татибинского комплекса ассоциируют мелкие месторождения и рудопроявления вольфрама (с оловом) и золота.

С севера на юг (за пределами профиля) в Центральной МЗ выделяются вольфрамоносные рудные районы (РР): Лермонтовский, Средне-Уссурский, Малиновский, Беневской. Рудные тела приурочены к горизонтам известняков в составе крупных олистолитов. Одни из основных особенностей руд – обилие сульфидов, присутствие золота. В то же время и золоторудные проявления обогащены вольфрамом. В олистоплаках кремнистых пород известны проявления марганцевых руд.

В восточной части профиля раннемеловой коллизионный магматизм проявился в *Прибрежной МЗ.* С ним связаны проявления вольфрама, олова, полиметаллов.

Металлогенические зоны проявления субдукционного магматизма. Проявления данного типа магматизма вдоль изучаемого профиля в основном связаны с фрагментом ВСАВПП, который наложен на террейны Сихотэ-Алинского орогена. Формирование пояса произошло над зоной субдукции. В зоне влияния ВСАВПП выявлено две третьих месторождений Приморья.

В составе ВСАВПП участвует несколько разновозрастных вулкано-плутонических ассоциаций: сеноман-туронская, турон-кампанская и маастрихтская. В прибрежной фронтальной части ВСАВПП в составе комплексов доминируют породы известково-щелочных серий с магнетитом, магнитная восприимчивость их 1000×10^5 ед. СИ и более.

Для тыловой части в породах сеноман-кампанского времени фиксируются увеличение основности и щелочности вулкано-плутонических комплексов и появление монцонитоидов среди интрузий магнетит-ильменитовой или ильменитовой серии.

Таухинская МЗ расположена в прибрежной фронтальной части ВСАВПП. В качестве фундамента здесь выступает акреционная призма (K_1) с многочисленными аллохтонными глыбами и олистоплаками триасовых известняков. На севере к профилю примыкает Дальнегорский рудный район, а на юге Ольгинский, который, по сути, является южным продолжением Дальнегорского. В Дальнегорском РР в туроне–сантоне сформировалось уникальное по геологии и размерам скарновое боросиликатное месторождение, а также зоны прожилково-вкрапленного олово-полиметаллического оруденения в окварцованных и турмалинизированных вулканитах (месторождение Заявочное). Собственно Pb-Zn-скарновые месторождения формировались в маастрихтское время, размещаются в олистоплаках триасовых известняков.

Лужкинская МЗ находится преимущественно в тыловой (монцонитоидной) зоне ВСАВПП и охватывает южную часть Журавлевско-Амурского террейна, фрагментарно выходит за его пределы. МЗ объединяет значительную часть промышленно интересных оловорудных объектов Приморского края. Геофизический профиль пересекает наиболее изученный Кавалеровский РР, где западная его часть находится в пределах Журавлевско-Амурского террейна, а восточная – в пределах Таухинского. Ареал распространения оловянных месторождений связан с многокилометровыми толщами турбидитов.

Пространственно большинство месторождений и рудопроявлений Лужкинской МЗ тяготеют к субширотным и северо-западным вулкано-тектоническим депрессиям (ВТД), которые выполнены субщелочными вулканитами палеогенового богопольского комплекса.

В пределах ВСАВПП выделяют наложенную *Прибрежную МЗ*, охватывающую Прибрежный и Кемский блоки (за пределами площади), в которой Au-Ag минерализация связана с палеогеновыми вулка-

нитами и интрузиями (якутинский комплекс). Они резко отличаются от позднемеловых вулкано-плутонических комплексов. Их формирование связано со сдвиговыми зонами растяжения в тыловой части Японской островодужной системы [4, 20], образовавшейся в постсубдукционный период в трансформной континентальной окраине.

Металлогенические зоны областей проявления внутриплитного магматизма. Формирование МЗ этого типа не связанно с взаимодействием литосферных плит. Среди них различают комплексы «смешанных» и «несмешанных» магматических серий [17]. Первые – это вулканические и плутонические породы, образовавшиеся в связи с внедрением в литосферу мантийного плюма без существенного изменения состава исходной магмы; представлены они базальтовыми и базит-гипербазитовыми комплексами. Вторые – со значительным изменением состава исходной магмы в результате взаимодействия с веществом верхней мантии и земной коры.

Магматизм «несмешанных» серий проявился исключительно в Самаркинском террейне, представлен позднеюрскими интрузиями кокшаровского ультраосновного–щелочного и ареадненского перидотит-габброидного комплексов. Здесь выделена наложенная *Ариадненская МЗ*, где с массивами габбро-перидотитов ариадненского комплекса связано титановое оруденение, представленное исключительно скоплениями ильменита (Ариадненское месторождение). Коренные месторождения сопровождаются промышленными россыпями ильменита, титано-ильменита, сфена, ильмениторутила. В этой же зоне выявлены меймечиты, слагающие экструзивные тела и брекчии меймечит-пикрит-кимберлитового состава, с которыми могут быть связаны платина и алмазы. Со щелочными породами сиенитового ряда кокшаровского комплекса, в том числе сиенитоподобными породами, претерпевшими интенсивный щелочной метасоматоз, тесно связана минерализация Nb, Zr, TR. В нескольких ультраосновных массивах также проявлена никелевая вкрапленная минерализация. Магматизм «смешанных» серий выявлен в двух минерагенических зонах – Ханкайской и Прибрежной.

К этим магматическим ассоциациям относятся: ордовикские вознесенские граниты, локально развитые в пределах Спасско-Вознесенского блока, раннекаменноугольные куйбышевские граниты – комагматы вулканитов, широко распространённых в Синегорской вулканической впадине. В южной части МЗ расположен *Вознесенский РР*, который характеризуется многообразием генетических и минеральных типов минерализации. Основная специализация оруденения района – фтор, олово, редкие металлы. В пределах Синегорской наложенной вулканической впадины, выполненной девонскими и каменноугольными вулкано-плутоническими комплексами «смешанных» серий, расположен Синегорский РР, обладающий резко выраженной специализацией на U, Mo, F. В куйбышевских гранитах известны мелкие проявления Sn касситерит-кварцевой формации, Ta, Nb, Au.

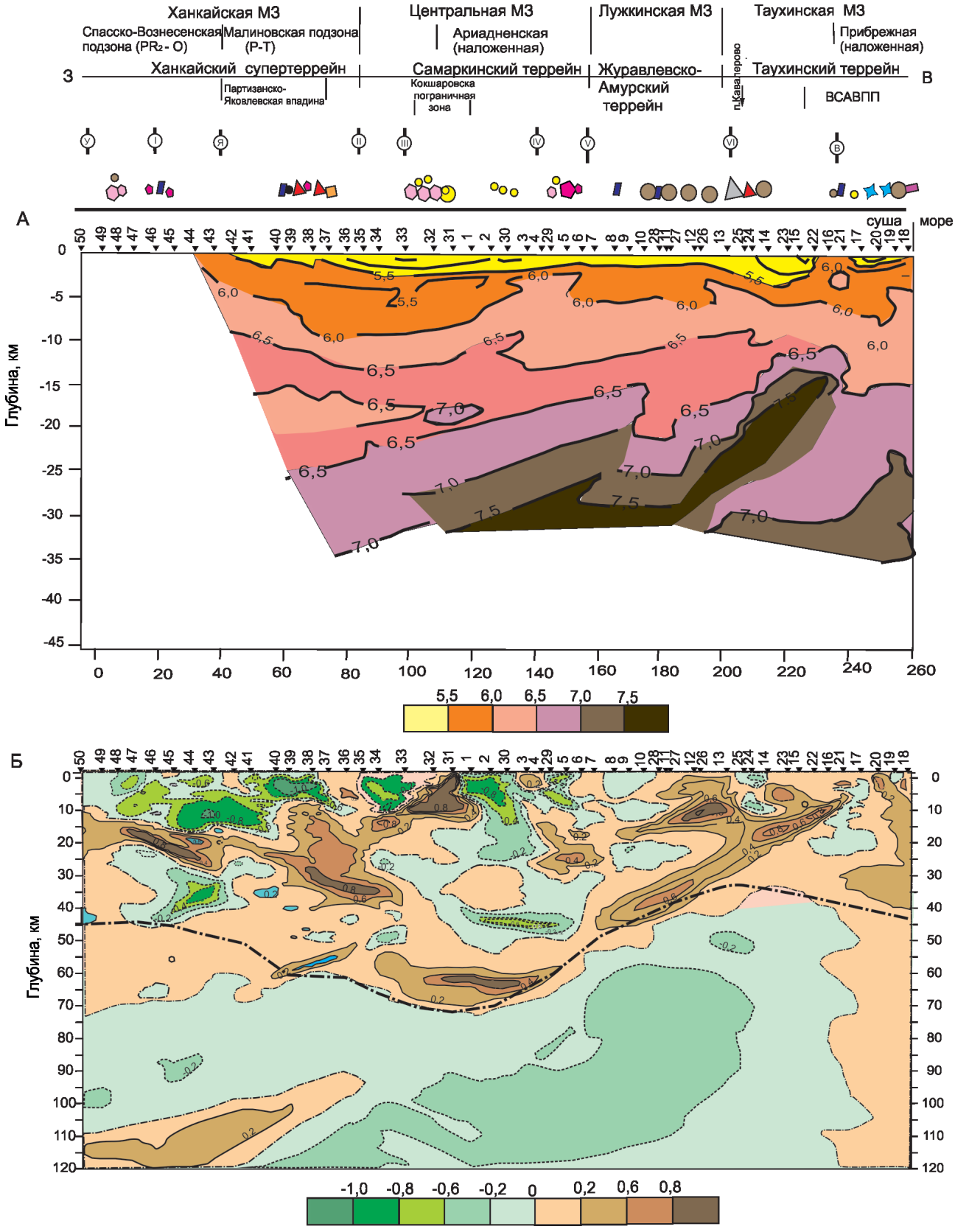
Исходные данные и методика. Выбор геотраверса для изучения обусловлен наличием информации по комплексу геофизических методов. В разные годы вдоль профиля проведены: сейсморазведка (ГСЗ) [1, 5], электроразведка (МТЗ) [10], гравиразведка и магниторазведка в рамках выполнения соответствующих съёмок и создания государственных карт магнитного и гравитационного полей масштабов 1:200 000–1:1 000 000.

Глубинные сейсмические зондирования (ГСЗ) на протяжении достаточно долгого времени использовались специалистами в том виде, в каком представили свои результаты непосредственные исполнители работ [5]. В последнее время первичные данные подверглись переинтерпретации – откорректировалась скоростная картина профиля и её геологическая интерпретация [16]. В настоящей работе приводится авторское понимание этих материалов применительно к металлогеническому районированию.

Обработка гравиметрических и магнитометрических материалов проводилась по апробированной методике [8, 9, 11]. Основным инструментом обработки информации геопотенциальных полей являлась компьютерная технология «КОСКАД 3D», предназначенная для анализа трёхмерной цифровой геоинформации методами вероятностно-статистического подхода [12]. По результатам решения обратных задач были созданы плотностная и магнитная 3D модели Южного Приморья, на основании которых далее построены интерпретационные разрезы по геотраверсу г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная (рис. 3, Б, В) вдоль линии ГСЗ и двух параллельных ему профилей, заданных в 50 км к югу и к северу от основного.

Глубина расчётной модели для данной работы выбрана исходя из глубины залегания главных гравитирующих поверхностей, которые рассчитывались по параметрам аномалий поля силы тяжести, составляет 122 км. Плотностной разрез является вертикальным срезом полученной модели.

Положение глубинных разломов взято по данным [3, 19] и материалам изданных и подготовленных к изданию листов Государственной геологической карты РФ масштаба 1:1 000 000 (3-е изд.) [6]. Глубинные нарушения – границы раздела сред с различными характеристиками физических параметров.


Ханкайская МЗ
Спасско-Вознесенская подзона (PR₂ - O)
Малиновская подзона (P-T)
Центральная МЗ
Ариадненская (наложенная)
Лужкинская МЗ
Таухинская МЗ
Прибрежная (наложенная)
З
Ханкайский супертеррейн
Партизанско-Яковлевская впадина
Самаркинский террейн
Кокшаровска пограничная зона
Журавлевско-Амурский террейн
п.Кавалерово
Таухинский террейн
ВСАВПП
В
А
суша
море
Глубина, км
5,5 6,0 6,5 7,0 7,5
Б
Глубина, км
-1,0 -0,8 -0,6 -0,2 0 0,2 0,6 0,8

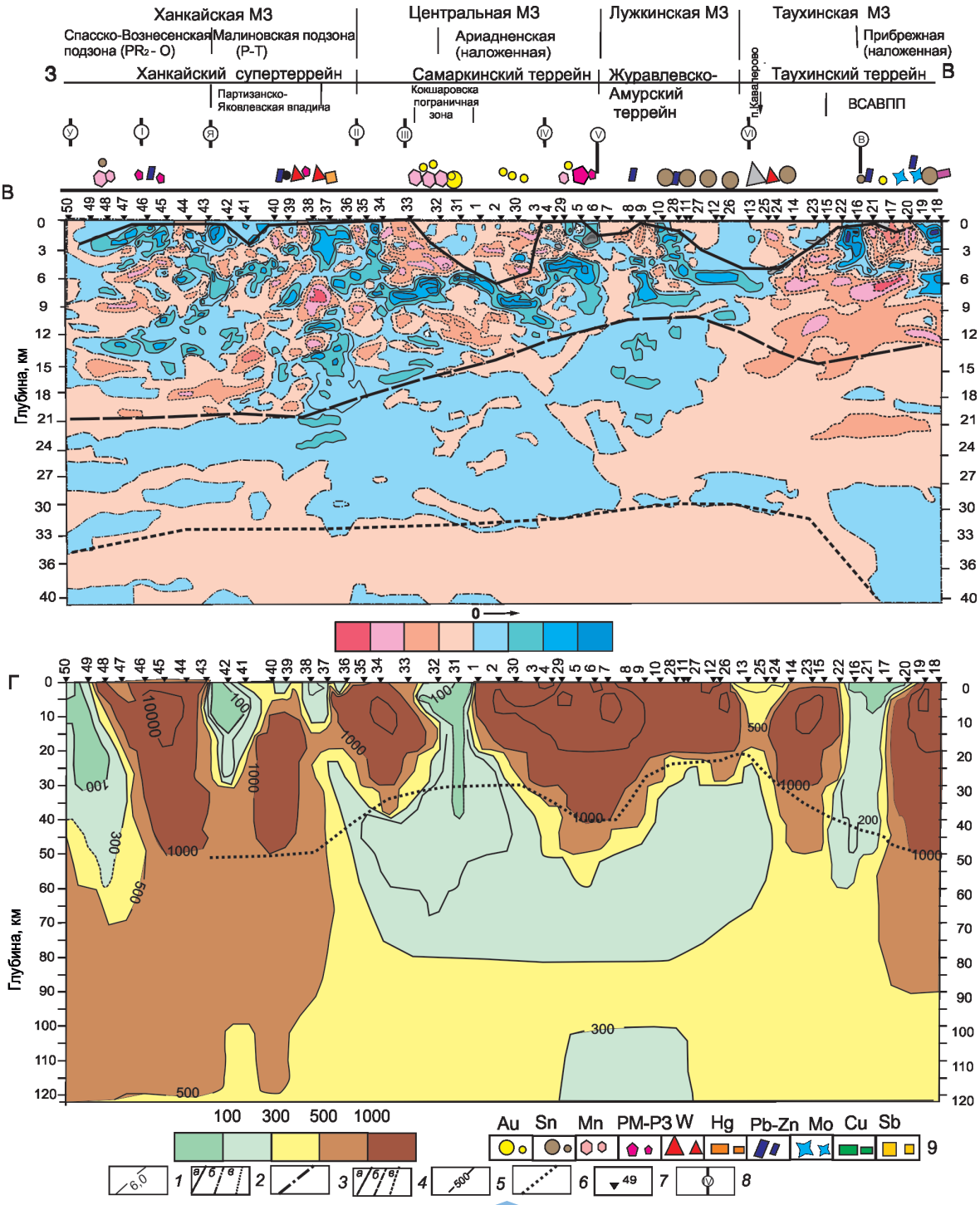


Рис. 3. Проявленность металлогенических зон в физических полях по профилю г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная:

А – в скоростном разрезе; Б – в разрезе гравитационного поля; В – в разрезе магнитного поля; Г – в разрезе кажущегося электрического сопротивления; *1–2* – изолинии: *1* – скорости продольных волн (для разреза А), *2* – физических полей: *а* – положительные, *б* – нулевые, *в* – отрицательные (для разрезов Б и В); *3* – нижняя граница дифференцированного гравитационного поля; *4* – глубинные границы типов магнитного поля: *а* – первая приповерхностная слабоинтенсивного поля, *б* – вторая сильно дифференцированного интенсивного поля, *в* – третья слабоположительного поля, ниже которой область слабоотрицательного поля (для разреза В); *5* – изолинии кажущегося удельного сопротивления (для разреза Г); *6* – нижняя граница высокоомной части разреза; *7* – пункты МТЗ; *8* – общепризнанные разломы, выделенные по геологическим и геофизическим данным: I – Среднеханкайский, II – Арсеньевский, III – Самаркинский, IV – Меридиональный, V – Центрально-Сихотэ-Алинский, VI – Фурмановский; второстепенные разломы: У – Уссурийский; Я – Яковлевский; В – Восточный; *9* – месторождения и проявления полезных ископаемых

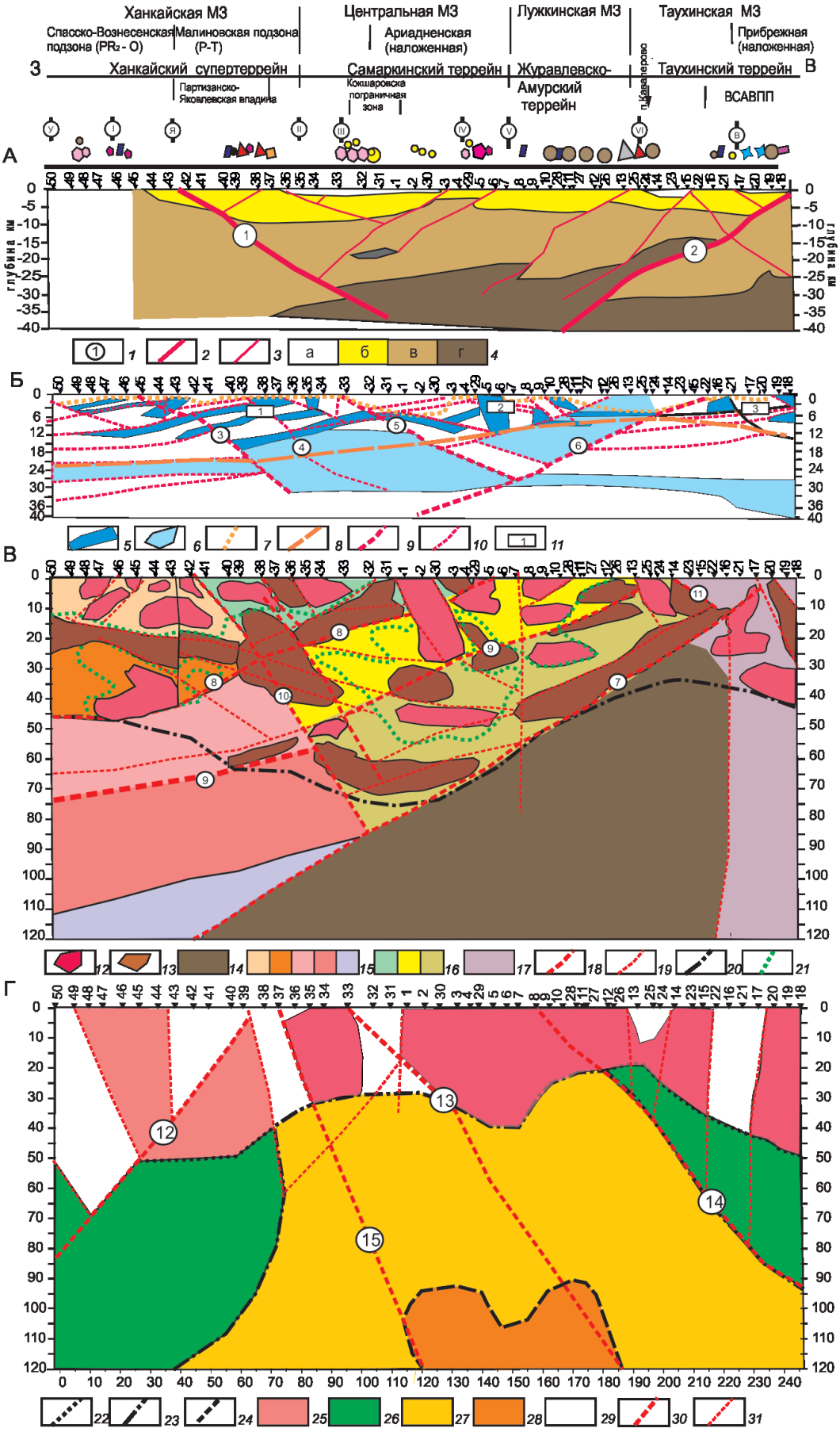

Ханкайская МЗ
Спасско-Вознесенская подзона (PR₂ - O)
Малиновская подзона (P-T)
Центральная МЗ
Ариадненская (наложенная)
Лужкинская МЗ
Таухинская МЗ
Прибрежная (наложенная)
З
Ханкайский супертеррейн
Самаркинский террейн
Журавлевско-Амурский террейн
Таухинский террейн
В
Партизанско-Яковлевская впадина
Кокшаровска пограничная зона
п.Кавалерово
ВСАВПП
А
Б
В
Г
глубина км
км

Рис. 4. Проявленность металлогенических зон в геофизических моделях по профилю г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная:

А – интерпретационный сейсмический разрез: разломы: *1* – общепризнанные (название см. рис. 3), *2* – мантийные, выделенные на основе разреза скоростей, *3* – прочие; *4* – предполагаемые слои на основе разреза скоростей: *а* – осадочный нелитифицированный (до 5,5 км/сек), *б* – осадочный литифицированный (5,5–6,0 км/сек), *в* – гранитно-метаморфический (6,0–7,0 км/сек), *г* – базитовый (>7 км/сек); Б – интерпретационный разрез эффективной намагниченности: *5* – локальные аномалии высокой намагниченности; *6* – области повышенной намагниченности; *7* – граница приповерхностной зоны пониженной намагниченности; *8* – нижняя граница магнитоактивного слоя; разломы, выделенные на основе магнитной модели: *9* – главные и *10* – прочие; *11* – структуры купольного типа, выделяемые на основе магнитной модели, предположительно интрузивной природы; В – плотностной интерпретационный разрез: локальные аномалии эффективной плотности: *12* – положительной, *13* – отрицательной, *14* – области пониженной плотности; *15–17* – строение литосферы глубинных областей: *15* – Ханкайской, *16* – Сихотэ-Алинской, *17* – Япономорской; *18–19* – разломы, выделенные на основе разреза эффективной плотности: *18* – главные, *19* – прочие; *20* – граница литосферы корового типа; *21* – области внутрикорового разуплотнения; Г – геоэлектрический интерпретационный разрез: *22* – нижняя граница разреза с сопротивлением более 1000 Ом·м; *23* – нижняя граница разреза с сопротивлением более 500 Ом·м; *24* – верхняя граница разреза с сопротивлением менее 300 Ом·м; *25* – область слоя с сопротивлением более 1000 Ом·м, предположительно соответствующая мощности земной коры; *26* – область слоя с сопротивлением 500–1000 Ом·м, предположительно соответствующая «твёрдой» мантии; *27* – область слоя 500–300 Ом·м, предположительно соответствующая флюидонасыщенной мантии; *28* – область слоя с сопротивлением менее 300 Ом·м, соответствующая предположительно области разогретой мантии; *29* – флюидопроводящие каналы и области в коре с сопротивлением менее 300 Ом·м; *30* – главные разломные системы и их нумерация по геоэлектрическим данным; *31* – прочие разломы

Обзор полученных результатов. На первом этапе исследований построены геофизические модели (см. рис. 3) по отдельным геофизическим методам, особенности которых изложены ниже.

Сейсмическая модель представлена на рисунках 3 и 4. Скоростная картина поля по профилю г. Спасск-Дальний–возвышенность Витязя (см. рис. 3, А) приведена без изменений по работе А.Г.Родникова и соавторов [16, континентальная часть]. На рис. 4, А отражена генерализация сейсмического разреза по полю скоростей. Скоростное поле модели ограничивается глубиной 45 км.

По аналогии с [1, 2] было выделено четыре формальных слоя: нелитифицированный «осадочный» (<5,5 км/сек), «осадочно-вулканогенный» (5,5–6 км/сек), «гранитно-метаморфический» (6–7 км/сек) и «базальтовый» (7–8 км/сек). Часть границ, проведённых по линиям градиентов скоростей, идентифицирована как глубинные нарушения. В основном они имеют падение в сторону Ханкайского массива и только на крайнем западе профиля появляются нарушения с падением в сторону Сихотэ-Алинского орогена.

На рис. 4, А контрастно проявились 3 части: западная, центральная и восточная. Центральная, расположенная между глубинными нарушениями 1 и 2, наиболее контрастная, с резким изменением формы, мощности и глубины залегания основных слоёв. Основным тектонообразующим глубинным фактором на разрезе явился подъём континентального базальтового слоя. В западной и восточных частях границы слоёв близгоризонтальные. В западной части наиболее мощный из всех гранитно-метаморфический слой. Базальтовый слой в этой части на скоростном разрезе фиксируется не везде и наиболее погружён в сравнении с центральной и восточной частями.

Магнитная модель. По вертикали разрез охватывает всю мощность земной коры, где по характеру магнитного поля выделяется 4 слоя (см. рисунки 3, В и 4, Б). *Первый* слой – приповерхностная область слабомагнитных образований. Максимальная её мощность (до 6 км) наблюдается в пределах Кокшаровской пограничной зоны и Центральной МЗ, на границе Лужкинской и Таухинской МЗ, в пределах Партизанско-Яковлевской впадины. *Второй* слой – наиболее дифференцированный и структурированный по магнитным свойствам. В пределах Ханкайского массива глубина его нижней границы достигает 21 км, постепенно уменьшаясь в восточном направлении до 10 км с локальным подъёмом в районе Фурмановского разлома (граница Лужкинской и Таухинской МЗ). *Третий* глубинный слой по магнитным свойствам слабо дифференцирован, его максимальная глубина достигает 40 км. По латерали делится на две части: западная от ХС до Фурмановского разлома, где характерно слабоположительное магнитное поле, и восточная после Фурмановского разлома, для которой характерно слабоотрицательное магнитное поле. *Четвёртый* слой по магнитным свойствам наименее дифференцирован. В целом для него характерна отрицательная намагниченность. Только на глубине 26–30 км под Таухинской МЗ выделяются локальные области повышенной намагниченности.

Плотностная 3D модель. Согласно плотностному разрезу (см. рисунки 3, Б и 4, В), по характеру распределения плотностных неоднородностей

выделяются две части: относительно расчленённая верхняя (0–70 км) и слаборасчленённая нижняя (50–120 км). Границу между ними авторы интерпретируют как нижнюю границу литосферных образований корового типа. Коровые образования Ханкайского супертеррейна (ХС) и Сихотэ-Алинского орогенного пояса (САОП) образуют синклиналь с более пологим западным бортом в ХС и более крутым восточным в САОП. В центральной части, в области взаимодействия литосферных объектов ХС и САОП на глубинах 50–70 км выделяются аномалии высокой плотности. В восточной части разреза наблюдается ещё более крупная линейная аномалия высокой плотности, погружающаяся от 10 до 50 км с востока на запад.

Нижняя часть плотностного разреза с глубины 40–50 км до его основания характеризуется преимущественно однородным полупространством пониженной плотности, окружённым сверху и с востока областями повышенной плотности. Область пониженной плотности нижней части разреза имеет тенденцию воздымания с запада на восток от основания разреза к поверхности.

Геоэлектрическая модель (см. рисунки 3, Г и 4, Г) отражает распределение электропроводности на глубину 120 км. По вертикали разрез делится на 2 части: высокоомную верхнюю и низкоомную нижнюю. Литосфера с сопротивлением свыше 1000 Ом и сильной дифференциацией наблюдается до глубины не более 50 км. Вероятно, этой глубиной ограничивается область распространения коровых образований.

Нижняя часть разреза демонстрирует распределение сопротивлений в верхней мантии. Области повышенного сопротивления (500–1000 Ом·м) наблюдаются в пределах Ханкайского массива и прибрежной части ВСАВПП. В центральной части профиля на глубине 50–115 км наблюдается подъём относительно низкоомного горизонта с сопротивлением 500 Ом и менее.

Интерпретация. Понимание геолого-структурных особенностей металлогенических зон выполнено на основе комплексного анализа указанных моделей. В структуре литосферы рассматриваемых разрезов (см. рис. 3) заметно выделяются 2 основных глубинных горизонта: условно 0–70 и 50–120 км.

Верхний горизонт представлен на всех геофизических разрезах, нижний – только на плотностном и геоэлектрическом.

Анализируя полученные интерпретационные разрезы (см. рис. 4), можно отметить, что системы глубинных нарушений № 10 и № 7+№ 11 (см. рис. 4, В) делят литосферу вдоль геотрансекта г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная на 3 части (глубинные области): западную – Ханкайскую (ХГО), центральную – Сихотэ-Алинскую (САГО) и восточную – Япономорскую (ЯМГО).

Ханкайская глубинная область имеет сложнопостроенную верхнюю часть разреза до глубины 20–25 км, где наблюдается большое количество наклонных границ как восточного, так и западного падения, простирание которых контролируют субвертикальные и наклонные глубинные нарушения. Нижняя часть разреза более однородна и имеет преимущественно субгоризонтальное залегание элементов глубинного строения.

Структурно ХГО (см. рис. 4, В) состоит из 5 основных глубинных этажей, которые разбиты на блоки нарушениями различного падения, наиболее контрастные из них два коровых. Верхний этаж менее плотный, осложнён вертикальными локальными аномалиями разуплотнения (возможные плитные интрузии гранитоидов). Второй сверху этаж – менее дифференцирован, преимущественно сложен крупными линейными объектами высокой плотности. Нижние 3 этажа (преимущественно мантийные) значительно менее дифференцированы и отличаются между собой по плотностным характеристикам. Общей особенностью глубинной области является унаследованная слоистая структура как в земной коре, так и в литосферной мантии.

Сихотэ-Алинская глубинная область. Её наиболее контрастным элементом является чашеобразная структура, выделяемая в разных моделях и оконтуренная глубинными нарушениями: № 1 и № 2 в скоростном разрезе (см. рис. 4, А), № 3 и № 6 – в магнитном (см. рис. 4, Б), № 10 и № 7 – в плотностном (см. рис. 4, В).

Выделяемая в пределах САГО чашеобразная структура представляет собой моноклиналь, которая по вертикали делится на три наклонных яруса, разделённых прослоями образований высокой плотности, наклонённых в сторону Ханкайского массива.

Мантийная составляющая литосферы САГО (см. рис. 4, В) более однородная, с некоторым уменьшением плотности к востоку от Восточного разлома и подъёмом к окраине континента. На геоэлектрическом разрезе под САОП между Арсеньевским и Фурмановским разломами сопротивление верхней мантии относительно краевых частей понижено. В подкоровой части разреза сопротивление постепенно повышается, достигая максимальных значений в коре. Структура подъёма однородной мантии, выделенная на плотностной модели, в целом согласуется с распределением электрического сопротивления, которое соответствует характеристикам флюидонасыщенной мантии.

Япономорская глубинная область по физическим параметрам и структуре литосферы резко отличается

от остального разреза во всех четырёх моделях. Здесь в приповерхностной зоне морские образования воздымаются с Японского моря и наползают по линии нарушения № 11 (см. рис. 4, В) на нижний этаж Сихотэ-Алинской моноклинали в пределах Таухинской МЗ.

Мантийная составляющая литосферы ЯМГО на плотностном разрезе и в геоэлектрической модели однородная по всей глубине, возможно, это связано и с тем, что в пределах профиля мы наблюдаем только её малый фрагмент.

Магматизм. Основные структурные элементы литосферы вдоль геотрансекта, связанные с магматическими процессами, проявились через магнитную и геоэлектрическую модели (см. рис. 4, Б, Г). Магнитная модель отражает приповерхностные объекты, связанные с магматизмом и метасоматозом, проявленные через перераспределение магнитных минералов. В частности, на слое с наиболее высокой интенсивностью эффективной намагниченности контрастно выделяются 3 куполообразных объекта: в пределах Ханкайской МЗ, Центральной и Лужкинской МЗ, наложенной Прибрежной МЗ.

Возможные каналы поступления магматического вещества в земную кору картируются через высокопроводящие флюидонасыщенные зоны пониженного сопротивления, отражённые в геоэлектрической информации (см. рис. 4, Г). Высокоомная коровая часть разбита на блоки аномалиями пониженного сопротивления – Спасская (пк50), Яковлевская (пк41), Малиновская (пк38), Кокшаровская (пк32), Кавалеровская (пк25), Восточная (пк21). Большая часть высокопроводящих зон расположена над областью высокой проводимости в нижней части разреза, что указывает на их прямую связь с флюидонасыщенной мантией через флюидонасыщенные «живые» системы глубинных нарушений. В пределах Ханкайской МЗ такие зоны не выходят за пределы коры, в то время как в остальных МЗ они напрямую связаны с мантией. Ко всем указанным зонам пониженного сопротивления тяготеют ареалы промышленной минерализации: к сквозным – халькофильной и золотой, к приповерхностным – литофильной: оловянной, вольфрамовой, редкометалльной.

Глубинные особенности минерагенических объектов. Рудный спектр профиля делится на две части: западную и восточную. Западная (до Центрального Сихотэ-Алинского разлома) включает Ханкайскую и Центральную МЗ. Для неё характерны наиболее мощные осадочно-вулканогенный и гранитно-метаморфический слои; наблюдаются проявления разных типов магматизма (коллизионного, субдукционного и наложенного плитного), которые обуславливают наличие многообразия типов оруденений, большей частью халькофильного, разных генетических типов (скарнового, метосоматического, гидротермального). Это является предпосылкой для развития формирования РМС плитного типа с достаточно глубинной зоной генерации, с длинными путями транзита рудного вещества, с формированием промежуточных очагов магматизма, а следовательно, и с разнообразными генетическими и рудноформационными типами оруденения.

Восточная часть от Центрального Сихотэ-Алинского разлома до побережья включает Таухинскую и Лужкинскую МЗ. Здесь наблюдаются сокращение мощности осадочно-вулканогенного и гранитно-метаморфического слоёв, подъём базальтового слоя. В этой части профиля проявлен субдукционный магматизм, продуцирующий литофильный гидротермальный тип оруденения. На крайнем востоке Таухинского террейна, в районе ВСАВПП на субдукционный магматизм накладывается плитный, а на литофильное оруденение – халькофильное. Такие структурные условия позволяют предполагать формирование РМС средней и малой глубин генерации с более свободными путями транзита рудного вещества из мантии.

Выделяемые по магнитной модели (см. рис. 4, Б) сводово-купольные структуры имеют отражение на поверхности в виде магматических образований. К структурам № 1 и № 3 тяготеют рудные ареалы – Малиновская подзона (Малиновская вулканогенная зона) и часть Таухинской МЗ, которая контролируется ВСАВПП. В центральной части сводовой структуры № 2, в зоне влияния Центрального Сихотэ-Алинского разлома рудные ареалы не выявлены. Они размещаются на флангах и тяготеют к периферийным нарушениям: на западе в пределах Центральной МЗ, на востоке – в пределах Лужкинской МЗ.

Глубинные особенности основных минерагенических элементов отражены в таблице.

Обсуждение результатов. Результаты комплексного анализа показывают, что важнейшее значение для минерагении имеет дизъюнктивная тектоника. В пределах геотрансекта выделяются две мощнейшие системы глубинных нарушений. Первая контролирует Малиновскую минерагеническую подзону. Эта система проявлена на всех четырёх моделях – нарушение № 1 (см. рис. 4, А), нарушение № 3 (см. рис. 4, Б), нарушение № 10 (см. рис. 4, В), нарушение № 15 (см. рис. 4, Г) с зоной низкого сопротивления (пикеты 39–37).

Вторая контролирует ВСАВПП (от побережья до Восточного разлома) – нарушение № 2 (рис. 4, А), нарушение № 6 (см. рис. 4, Б), нарушение № 7 (см. рис. 4, В) и зона низкого сопротивления (пикеты

Металлогеническая зона	Породно-вещественные комплексы и руды	Геодинамические типы магматизма, минерагеническая специализация	Проявленность металлогенических зон в геофизических моделях			
			Сейсмическая	Плотностная	Магнитная	Геоэлектрическая
Ханкайская (PR–Є) Подзоны: А) Спасско-Вознесенская, Б) Малиновская	Кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты, мраморы, мигматиты; терригенно-карбонатные породы; пегматит с мусковитом, графит, флюорит-магнетитовые, сульфидные (Zn) стратиформные руды	Коллизионный (Pb, Zn, Fe, U); внутриплитный (F, Be, Li, Cs, Rb, Ta, Nb, Sn, W)	Слои: осадочный (<2 км); осадочно-вулканогенный (0–12 км); гранитно-метаморфический (>40 км)	Мощность слоистого верхнего яруса: 45–70 км; наличие слоёв высокой плотности: 1) на глубине 10–25 км с падением к САОП; 2) на глубине 100–120 км с падением к ХС	Мощность магнито-активного разреза (1 и 2 слои) – 21 км; серия параллельных магнитных слоёв с падением в сторону ХС (западная половина Малиновского магнитоактивного купола № 1)	Высокоомный разрез с сопротивлением 500–1000 Ом·м; в пределах Уссурийского, Яковлевского, Арсеньевского разломов – проводящие области до глубины 60 км 100–500 Ом·м; на глубине 115–60 км в пределах Малиновской подзоны проводящая область флюидонасыщенной мантии 300–500 Ом·м
Центральная (J_2–K_1)	Турбидиты и олистостромы с включениями офиолитов, известняков, ленточных кремней, базальтов; Mn в олистоплаках	Колизионный (W, Au, Sn)	Слои: осадочный (<3 км); осадочно-вулканогенный (1–11 км); гранитно-метаморфический (5–35 км); базитовый (26–40 км)	Мощность расчленённого верхнего яруса: 50–80 км; по подошве – образования высокой плотности 0–30 км – стык разнонаправленных плотностных неоднородностей (КПЗ); ниже 80 км – мантийный слой пониженной плотности	Мощность магнитоактивного разреза 21–12 км; серия параллельных магнитных слоёв с падением в сторону ХС, пересекаемых нарушениями восточного падения (западная половина магнитоактивного купола № 2)	33–40 км – высокоомный разрез 500–1000 Ом·м: в его пределах проводящая Кокшаровская пограничная зона менее 100 Ом·м (КПЗ); ниже 50 км низкоомный разрез 500–300 Ом·м флюидонасыщенной мантии (ФМ); глубже 100 км в восточной части проводящая область разогретой мантии (РМ) (<300 Ом·м)
Ариадненская	Наложена на Центральную	Внутриплитный (Nb, Zr, TR, Ti, Cu-Ni)				Западная граница МЗ–КПЗ

Окончание табл.

Металлогеническая зона	Породно-вещественные комплексы и руды	Геодинамические типы магматизма, минерагеническая специализация	Проявленность металлогенических зон в геофизических моделях			
			Сейсмическая	Плотностная	Магнитная	Геоэлектрическая
Лужкинская (К1)	Аркозовые, частью флишевые терригенные образования	Субдукционный (Sn, Pb, Zn)	Слои: осадочный (<1 км); осадочно-вулканогенный (0–10 км); гранитно-метаморфический (7–27 км); базитовый (25–40 км)	Мощность расчленённого верхнего яруса: 35–45 км; в основании яруса аномалия высокой плотности с падением на запад (315°); по латерали деление яруса на плотную восточную и разуплотнённую западную части; резкий подъём верхней границы мантии до 35 км	Мощность магнитоактивного разреза 9–12 км; система разноориентированных магнитных слоёв и нарушений, падающих на восток (восточная часть купола № 2)	Высокоомная часть до глубины 40–28 км; в приповерхностной верхнекоровой части Кавалеровская прово-дящая зона (КПЗ – 300–500 Ом·м); ниже 40 км – низкоомная часть 500–300 Ом·м (ФМ); от 100 км проводящая область РМ (<300 Ом·м)
Таухинская ($К_1$)	Турбидиты и олистостромы с фрагментами палеогайотов, ленточных кремней базальтов, песчаников, конгломератов известняков; Mn в олистоплаках	Субдукционный (Pb, Zn, Sn,Cu,Fe)	Слои: осадочный (0–3 км); осадочно-вулканогенный (0–7 км); гранитно-метаморфический (6–12 км); базитовый (12–17 км); гранитно-метаморфический (17–25 км); базитовый (25–40 км)	Мощность расчленённого верхнего яруса до 40 км; его подошва – высокоплотное образование с падением (315°); ярус подпирается мантийным выступом на 35 км	Мощность магнитоактивного разреза до 12 км; магнитные тела СЗ простирания, нарушения западного падения (магнитный купол № 3)	Высокоомная часть – 40–90 км
Прибрежная (К1)	Наложенная на Таухинскую МЗ	Внутриплитный (Ag, Au)	Слои: осадочный (0–1 км); осадочно-вулканогенный (1–7 км); гранитно-метаморфический (8–25 км); базитовый (25–40 км)	Мощность расчленённого верхнего яруса: 40–45 км, подпирающегося мантийным выступом; восточный разлом – коровая зона «стыка» неоднородностей западного и восточного падений	Мощность магнитоактивного разреза 12–13 км; наличие субвертикальных магнитных тел в куполе № 3	Высокоомная часть – до 90 км; проводящий канал вдоль Восточного разлома; ниже 90 км низкоомная часть с сопротивлением менее 500 Ом·м (ФМ)

22–20) на рис. 4, Г. Обе главные системы характеризуются близким спектром оруденения: Pb-Zn, W, Au, Cu, Sn и Mo.

Анализ положения рудных ареалов вдоль профиля показывает, что в подавляющем большинстве случаев они контролируются известными разломами, проявленность которых в построенных моделях разная.

Современное минерагеническое районирование, отражает разнообразие областей локализации РМС. Области транзита и генерации РМС размещаются в трёх разных глубинных областях: Ханкайской, Сихотэ-Алинской и Япономорской.

ХГО – самая западная, её восточным ограничением является глубинная Малиновско-Муравьевская система нарушений (пикеты 42–38) (см. рисунки рис. 3 и 4). Область отличается повышенной мощностью унаследованной литосферы (до 120 км), субгоризонтальными сейсмическими и гравитационными границами раздела. Поэтому для ХМЗ достаточно проблематична связь с мантией, рудная минерализация ХМЗ связана большей частью с коровыми очагами, которые контролируются зонами разуплотнения, вдоль разломов. В пределах ХМЗ это особенно характерно для Спасско-Вознесенской подзоны.

САГО представляет собой моноклиналь, разделённую по трём глубинным уровням с падением в сторону Малиновско-Муравьевской системы нарушений.

Центральная МЗ занимает приповерхностный глубинный уровень, средний глубинный уровень представлен Лужкинской МЗ, нижний – Таухинской МЗ. В направлении с запада на восток мощность структурированного литосферного слоя металлогенических зон сокращается: для Центральной МЗ это 80 км (и в её пределах развиты все три глубинных яруса), для Лужкинской МЗ – 50 км и два глубинных яруса, для Таухинской – 40 км и один глубинный ярус. САГО подпирается однородной мантийной структурой высокой проводимости, воздымающейся на восток.

Это свидетельствует о том, что в данном направлении при формировании РМС могут улучшаться связь с мантией, сокращаться пути транзита рудного вещества, а следовательно, меняться спектр рудных элементов. Для ЦМЗ и ЛМЗ, также как для ХМЗ, важным рудоконтролирующим элементом является коровая региональная область разуплотнения, которая может контролировать редкометалльную и оловянную минерализацию. В то же время в пределах этих металлогенических зон выделяются проводящие каналы в литосфере, которые могли служить либо поставщиками золотого и полиметаллического оруденения в более поздние периоды, либо являться энергетическими источниками формирования оруденения в коровых образованиях.

ЯМГО контрастно отличается от остального разреза структурой неоднородностей. В районе Восточного разлома, в нижне-средней части коры Таухинской МЗ, выделяется зона разуплотнения (магматический очаг), которая в момент образования наверняка имела и имеет сейчас (проводящая зона) связь с мантией. Здесь же выделяется и магматическая постройка в магнитной модели (ВСАВПП), которая соответствует наложенной Прибрежной МЗ. Восточная часть Таухинской МЗ существенно отличается по своему строению от остальных МЗ. Её минерагеническая специализация определялась влиянием следующих факторов: сочетанием морских и континентальных структур в приповерхностной области, короткими путями транзита РМС, влиянием мантийного вещества (флюидонасыщенная мантия находится близко от поверхности).

Приведённый анализ проявленности минерагенических зон в геофизических моделях позволяет предположить возможный генезис РМС. Для *Спасско-Вознесенской минерагенической подзоны Ханкайской МЗ*, где мощности литосферных образований большие, связь с мантией затруднена, вероятнее всего преобладание рудно-магматических очагов корового типа. Для *Малиновской подзоны*, которая находится в области влияния мантийного разлома, вдоль которого шло активное поступление мантийного вещества и флюидов, были благоприятные условия для формирования РМС мантийного заложения или РМС смешанного типа. Для *Центральной МЗ* при общем преобладающем количестве коровых РМС (зоны разуплотнения в коре) значимым является проявленность и рудно-магматических систем мантийного заложения как в связи с общим подъёмом мантийного выступа, так и с подъёмом под Сихотэ-Алинем флюидонащенной области (см. рис. 4, Г) и формированием Кокшаровской флюидопроводящей зоны. Для *Лужкинской МЗ* и *западной части Таухинской МЗ* возможность формирования коровых и мантийных очагов фактически одинакова, однако здесь слабо проявлены флюидоподводящие каналы, и поэтому влияние мантийного вещества более слабое и коровые РМС меньше подверглись мантийной трансформации. В пределах *восточной части Таухинской МЗ* близость мантийного выступа и наличие флюидоподводящих каналов способствовали формированию РМС мантийного заложения.

Выводы:

1. Минерагенические зоны Приморья отличаются не только верхнекоровым строением блоков, определяющим условия локализации оруденения РМС в их пределах, но и глубинным строением литосферы, определяющим условия генерации и транзита рудного вещества РМС.

2. В пределах практически всех МЗ выделяются региональные или локальные области разуплотнений

и области базификации разной глубинности. Каждая МЗ характеризуется своим соотношением указанных областей.

3. Области региональных разуплотнений размещаются в основном в пределах верхней и средней частей земной коры. Они указывают на возможность формирования коровых рудно-магматических очагов, которые, вероятнее всего, являлись источником рудного вещества, ассимилируемого из коровых образований. Локализация рудного вещества контролировалась коровыми нарушениями. Наибольшая вероятность формирования таких очагов в пределах Ханкайской и Лужкинской МЗ.

4. Основные рудные ареалы приурочены к межблоковым нарушениям и глубинным проводящим (транзитным) зонам, за исключением Лужкинской МЗ, где месторождения олова не имеют ярко выраженного тяготения к разломам.

5. По степени уменьшения влияния мантии на формирование РМС минерагенические зоны формируют следующий ряд: Таухинская МЗ, Малиновская подзона Ханкайской МЗ, Лужкинская МЗ, Центральная МЗ, Спасско-Вознесенская подзона Ханкайской МЗ.

Результаты комплексного геофизического изучения могут быть использованы для понимания механизма формирования РМС и разработки критериев прогноза районов промышленной минерализации.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИТИГ ДВО РАН и при поддержке гранта РНФ № 16–17–00015.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Атлас* «Опорные геолого-геофизические профили России». Глубинные сейсмические разрезы по профилям ГСЗ, отработанным в период с 1972 по 1995 год. Электронное издание. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. – 94 с. URL: http://www.vsegei.ru/ru/info/seismic
2. *Белоусов В.В., Павленкова Н.И.* Типы земной коры Европы и Северной Атлантики // Геотектоника. – 1989. – № 3. – С. 3–14.
3. *Вольский А.С., Шатков Г.А., Красный Л.И.* и др. Тектоника, глубинное строение и минерагения Приамурья и сопредельных территорий. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004.
4. *Геодинамика*, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А.М.Ханчука. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – Кн. 1. – 572 с.
5. *Глубинное* строение Приморья (по данным ГСЗ). – М.: Изд-во Наука, 1976. – 92 с.
6. *Государственная* геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третье поколение) L-(52),53; (K-52,53) (оз.Ханка). – СПб.: ВСЕГЕИ, 2011.
7. *Иволга Е.Г.* Особенности строения литосферы золоторудных районов юга Дальнего Востока России и Северо-Восточного Китая // Руды и металлы. – 2013. – № 1. – С. 13–24.
8. *Иволга Е.Г., Манилов Ю.Ф.* Структура литосферы области перехода континент–океан южной части Дальнего Востока России по результатам плотностного моделирования // Тихоокеанская геология. – 2019. – Т. 38. – № 6. – С. 3–20.
9. *Иволга Е.Г., Романовский Н.П., Гурович В.Г., Манилов Ю.Ф.* К вопросу о глубинном строении области сочленения Северо-Сихотэ-Алинской и Северо-Сахалинской складчатых структур // Тихоокеанская геология. – 2013. – Т. 32. – № 5. – С. 78–88.
10. *Каплун В.Б., Бронников А.К.* Строение земной коры и верхней мантии Южного Сихотэ-Алиня по профилю г. Спасск-Дальний–бухта Зеркальная по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеанская геология. – 2018. – Т. 37. – № 5. – С. 31–47.
11. *Манилов Ю.Ф.* Особенности глубинного строения юго-восточной части Аргуно-Мамынского массива (по геофизическим данным) // Тихоокеанская геология. – 2010. – Т. 29. – № 6. – С. 39–48.
12. *Мишин Л.Ф., Чжао Ч., Солдатов А.И.* Мезозойско-кайнозойские вулкано-плутонические пояса и системы в континентальной части Востока Азии и их зональность // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22. – № 3. – С. 28–48.
13. *Никитин А.А., Петров А.В.* Теоретические основы обработки геофизической информации: учебное пособие, 2-е издание. – М.: ООО «Центр информационных технологий в природопользовании», 2010. – 114 с.
14. *Радкевич Е.А.* Глубинное строение и особенности металлогении юга Дальнего Востока. – М.: Недра, 1984. – 328 с.
15. *Родионов С.М.* Металлогения олова Востока России; ДВО РАН, Институт тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина. – М., 2005. – 268 с.
16. *Родников А.Г., Забаринская Л.П., Пийп В.Б.* и др. Глубинное строение континентальных окраин региона Японского моря // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. – 2010. – № 1. – Вып. № 15. – С. 231–241.
17. *Рязанцева М.Д.* Рудная минерализация и минерагеническое районирование Приморского края // Вопросы геологии, металлогении, поисков и оценки месторождений Дальнего Востока: сборник научных статей. – Хабаровск: Изд-во ДВИМС, 2002. – С. 64–75.
18. *Сухов В.И., Бакулин Ю.И., Лошак Н.П.* и др. Металлогения Дальнего Востока России. – Хабаровск: ДВИМС, 2000. – 217 с.
19. *Тектоника*, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов: объяснительная записка к тектонической карте масштаба 1:1 500 000. – Владивосток, Хабаровск: ДВО РАН, 2005. – 264 с.
20. *Ханчук А.И., Иванов В.В.* Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40. – № 11. – С. 1635–1645.
21. *Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д.* и др. Геология и полезные ископаемые Приморского края: очерк. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 68 с.

REFERENCES

1. *Atlas* "Opornyye geologo-geofizicheskiye profili Rossii". Glubinnyye seysmicheskiye razrezy po profilyam GSZ, otrabotannym v period s 1972 po 1995 god [Atlas "Reference Geological and Geophysical Profiles of Russia". Deep seismic sections along DSS profiles worked out in the period from 1972 to 1995]. Elektronnoye izdaniye. St. Petersburg, VSEGEI publ. 2013. 94 p. URL: http://www.vsegei.ru/ru/info/seismic
2. *Belousov V.V., Pavlenkova N.I.* Tipy zemnoy kopy Yevpopy i Sevepnoy Atlantiki [Types of the Earth's crust in Europe and the North Atlantic]. Geotektonika.1989. No. 3. P. 3–14.
3. *Vol'skiy A.S., Shatkov G.A., Krasnyy L.I.* et al. Tektonika, glubinnoye stroyeniye i minerageniya Priamur'ya i sopredel'nykh territoriy [Tectonics, deep structure and minerageny of the Amur region and adjacent territories]. St. Petersburg, VSEGEI publ. 2004.
4. *Geodinamika*, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii: v 2 kn. [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia: in 2 vols.]. Pod red. A.M.Khanchuka. Vladivostok, Dal'nauka publ. 2006. Kn. 1. 572 p.
5. *Glubinnoye* stroyeniye Primor'ya (po dannym GSZ) [Deep structure of Primorye (according to the DSS)]. Moscow, Nauka publ. 1976. 92 p.
6. *Gosudarstvennaya* geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:1 000 000 (tret'ye pokoleniye) L-(52),53; (K-52,53) (oz. Khanka) [State geological map of the Russian Federation, scale 1: 1,000,000 (third generation) L- (52), 53; (K-52.53) (Lake Khanka)]. St. Petersburg, VSEGEI publ. 2011.
7. *Ivolga Ye.G.* Osobennosti stroyeniya litosfery zolotorudnykh rayonov yuga Dal'nego Vostoka Rossii i Severo-Vostochnogo Kitaya [Structural features of the lithosphere of gold-ore regions in the south of the Far East of Russia and Northeastern China]. Rudy i metally. 2013. No. 1. P. 13–24.
8. *Ivolga Ye.G., Manilov Yu.F.* Struktura litosfery oblasti perekhoda kontinent-okean yuzhnoy chasti Dal' nego Vostoka Rossii po rezul'tatam plotnostnogo modelirovaniya [The structure of the lithosphere of the continent-ocean transition region of the southern part of the Russian Far East according to the results of density modeling]. Tikhookeanskaya geologiya. 2019. V. 38. No. 6. P. 3–20.
9. *Ivolga Ye.G., Romanovskiy N.P., Gurovich V.G., Manilov Yu.F.* K voprosu o glubinnom stroyenii oblasti sochleneniya Severo-Sikhote-Alinskoy i Severo-Sakhalinskoy skladchatykh struktur [To the question of the deep structure of the junction area of the North-Sikhote-Alin and North-Sakhalin fold structures]. Tikhookeanskaya geologiya. 2013. V. 32. No. 5. P. 78–88.
10. *Kaplun V.B., Bronnikov A.K.* Stroyeniye zemnoy kory i verkhney mantii Yuzhnogo Sikhote-Alinya po profilyu g. Spassk-Dal'niy–bukhta Zerkal'naya po dannym magnitotellutricheskikh zondirovaniy [The structure of the earth's crust and upper mantle in the South Sikhote-Alin along the profile of Spassk-Dalniy – Zerkalnaya Bay according to magnetotelluric sounding data]. Tikhookeanskaya geologiya. 2018. V. 37. No. 5. P. 31–47.
11. *Manilov Yu.F.* Osobennosti glubinnogo stroyeniya yugo-vostochnoy chasti Arguno-Mamynskogo massiva (po geofizicheskim dannym) [Features of the deep structure of the southeastern part of the Argun-Mamynsky massif (according to geophysical data)]. Tikhookeanskaya geologiya. 2010. V. 29. No. 6. P. 39–48.
12. *Mishin L.F., Chzhao Ch., Soldatov A.I.* Mezozoysko-kaynozoyskiye vulkano-plutonicheskiye poyasa i sistemy v kontinental'noy chasti Vostoka Azii i ikh zonal'nost' [Mesozoic-Cenozoic volcano-plutonic belts and systems in the continental part of East Asia and their zoning]. Tikhookeanskaya geologiya. 2003. V. 22. No. 3. P. 28–48.
13. *Nikitin A.A., Petrov A.V.* Teoreticheskiye osnovy obrabotki geofizicheskoy informatsii: uchebnoye posobiye, 2-ye izdaniye [Theoretical foundations of geophysical information processing: textbook, 2nd edition]. Moscow, Tsentr informatsionnykh tekhnologiy v prirodopol'zovanii publ. 2010. 114 p.
14. *Radkevich Ye.A.* Glubinnoye stroyeniye i osobennosti metallogenii yuga Dal'nego Vostoka [Deep structure and features of metallogeny in the south of the Far East]. Moscow, Nedra publ. 1984. 328 p.
15. *Rodionov S.M.* Metallogeniya olova Vostoka Rossii [Tin metallogeny of the East of Russia]. DVO RAN, Institut tektoniki i geofiziki im. YU.A.Kosygina publ. Moscow. 2005. 268 p.
16. *Rodnikov A.G., Zabarinskaya L.P., Piyp V.B.* et al. Glubinnoye stroyeniye kontinental'nykh okrain regiona Yaponskogo moray [Deep structure of the continental margins of the region of the Sea of Japan]. Vestnik KRAUNTS. Nauki o zemle. 2010. No. 1. Is. 15. P. 231–241.
17. *Ryazantseva M.D.* Rudnaya mineralizatsiya i minerageneticheskoye rayonirovaniye Primorskogo kraya [Ore mineralization and mineragenic zoning of Primorsky Krai]. Voprosy geologii, metallogenii, poiskov i otsenki mestorozhdeniy Dal'nego Vostoka: sbornik nauchnykh statey. Khabarovsk, DVIMS publ. 2002. P. 64–75.
18. *Sukhov V.I., Bakulin Yu.I., Loshak N.P.* et al. Metallogeniya Dal'nego Vostoka Rossii [Metallogeny of the Russian Far East]. Khabarovsk, DVIMS publ. 2000. 217 p.
19. *Tektonika*, glubinnoye stroyeniye, metallogeniya oblasti sochleneniya Tsentral'no-Aziatskogo i Tikhookeanskogo poyasov: ob"yasnitel'naya zapiska k tektonicheskoy karte masshtaba 1:1 500 000 [Tectonics, deep structure, metallogeny of the junction area of the Central Asian and Pacific belts: explanatory note to the tectonic map of 1: 1,500,000 scale]. Vladivostok, Khabarovsk, DVO RAN publ. 2005. 264 p.
20. *Khanchuk A.I., Ivanov V.V.* Mezo-kaynozoyskiye geodinamicheskiye obstanovki i zolotoye orudeneniye Dal'nego Vostoka Rossii [Meso-Cenozoic geodynamic settings and gold mineralization of the Russian Far East]. Geologiya i geofizika. 1999. V. 40. No. 11. P. 1635–1645.
21. *Khanchuk A.I., Ratkin V.V., Ryazantseva M.D.* et al. Geologiya i poleznyye iskopayemyye Primorskogo kraya: ocherk [Geology and useful minerals of Primorsky Krai: an outline]. Vladivostok, Dal'nauka publ. 1995. 68 p.