

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ЛИТОСФЕРЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЮГА СИХОТЭ-АЛИНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ СИСТЕМЫ ПО ПРОФИЛЮ Г. ДАЛЬНЕРЕЧЕНСК–ЗАЛ. НАХОДКА ПО ДАННЫМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ

В.Б. Каплун, А.К. Бронников

*ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск 680000;
e-mail: kaplun@itig.as.khb.ru*

Поступила в редакцию 5 октября 2021 г.

По результатам магнитотеллурических зондирований, выполненных по профилю, начинающемуся на севере Ханкайского массива, выходящему в Сихотэ-Алинскую складчатую систему (САСС) и протягивающемуся в ее пределах вдоль восточной границы массива до побережья Японского моря, построен геоэлектрический разрез литосферы до глубины 150 км. Выделены проводящие зоны в земной коре и зоны повышенного электрического сопротивления в верхней мантии. Выявлены различия геоэлектрических характеристик земной коры позднепротерозойско-палеозойского Ханкайского массива и Центральной зоны альб-сеноманской САСС. Подтверждена широтная зональность их земной коры и верхней мантии. Изучено влияние берегового эффекта на поведение векторов Визе и показана их связь с проводящими зонами в земной коре и разломами.

Ключевые слова: магнитотеллурические зондирования, береговой эффект, глубинное строение, земная кора, верхняя мантия, Южный Сихотэ-Алинь.

ВВЕДЕНИЕ

Район исследований расположен на континентальной окраине юга российского Дальнего Востока в зоне сочленения позднепротерозойского–палеозойского Ханкайского массива и альб-сеноманской Сихотэ-Алинской складчатой системы (САСС) и имеет сложное тектоническое строение, сформированное в геодинамической обстановке калифорнийского типа, характерной чертой которой является переход субдукционных и спрединговых границ плит в границу относительного скольжения литосферных плит [3, 5, 39, 41, 42]. В период своего развития в регионе происходило чередование зон сжатия и растяжения, разнонаправленные сдвиговые перемещения, масштабное проявление магматизма с разнообразным составом пород.

Глубинное строение САСС и Ханкайского массива изучали многие исследователи Дальнего Востока. Основная информация была получена в последние десятилетия с использованием различных геолого-геофизических методов и представлена в работах, например, по результатам интерпретации гравитационного и магнитного полей [2, 31, 36, 43], глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) [4], геотермии

[37], магнитотеллурических зондирований (МТЗ) [28, 29] и магнитовариационного профилирования (МВП) [32, 34] и многих других. Глубинные геофизические исследования, такие как ГСЗ, МТЗ, МВЗ, были выполнены по отдельным профилям, расположенным на больших расстояниях друг от друга и с большим шагом между пунктами наблюдений. В результате были построены геофизические разрезы и схемы различных геофизических параметров для разных уровней глубины, которые позволили оценить общий характер распределения физических характеристик в литосфере региона. Незначительный объем глубинных геофизических исследований и их разрозненность не позволяет проводить их детальное сопоставление друг с другом и с геологическими данными, что приводит к противоречиям при построении геолого-геофизических и геодинамических моделей. Кроме этого, появляются разногласия между настоящими и предыдущими результатами, что в первую очередь связано с точностью и детальностью современных данных, а также сложным геологическим строением. Сложное строение земной коры и верхней мантии региона затрудняет построение целостной геоэлектрической модели литосферы при данном уровне изученности.

В связи с этим нами были начаты магнитотеллурические исследования с регистрацией электромагнитного поля Земли в широком диапазоне частот от 10 кГц до 0.001 Гц с шагом между пунктами зондирования 5–10 км, направленные на построение геoeлектрической модели литосферы южной части САСС до глубины 150 км. В предыдущие годы нами выполнено три профиля МТЗ вкост простирания САСС [14–16] и один профиль вдоль его простирания в пределах Ханкайского массива, который граничит с юго-востока с САСС [17]. Этот профиль связал между собой три ранее выполненные. Настоящие исследования направлены на построение геoeлектрического разреза литосферы вдоль простирания САСС в зоне её сочленения с Ханкайским массивом и сопоставление их глубинного строения, формирование каркасной сети профилей, увязывание их между собой для дальнейшего создания трехмерной геoeлектрической модели.

ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Район исследований включает в себя позднепротерозойский–палеозойский Ханкайский массив и альб-сеноманскую Сихотэ-Алинскую складчатую систему (орогенный пояс) [3, 5, 38, 42, 47]. Профиль пересек Матвеевский и Сергеевский блоки Ханкайского массива и Центральную зону Сихотэ-Алинской складчатой системы. Часть профиля пересекла турон-палеогеновые вулканические образования тыловой части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса (ВСАВП), которые резко несогласно перекрывают складчатые структуры САСС [6, 7] (рис. 1).

Матвеевский блок (зона) находится в северной части массива и сложен среднерифейскими гнейсами, сланцами и мраморами раннего этапа низкоградиентного регионального метаморфизма в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций около 730 млн лет назад и позднего, высокоградиентного, в условиях от зеленосланцевой до гранулитовой фации в конце кембрия (506 млн лет назад). Возраст силла метабазитов – 757 млн лет [26, 40]. Метаморфиты образуют мигматит-гнейсовый купол диаметром 80–100 км, который разбит системой разломов на серию блоков. Матвеевский блок на севере перекрыт вулканами Алчанского ареала, а его восточная граница замаскирована крупными интрузиями палеозойских и мезозойских гранитоидов [7].

Восточная часть Ханкайского массива переработана и перекрыта терригенно-вулканогенными формациями и интродирована гранитоидами палеозойских и мезозойских этапов тектоно-магматической активизации. Кристаллический докембрийский фундамент здесь наблюдается фрагментарно, в виде отдельных небольших блоков. Профилем пересечена

Малиновская зона деформированного чехла Ханкайского массива, которая сложена раннепермской андезит-(базальт)-риолитовой, позднепермской риолит-андезит- и габбро-гранитовой формациями эпиконтинентальной островной дуги, ранне-позднепермской терригенной и карбонатно-терригенной формациями задугового и преддугового бассейнов и прибрежно-морской формацией пассивных окраин позднего триаса. На западе Малиновская зона ограничена Среднеханкайским разломом, а на востоке – Арсеньевским.

Сергеевский блок (зона) расположен в южной части Ханкайского массива, с востока он ограничен Кривинским разломом, с запада – Партизанским, на севере по серии разломов граничит с Партизанской зоной Ханкайского массива и в современной структуре представляет собой крупную тектоническую пластину, деформированную вместе с породами юрской аккреционной призмы и может рассматриваться как структурный элемент Сихотэ-Алинской складчатой системы. В составе зоны преобладают габбро-диорит-гранодиориты с характерной ориентированной текстурой из полос амфибола и плагиоклаза, которая придает этим породам гнейсовидный облик. Присутствуют небольшие, до сотен метров, останцы метаморфических пород, представленные мраморами, кальцифирами, амфиболитами, кварцитами и кристаллосланцами по терригенным породам [3, 5, 19, 38, 47]. Оценка возраста гнейсовидных габброидов и диоритов укладывается в интервал 489–479 млн лет [19]. Многочисленными разрывами северо-восточного направления массив разбит на серию клиновидных блоков. Кембрий-раннеордовикские габбродиоритогнейсы и метаморфиты прорваны позднеордовикскими гранитоидами партизанского и таудеминского комплексов с возрастом 472–463 млн лет [19].

Центральная зона (Самаркинский террейн) САСС граничит на западе с Ханкайским массивом и протягивается в северо-северо-восточном направлении от южного окончания САСС, уходя далеко на север за пределы района исследований. Здесь её ограничения являются крупные разломы: Арсеньевский, Центральный, Кривинский, Самаркинский и ряд других, менее значимых. Она представляет собой аккреционную призму со средне-позднеюрским турбидито-олистостромовым матриксом и палеоокеаническими включениями позднего палеозоя–ранней юры. Юрская аккреционная призма образует единый складчатый комплекс, интенсивно дислоцированный, с образованием узких линейных складок с углами падения крыльев 60–90°, часто опрокинутых, с развитием чешуйчато-надвиговых структур и интродированный позднеальб-раннесеноманскими гранитоидами. В общем, складки и массивы гранитоидов ориентиро-

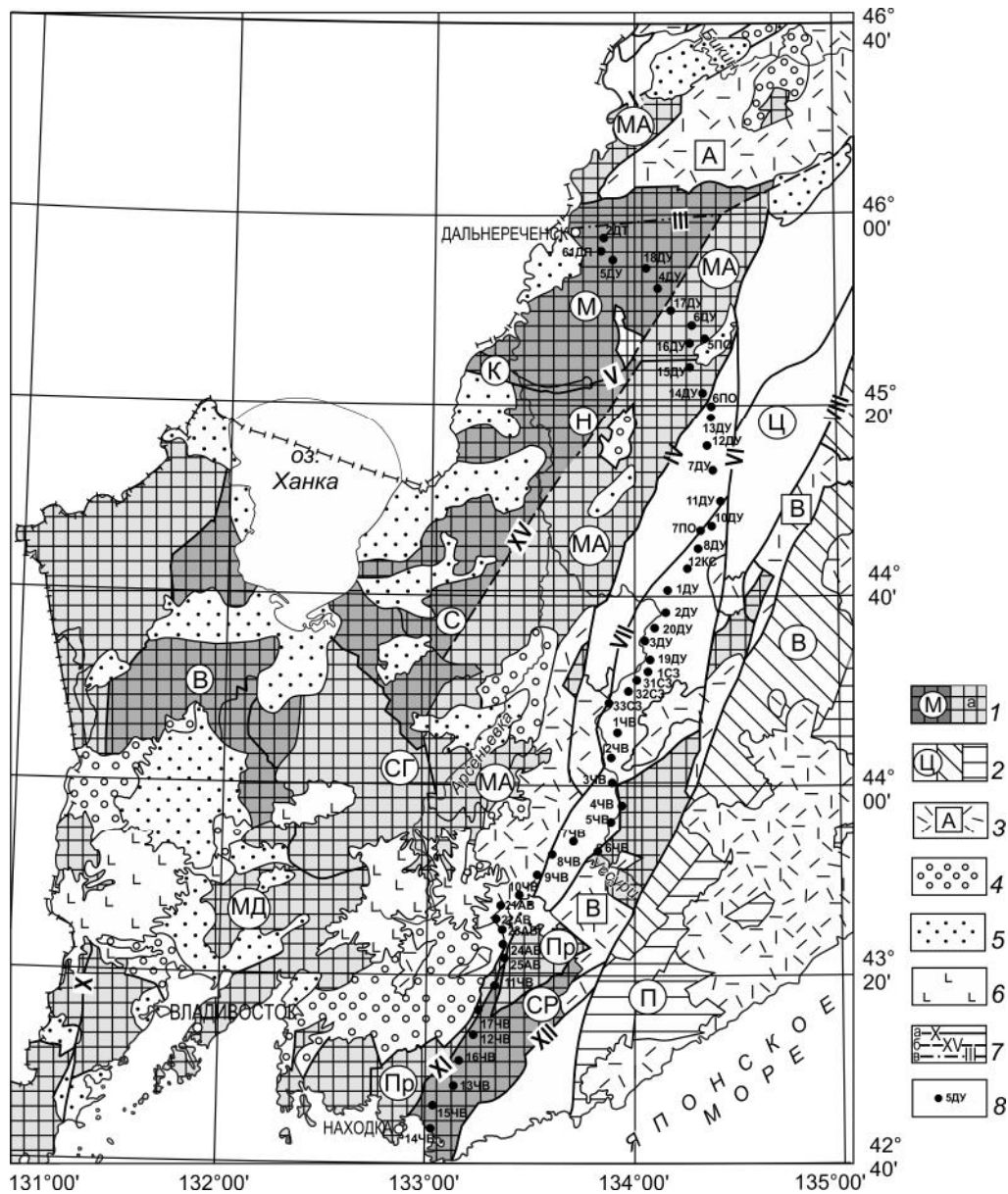


Рис. 1. Тектоническая схема Ханкайского массива и южной части Сихотэ-Алинской складчатой системы [5] с пунктами магнитотеллурических зондирований.

1 – Ханкайский массив, в том числе: а – структуры деформированного чехла Ханкайского массива; структурные зоны: М – Матвеевская, Н – Нахимовская, К – Кабаргинская, С – Спасская, В – Вознесенская, МА – Малиновская, СГ – Синегорская, МД – Муравьевско-Дунайская, СР – Сергеевская, Пр – Партизанская; 2 – Сихотэ-Алинская складчатая система; структурные зоны: Ц – Центральная, В – Восточная, П – Прибрежная; 3 – меловые и кайнозойские окраинно-континентальные вулканические структуры: А – Алчанский ареал, В – Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс; 4 – наложенные меловые впадины; 5 – кайнозойские континентальные впадины; 6 – позднекайнозойские покровы платобазальтов; 7 – разрывные нарушения (а – достоверные, б – предполагаемые, в – скрытые): I – Алчанский, III – Дальнереченский, IV – Арсеньевский, V – Кабаргинский, VI – Меридиональный, VII – Самаркинский, VIII – Центральный, X – Западно-Приморский, XI – Партизанский, XII – Кривинский, XV – Среднеханкайский; 8 – пункты МТЗ и их номера.

ваны параллельно простираются зоны или под острым углом к Центральному разлому. Здесь также известны раннемеловые (?) щелочные базит-ультрабазитовые интрузии [3, 5, 18, 38, 42, 47].

Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический (вулканоплутонический) пояс (ВСАП) является окраинно-континентальной вулканоплутонической структурой, которая формировалась в туроне–раннем палео-

цене над зоной субдукции, а в среднем палеоцене–миоцене – в обстановках скольжения литосферных плит [8, 9, 23, 24, 42].

Вулканисты пояса резко несогласно перекрывают складчатые структуры Прибрежной зоны, но отдельные звенья пояса заходят далеко на запад, на Ханкайский массив. Магматиты образуют специфические структуры: простые или сложные вулканотектонические депрессии, кальдеры проседания, вершинные кальдеры, интрузивно-купольные структуры. Палеогеновые и неогеновые вулканисты чаще залегают горизонтально, заполняя синдвиговые грабенообразные понижения рельефа. Разрывная тектоника пояса представлена преимущественно кольцевыми, дуговыми и радиальными малоамплитудными разломами.

В ходе исследований профилем были пересечены несколько основных разломов: Среднеханкайский, Арсеньевский, Самаркинский, Партизанский (рис. 1).

Среднеханкайский разлом, как граничная структура между Матвеевской и Малиновской зонами Ханкайского массива, выделен по геофизическим и общегеологическим данным. В гравитационном поле он трассируется цепочкой локальных минимумов, отождествляемых с гранитными интрузиями. На поверхности разлом выглядит как плутоническая зона шириной 10–20 км, в которой сконцентрированы многие интрузии шмаковского комплекса и практически все интрузии бельцовского, синегорского и троцкого комплексов. Эта зона разнонаправленными разломами разбита на множество блоков, испытавших значительные вертикальные смещения. О тектонической раздробленности, а, следовательно, и проницаемости разлома свидетельствует огромное количество даек разного состава. Время заложения разлома предположительно поздний палеозой, продолжал он функционировать вплоть до кайнозоя, максимальная активизация произошла в карбоне, перми и мелу.

Арсеньевский разлом отделяет Малиновскую зону Ханкайского массива от Центральной зоны САСС, являясь, таким образом, границей крупных геоблоков с существенно различным строением и геологической историей. Разлом является крутым (70°) взбросом с элементами правого сдвига, наклоненным на юго-восток. Зона разлома мощностью до 1 км сложена милонитами и катаклазитами, висячем боку наблюдается интенсивное расланцевание пород Центральной зоны. По данным сейсмического зондирования [4], земная кора по Арсеньевскому разлому к востоку от него опущена на 2.5 км, а мощность «базальтового» слоя уменьшается на 5 км. Как граничная разрывная структура разлом, вероятно, образовался в

позднем палеозое и продолжал существовать в мезозое и кайнозое.

Самаркинский разлом, разделяющий Хорско-Ариадненскую и Самаркинскую подзоны Центральной зоны САСС, представляет собой надвиг с падением плоскости сместителя на юго-восток под углами 35–45°. Первичные надвиговые движения осложнены более поздними взбросо- или сбросо-сдвигами. Собственно зона разлома представлена шавкуновским комплексом динамометаморфитов шириной до 3 км. Переходы от динамометаморфитов в нормальные породы висячем боку постепенные, в лежащем – резкие. Разлом, вероятно, соскладчатый, раннемеловой.

Партизанский разлом разделяет Сергеевскую и Партизанскую зоны Ханкайского массива, представлен зонной (до 0.8 км) интенсивной милонитизации и расланцевания. Является левым сдвигом с горизонтальной амплитудой смещения блоков Партизанской зоны не менее 20 км. Разлом сопровождается многочисленными оперяющими сдвигами и надвигами. Время заложения разлома – поздняя пермь–поздний мел.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДЫДУЩИХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основе интерпретации гравитационного поля [36] на Ханкайском массиве было выявлено три уровня сосредоточения плоских тел, отвечающих границам глубинных слоев. Первый уровень (3.6–5.9 км) вероятно, отвечает поверхности древнего структурного этажа. На втором уровне (7.5–13.5 км) наблюдается поворот структурных элементов в широтном направлении в южной части массива до глубинного разлома Белый, протягивающегося в широтном направлении севернее г. Спасск-Дальний. Структура рельефа третьего уровня (18–28 км) ортогональная: широтная – в южной части, и меридиональная – в северной.

Л.И. Брянским [2] на основе гравитационного моделирования по профилям ГСЗ и МОВЗ была построена схема площадного распределения плотностных неоднородностей земной коры и верхней мантии САСС и Ханкайского массива, на которой было показано блоковое строение Ханкайского массива, выделены зоны разуплотнения в земной коре и мантии. В южной части САСС и Ханкайского массива выделена глубинная зона разуплотнения, ортогональная простиранию САСС, которая, как предполагает автор, связана с «базификацией» земной коры. Здесь также отмечается поворот в западном направлении зоны разуплотнения в земной коре, которая протягивалась вдоль центральной части САСС по её простиранию. Подобный разворот аномалий пониженной плотности отчетливо выделен на глубине 100 км в результате построения трехмерной плотностной модели по

данным гравитационного поля (редукция Буге) континентальной части Дальнего Востока России масштаба 1:1 000 000 [10]. В этой работе также были установлены глубины заложения основных разломов и выявлены связи плотностных аномалий с известными крупными месторождениями золота и олова.

Мощность земной коры, по данным ГСЗ [4], в пределах северной части Ханкайского массива составляет 32–34 км, в САСС она увеличивается до 36 км, в прибрежной сокращается до 28–30 км. Эти результаты согласуются с моделью поверхности М, построенной по трехмерной инверсии гравитационного поля [43].

Основная информация о геоэлектрическом разрезе района работ получена по результатам ранее выполненных нами исследований [14–17]. Определено, что верхняя часть разреза, сопоставляемая с земной корой, представлена блоками высокого удельного электрического сопротивления (УЭС) более 1 000 Ом·м, разделенными зонами низкого УЭС менее 100 Ом·м, которые часто, но не всегда, связаны с глубинными разломами. В земной коре, на различных её уровнях, выделяются зоны низкого УЭС менее 100 Ом·м, которые связываются с наличием флюидов и рудной минерализацией. Верхняя мантия южной части САСС имеет неоднородное строение и различное УЭС. Здесь отмечаются, относительно среднего уровня УЭС 400 Ом·м, области как пониженного до 100 Ом·м, так и повышенного до 750 Ом·м УЭС. Эти результаты согласуются с данным МТЗ других исследователей [28, 29] и свидетельствуют о том, что Ханкайский массив и САСС характеризуются анизотропным строением земной коры и подкоровой литосферы. В средней части земной коры выделяется анизотропно-проводящий комплекс. Геоэлектрический разрез литосферы имеет высокие УЭС – 2 000–10 000 Ом·м в земной коре и 500–1 000 Ом·м – в литосферной мантии. Астеносфера, с УЭС 5–10 Ом·м, залегает на глубине свыше 160 км. Однако оценки, полученные по результатам магнитовариационного профилирования, показали глубину до проводящего слоя в верхней мантии, равную 135 км [32], а по данным [34] под Ханкайским массивом – свыше 140 км.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Магнитотеллурические зондирования были выполнены в течение лета и осени 2020 г. по профилю г. Дальнереченск–зал. Находка со средним шагом между пунктами наблюдения 10 км. На отдельных участках профиля расстояние между пунктами сокращалось до 5 км. В состав профиля вошли некоторые пункты ранее выполненных профилей [14–16]. Общее количество зондирований составило 49, длина профи-

ля 420 км. Профиль МТЗ начинается в северной части Ханкайского массива, переходит в Центральную зону Сихотэ-Алинской складчатой системы, проходит в её пределах в юго-западном направлении, пересекает Сергеевский блок Ханкайского массива [7] и заканчивается на берегу Японского моря. Регистрация электромагнитного поля Земли проводилась магнитотеллурической станцией MTU-5A производства фирмы Phoenix Geophysics Ltd (Канада) с использованием двух типов индукционных датчиков МТС-30 и МТС-50. Линии раскладывались по компасу в направлениях: север–юг – Ех, восток–запад – Еу. Длина электрических диполей равнялась 100 м. Время регистрации на пункте наблюдения в основном составляло в диапазоне от 1 Гц до 10 кГц 35–40 минут, а в диапазоне $400 \div 0.0001$ Гц 18–19 часов. Обработка полевых данных осуществлялась с использованием программного пакета SSMT2000 фирмы Phoenix Geophysics Ltd (Канада). Окончательная обработка полевых материалов проводилась в камеральных условиях с использованием программы MT-Corrector [48] для удаления выбросов отдельных значений и сглаживания импедансных кривых МТЗ. В результате обработки полевых данных были построены амплитудные (рис. 2) и фазовые кривые МТЗ в широком частотном диапазоне от 10 кГц до 0.001 Гц.

Рассмотрение амплитудных кривых показывает, что их форма значительно варьирует вдоль профиля. Широкая и меридиональная кривые на большинстве точек не совпадают друг с другом, особенно видны значительные расхождения в области длинных периодов. Магнитовариационный и магнитотеллурический тесты [1] показали, что параметры неоднородности и асимметрии значительно превышают пороговые значения, особенно на периодах свыше 0.1 с, что свидетельствует о неоднородности геоэлектрического разреза и наличии двумерных и трехмерных объектов как вдоль профиля, так и в глубину.

Ориентация больших осей (главных направлений) импедансных диаграмм по профилю зондирования (Z-strike) [45] в зависимости от периода регистрации (рис.3) показывает, что преобладает северное направление в диапазоне от -45° до 45° . На этом фоне отмечаются многочисленные участки как с западными от -45° до -135° , так и восточными от 45° до 135° направлениями простираения геоэлектрических структур.

Анализ формы кривых, их поведения вдоль профиля, выполненные тесты и частотное распределение направления ориентации больших осей (главных направлений) импедансных диаграмм показали значительную неоднородность геоэлектрического разреза, который характеризуется как трехмерная среда.

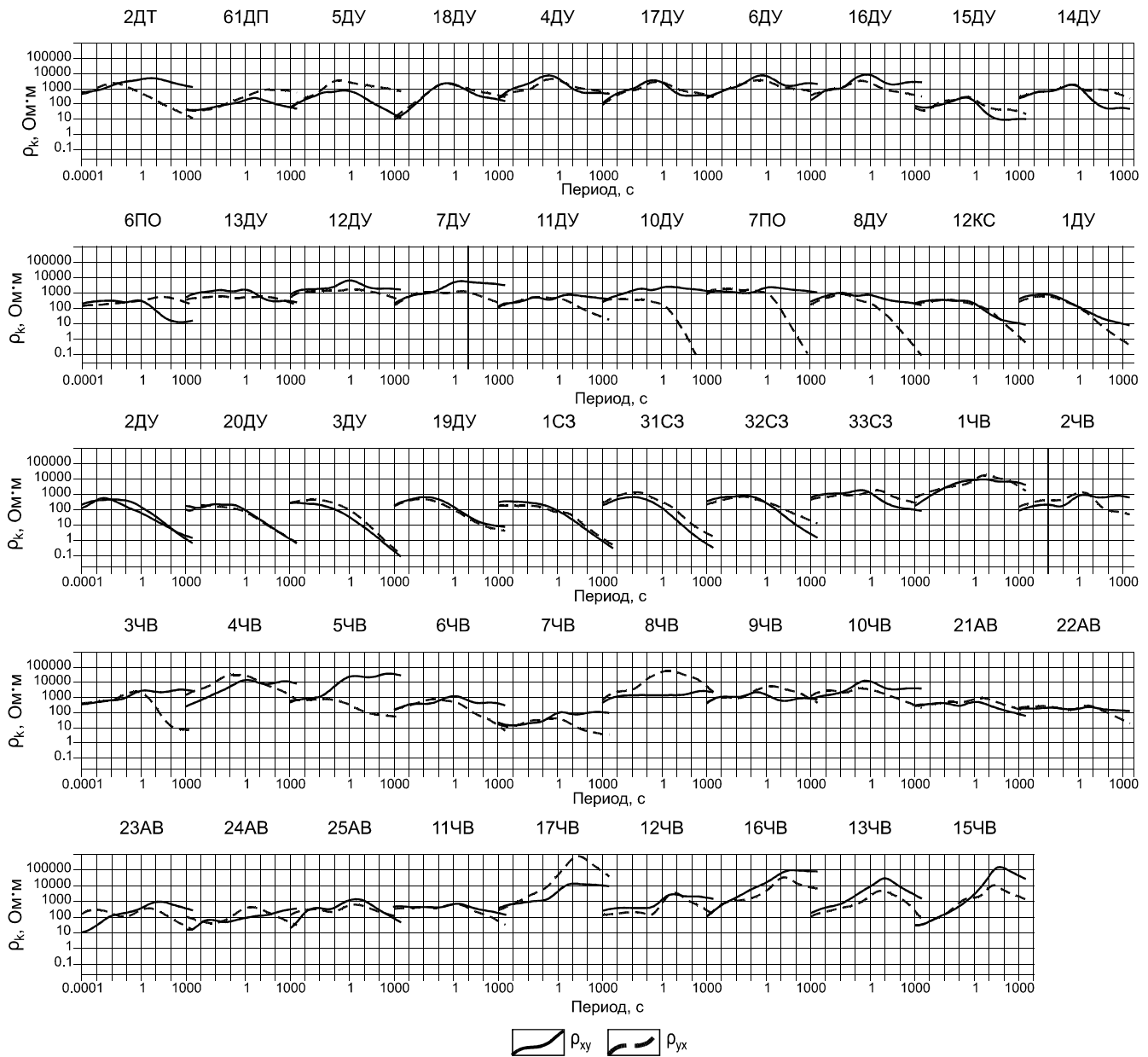


Рис. 2. Амплитудные кривые МТЗ профиля г. Дальнереченск–зал. Находка.

БЕРЕГОВОЙ ЭФФЕКТ

Южная часть профиля оканчивается на побережье Японского моря и вследствие значительной разницы в электрических сопротивлениях горных пород континента (свыше 1 000 Ом·м) и морской воды (0.3–0.4 Ом·м) в прибрежной части возникает магнитотеллурическая аномалия, называемая «береговым эффектом». Береговой эффект проявляется в виде значительного увеличения сопротивления на поперечной к берегу амплитудной кривой в области длинных периодов при приближении к береговой линии, развороте вещественных векторов Визе от моря и увеличением их длины.

Вертикальная и горизонтальные компоненты геомагнитного поля связаны соотношением

$$H_z = W_{zx}H_x + W_{zy}H_y,$$

где – H_z, H_x, H_y – составляющие геомагнитного поля, W_{zx}, W_{zy} – компоненты матрицы типпера $W = |W_{zx}, W_{zy}|$.

Матрица типпера Визе в векторной форме:

$$W = W_{zx}1_x + W_{zy}1_y.$$

Комплексная индукционная стрелка W состоит из вещественной и мнимой индукционных стрелок:

$$W = \text{Re}W + i\text{Im}W,$$

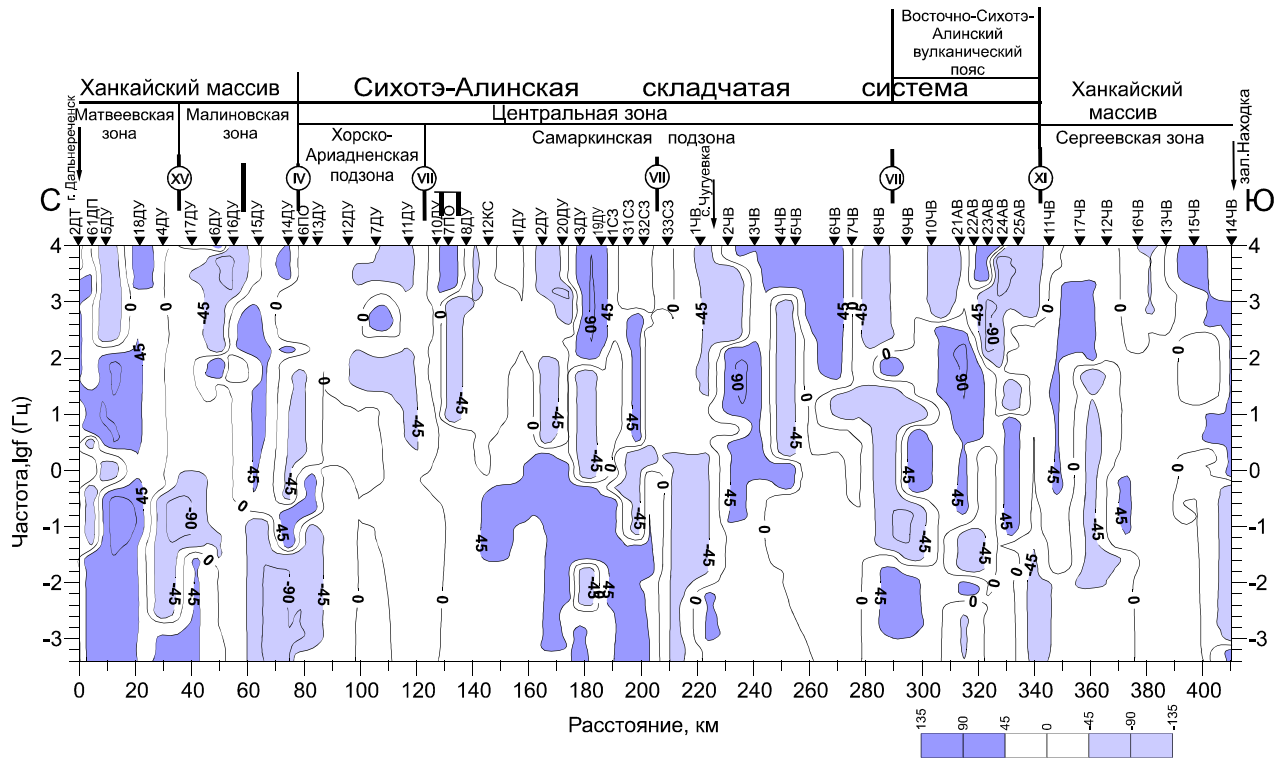


Рис. 3. Частотное распределение направления ориентации больших осей (главных направлений) импедансных диаграмм по профилю.

Северное направление – 0° , восточное направление – «+», западное – «-». Римские цифры – разломы: IV – Арсеньевский, VII – Самаркинский, XI – Партизанский, XV – Среднеханкайский.

где: $\text{Re}W = \text{Re}W_{zx}1x + \text{Re}W_{zy}1y$ – вещественная индукционная стрелка, $\text{Im}W = \text{Im}W_{zx}1x + \text{Im}W_{zy}1y$ – мнимая индукционная стрелка, $1x, 1y$ – единичные направляющие вектора вдоль осей x, y .

Вещественные индукционные стрелки или вещественные векторы в соглашении Визе, принятом в статье, ориентируются от зон повышенной электропроводности к зонам пониженной электропроводности.

Проявление берегового эффекта на территории САСС и сопредельных территориях отражено в работах [22, 27, 30, 32, 34], которые показали, что интенсивность берегового эффекта зависит от расстояния пункта наблюдения до берега моря, глубины моря, формы береговой линии, периода электромагнитных вариаций, параметров геоэлектрического разреза. Расстояние, на котором действовал береговой эффект, оценивалось в 250–300 км [22].

На профиле исследований влияние берегового эффекта на амплитудные кривые МТЗ выражено слабо (рис. 2), однако на точках, расположенных вблизи побережья, начиная с 16ЧВ и, особенно на пункте 15ЧВ, отчетливо видно, что правые ветви меридиональных кривых, которые в данном случае являются поперечными по отношению к континентальному

склону, почти на порядок превышают уровень сопротивления широтных. На рис. 4 показаны вещественные векторы Визе для различных периодов – 5.4, 10, 54, 100, 541 и 1000 с. Из рис. 4 видно, что на коротких периодах 5.4 и 10 с направление векторов имеет хаотичное поведение. Это связано с влиянием локальных геоэлектрических неоднородностей в верхней части земной коры. На периоде 54 с направление векторов становится более упорядоченным в сторону северо-востока. На периодах 100, 541 и 1000 с эта тенденция сохраняется лишь вблизи берега примерно на расстоянии 60–70 км (до МТЗ №11ЧВ), а далее по профилю на большинстве пунктов происходит поворот векторов в северном направлении до примерно 45° с.ш., где наблюдается обратное направление векторов – с северо-северо-запада на юг-юго-восток. Здесь расстояние до моря по профилю составляет 280 км, а на юго-восток – 140 км. Этот разворот векторов свидетельствует о наличии проводящего объекта, расположенного на северо-западе за пределами профиля. Поведение векторов в прибрежной части профиля, направленных в северо-восточном направлении, вероятно вызвано влиянием токов, текущих в водах зал. Находка, т.к. векторы направлены перпендикулярно береговой ли-

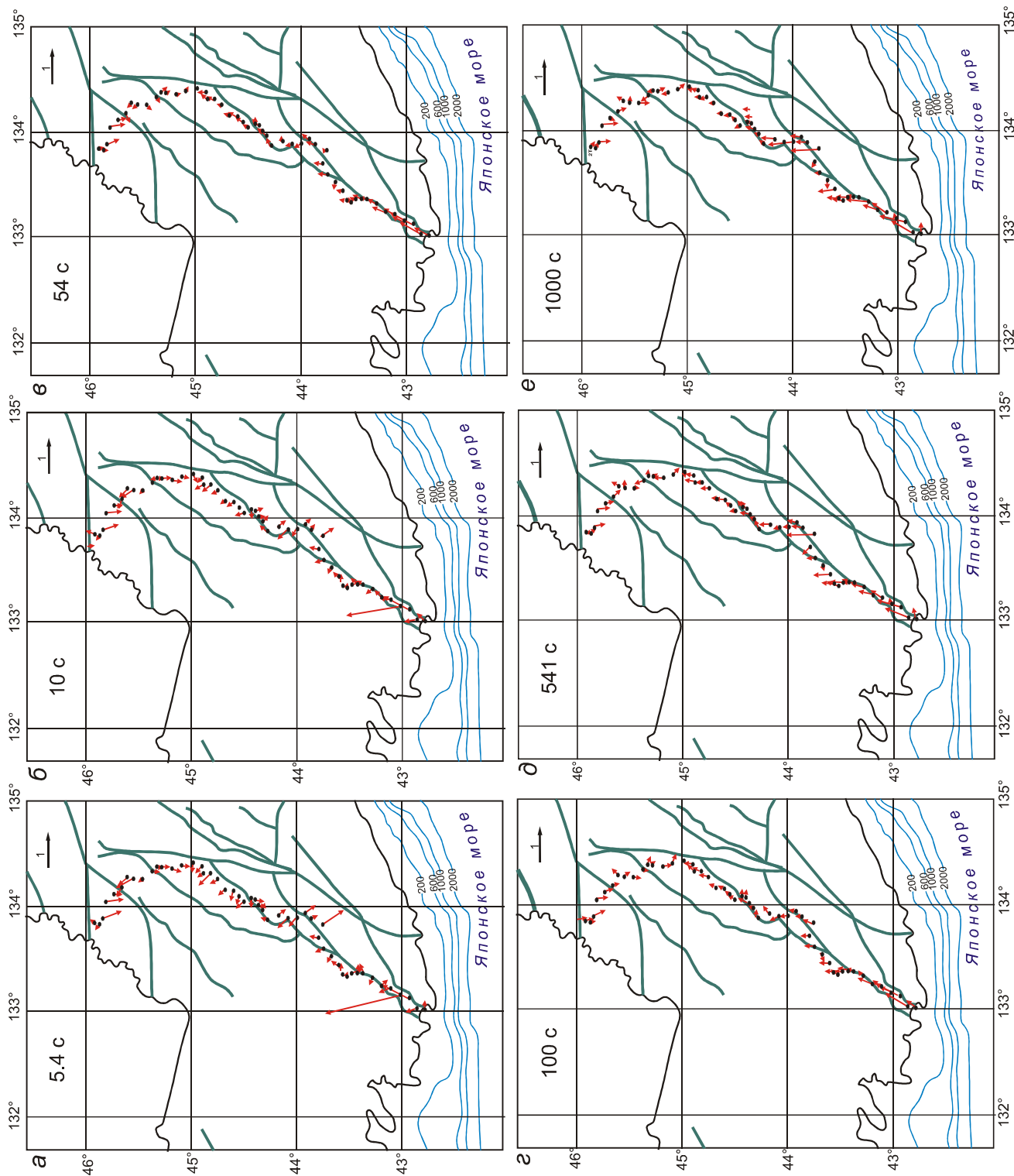


Рис. 4. Вещественные векторы Визе для различных периодов. а – 5,4 с, б – 10 с, в – 54 с, г – 100 с, д – 541 с, е – 1 000 с. Схема разломов взята из работы [11].

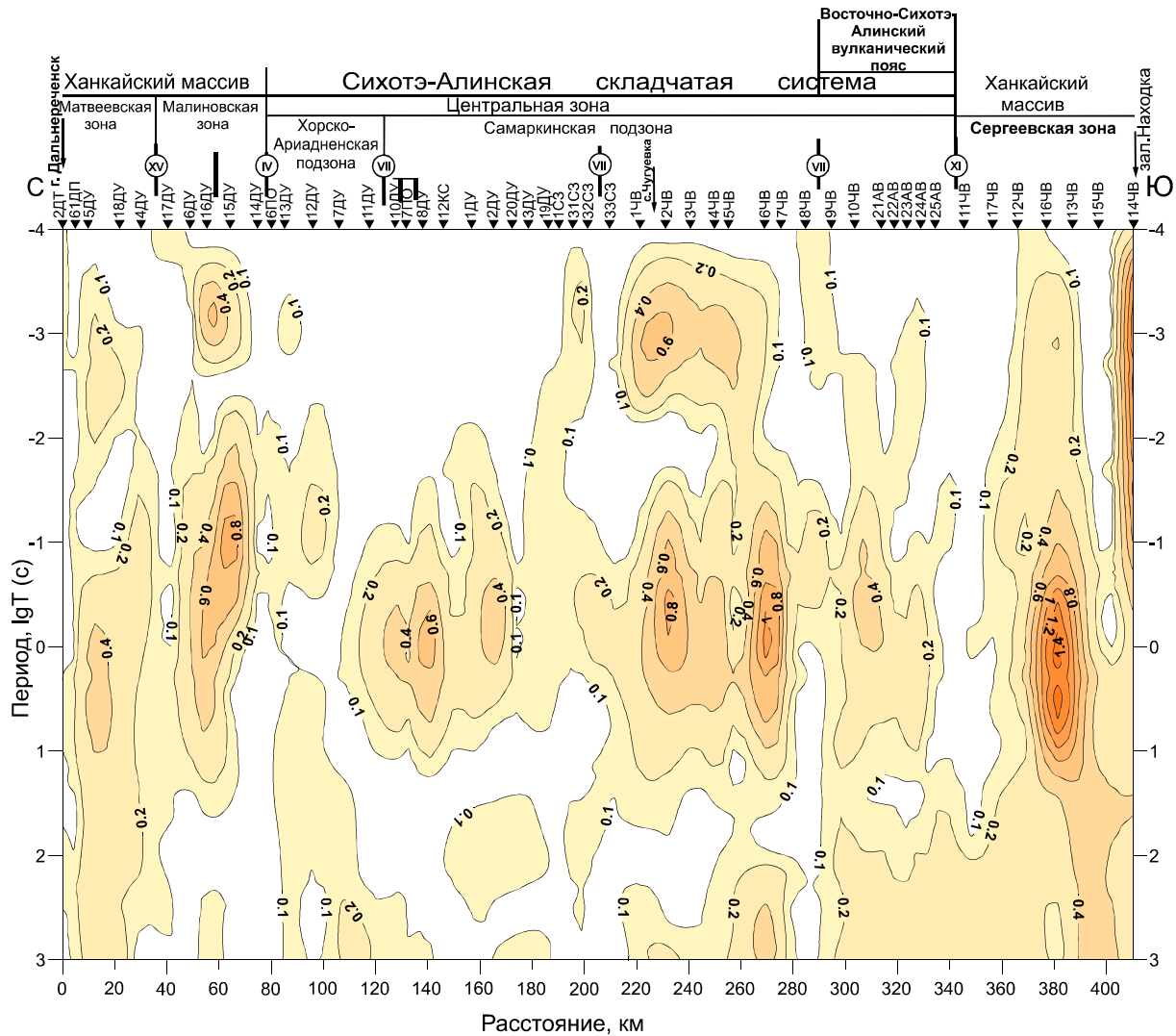


Рис. 5. Распределение величины модуля вещественного вектора Визе вдоль профиля для диапазона зарегистрированных периодов.

Римские цифры – разломы: IV – Арсеньевский, VII – Самаркинский, XI – Партизанский, XV – Среднеханкайский.

нии залива, а континентальный склон, т.е. глубинная часть моря, расположен к югу от пунктов наблюдения. Исключение составляет поведение векторов на пунктах ЧВ14 и ЧВ16, где на периодах 541 и 1000 с векторы направлены на восток. Влияние проводящих разломов на поведение векторов отчетливо проявляется на коротких периодах 5.4 и 10 с (рис. 4, а, б), на которых видно, что векторы направлены в разные стороны от разломов. С увеличением периода преобладающим влиянием на поведение векторов является береговой эффект.

Из рис. 5 видно, что в диапазоне от 0.1 до 10 с на большинстве пунктов профиля отмечаются повышенные величины модуля вещественного вектора Визе. Большие значения векторов отмечаются и под отдель-

ными группами точек и на более коротких периодах, что вероятно связано с проводниками в земной коре. Наибольшая величина вектора наблюдается в прибрежной зоне, где на периодах свыше 100 с его значение превышает 0.2, что свидетельствует о влиянии берегового эффекта [44]. В северной части профиля также выделяются пункты с повышенными значениями вектора во всем диапазоне периодов, что связывается с влиянием объекта с аномальной проводимостью, расположенного на северо-западе от профиля за его пределами.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Для расчёта инверсии магнитотеллурических данных использовалась программа 3D инверсии

ModEM [46]. Для выполнения расчётов использовались вычислительные ресурсы ЦКП «Центр данных ДВО РАН» [33]. В качестве базовой модели было использовано полупространство сопротивлением 500 Ом·м. Начальное сопротивление полупространства было взято исходя из ранее проведенных исследований [14]. Для учёта влияния моря добавлена область сопротивлением 0.3 Ом·м, учитывающая батиметрию. Размеры модели по горизонтали составляли 170 ячеек по оси X (на север), 169 ячеек по оси Y (на восток) размером 2.5×2.5 км в основной зоне и 27 ячеек по оси Z (вертикально вниз) с плавно увеличивающейся мощностью, начиная с 50 м. Для расчёта было взято 50 периодов в диапазоне от 0.0001 до 1 000 с. В расчёте использовались данные 292 пунктов магнитотеллурических зондирований. Инверсия производилась по данным импеданса и типпера одновременно. Уровень ошибки для основного импеданса брался 5 % от $|Z_{xy} \times Z_{yx}|^{(1/2)}$, для дополнительного – 50 %, для типпера – 5 %. Среднеквадратическая ошибка окончательной модели составила 3.97.

Над разрезом показаны графики гравитационного поля в редукции Буге (Δg) и магнитного поля (ΔT), по данным цифровых моделей континентальной части Дальнего Востока, подготовленные сотрудниками ВСЕГЕИ по заказу ИТиГ ДВО РАН.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Геоэлектрический разрез профиля г. Дальнереченск–с. Чугуевка–зал. Находка (рис. 6) характеризуется неоднородным строением земной коры и верхней мантии.

Земная кора представлена чередованием участков высокого, свыше 1 000 Ом·м, и низкого УЭС 100–300 Ом·м. На Ханкайском массиве, как в северной, так и в южной частях, выделяются блоки высокого УЭС 1 000–10 000 Ом·м в верхней части земной коры до глубин 15–20 км, в нижней части оно уменьшается до 400–500 Ом·м. Центральную часть геоэлектрического разреза занимает Центральная зона САСС с наложенным на нее на юге ВСАВП. От Ханкайского массива САСС отделена разломами: Арсеньевским – на севере, Партизанским – на юге. Эти разломы отчетливо проявились на разрезе обширными зонами низких УЭС 100–200 Ом·м и менее. Хорско-Ариадненская подзона Центральной зоны САСС расположена между Арсеньевским и Самаркинским разломами и представлена блоком высокого УЭС свыше 1 000 Ом·м, мощностью около 30 км, которая сопоставима с мощностью земной коры по данным ГСЗ [4]. Геоэлектрический разрез Самаркинской подзоны Центральной зоны САСС имеет сложное строение. Пункты зонди-

рований расположены вдоль Самаркинского разлома к востоку от него на расстоянии примерно от 5 до 15 км, то приближаясь, то отдаляясь, иногда располагаясь непосредственно в зоне разлома. Здесь выделена Самаркинская субвертикальная зона низкого УЭС. Земная кора северной части Самаркинской подзоны, расположенная между пунктами 12КС и 32СЗ, имеет низкие УЭС 100 Ом·м и менее. Эта зона, названная Кокшаровской, была выделена ранее в работе [13] и пересечена нами при проведении профиля Спасск-Дальний–бух. Зеркальная [14], где её ширина составила 10–15 км. Здесь протяженность этой зоны составляет около 80 км. Природа данной зоны, вероятно, связана с рудной минерализацией. Здесь выделяется Кокшаровский массив щелочных базитовых и гипербазитовых пород до нефелиновых сиенитов с редкометалльной минерализацией [7, 38], для которых характерны повышенная щелочность и титанистость, повышенные концентрации циркония, ниобия и других, когерентных с ними, редких элементов. Согласно [7], этот район относится к Ариадненской титан-редкоземельно-редкометалльной минерагенической зоне. Титан-редкометалльная минерализация рассеяна по всей площади зоны и генетически связана с мелкими интрузиями субщелочных базитов. Размещение интрузий контролируется разломами северо-восточного и субмеридионального направления. Оруденение представлено первичными ильменитовыми рудами и вторичными щелочными метасоматитами с Ti-Ta-Nb минерализацией. Интрузии отчетливо фиксируются положительными линейными аномалиями магнитного и гравитационного полей. Сами ильменитовые руды не могут вызвать такие низкие сопротивления, т.к. их содержание в породе составляет первые проценты. Возможно, что причиной является сульфидизация или графитизация горных пород. Другой возможной причиной низких сопротивлений может быть наличие железистых минералов, которые входят в состав ильменита. Содержание железа от 7.6 до 8.7 % суммарной концентрации выделено в составе ксенолитов вулканических построек Южного Сихотэ-Алиня [35].

Южная часть Самаркинской подзоны, начиная с пункта 32СЗ и до пункта 3ЧВ, характеризуется высокими УЭС свыше 1 000 Ом·м верхней части земной коры до глубины 15–20 км, глубже и до её подошвы сопротивление уменьшается до 300–400 Ом·м. Далее к югу, вплоть до границы с ВСАВП и даже в его пределах, выделяется блок высокого УЭС мощностью 30–40 км, корни которого прослеживаются в верхней мантии. ВСАВП характеризуется низкими УЭС 200–300 Ом·м в верхней части земной коры до глубины

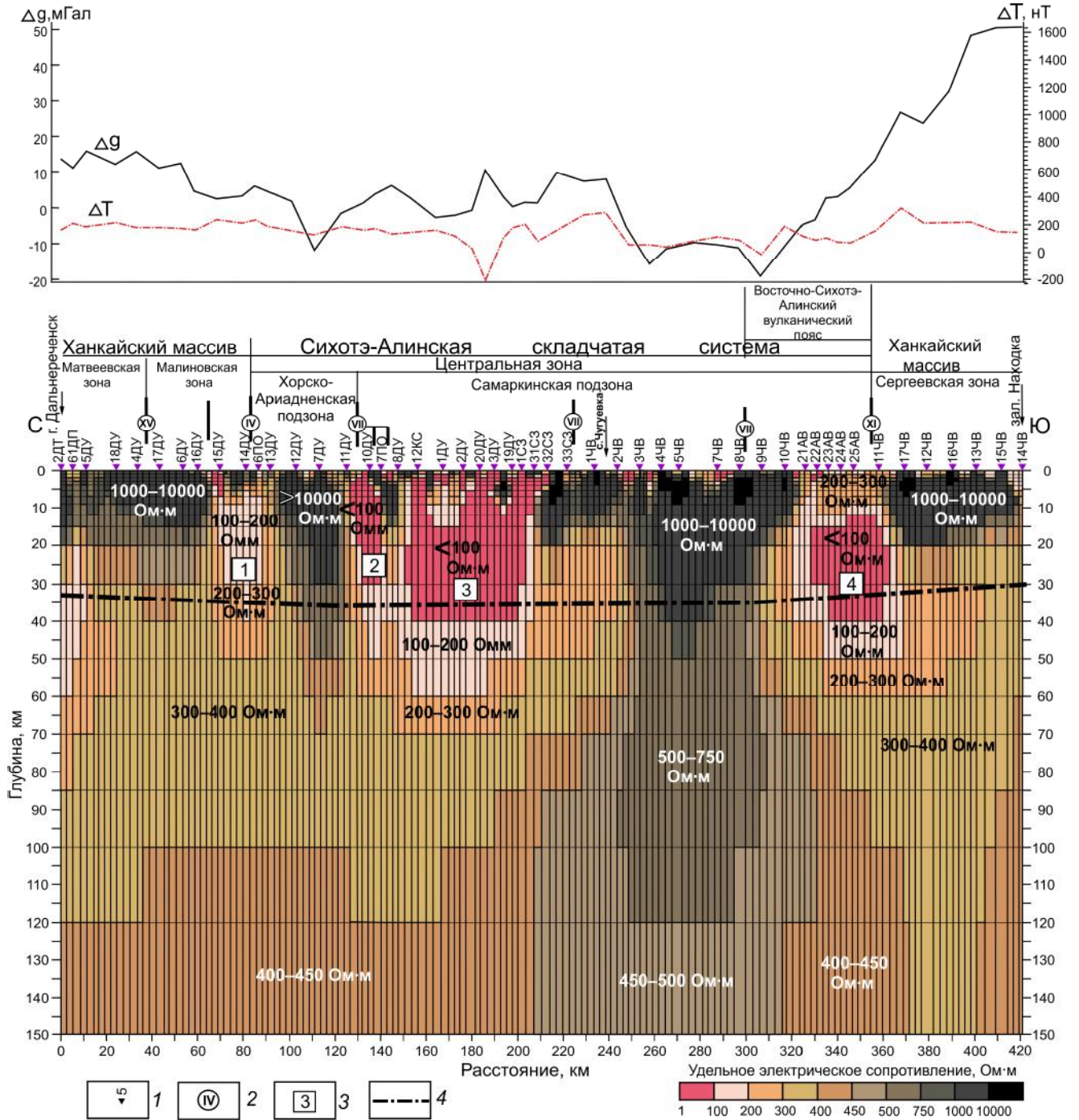


Рис. 6. Геоэлектрический разрез по профилю г. Дальнереченск–с. Чугуевка–зал. Находка по данным магнитотеллурических зондирований.

1 – пункты МТЗ и их номера, 2 – основные разломы: IV – Арсеньевский, VII – Самаркинский, XI – Партизанский, XV – Среднеханкайский; 3 – зоны низкого УЭС: 1 – Ореховская, 2 – Самаркинская, 3 – Кокшаровская, 4 – Партизанская; 4 – подошва земной коры по данным ГСЗ [4].

10–15 км, а в нижней части расположена проводящая зона с УЭС менее 100 Ом·м, корни которой прослеживаются в верхней мантии, названная нами *Партизанской*. Эта проводящая зона выделялась нами ранее при проведении исследований по профилю с. Абражеевка–бух. Валентин [16]. Её размеры, при пересечении настоящим профилем, не изменились. Она связывается с Партизанским разломом, который характеризуется интенсивной милонитизацией и рассланцеванием и сопровождается многочисленными оперяющими сдвигами и надвигами. В зонах милонитизации происходят процессы метаморфической дегидратации в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций, что приводит к образованию надкритического флюида и метаморфогенных растворов и, как следствие, – к понижению удельного электрического сопротивления.

В земной коре выделено еще две субвертикальные зоны низкого УЭС – *Ореховская* (100–200 Ом·м) и *Самаркинская* (менее 100 Ом·м), которые связываются с основными разломами – Арсеньевским и Самаркинским, соответственно. Низкие сопротивления в зонах разломов свидетельствуют о том, что они являются областями деструкции. Глубина этих зон прослеживается на всю мощность земной коры.

На геoeлектрическом разрезе (рис. 6) видно, что не все основные разломы или их отдельные ветви выделяются как субвертикальные зоны низкого УЭС. Это может свидетельствовать либо о различном геодинамическом состоянии разлома, т.е. нахождении его или его ветви в состоянии сжатия или растяжения, либо о «залеченности» разлома, как например зона Центрального Сихотэ-Алинского разлома, которая на геoeлектрических разрезах выделяется зоной высоких УЭС [14, 15].

Геoeлектрический разрез верхней мантии можно представить в виде двух слоев: первый расположен от подошвы земной коры до глубины примерно 100 км и имеет УЭС 300–400 Ом·м, второй залегает под ним и имеет УЭС 400–450 Ом·м. Однако верхняя мантия имеет сложное строение, которое вызвано корнями проводников, расположенных в земной коре, и крупным блоком высокого УЭС, находящемся в южной части САСС на границе с ВСАВП, корни которого прослеживаются до основания геoeлектрического разреза. Пониженными УЭС в верхней мантии выделяется граница ВСАВП и Сергеевской зоны Ханкайского массива, которая связывается с расположенным здесь Партизанским разломом.

Сопоставление геoeлектрического разреза северной и южной частей Ханкайского массива показывает их близкое соответствие, однако гравитационное поле

Сергеевской зоны в 2–3 раза превышает уровень поля Матвеевской и Малиновской зон (рис. 6). Это может свидетельствовать, согласно исследованиям [20], о повышенной степени метаморфизма пород Сергеевской зоны и возможно повышенной плотности пород верхней мантии. Согласно [3, 5, 42, 47], Сергеевская зона (Сергеевский террейн) является крупным тектоническим покровом континентальных пород, перемещенным по сдвигам, части плиты, нависавшей над зоной субдукции. Сергеевский блок рассматривается как тектоническая пластина на юрской аккреционной призме, а не выступ фундамента, и считается частью Сихотэ-Алинского пояса. В этом блоке пермская фауна тетическая (экваториальная) и резко отличается от одновозрастной на Ханкайском массиве.

В пределах САСС блоки высокого УЭС отмечаются наименьшими значениями гравитационного поля в редукции Буге, это Хорско-Ариадненская зона и блок в южной части САСС на границе с ВСАВП. Пониженное гравитационное поле Хорско-Ариадненской зоны вероятно связано с имеющимися здесь гранитоидами, не выходящими на поверхность [21, 36]. Высокое УЭС и самый низкий уровень гравитационного поля над блоком в южной части САСС на границе с ВСАВП связаны не только с гранитоидами в земной коре, но и с породами верхней мантии. Результаты плотностного моделирования, выполненного Л.И. Брянским [2], показали, что примерно здесь проходит зона разуплотнения в земной коре, которая является ортогональным разворотом Сихотэ-Алинской зоны разуплотнения, протягивающейся вдоль Центрального Сихотэ-Алинского разлома. Л.И. Брянский полагал, что этот изгиб повторяет конфигурацию палеозоны Беньофа и связан с ней. Наиболее отчетливо этот изгиб проявлен на карте плотностных аномалий на срезе 100 км, полученной по результатам плотностного трехмерного моделирования литосферы САСС [10]. Это свидетельствует о том, что корни этого минимума гравитационного поля расположены не только в земной коре, но и в верхней мантии, что согласуется с результатами МТЗ о мантийных корнях блока высокого УЭС. Основные плотностные неоднородности мантии САСС авторы статьи [10] связывают с процессами, протекавшими на активной континентальной окраине в меловое время как в режиме субдукции, так и скольжения литосферных плит [23, 24, 41, 42].

Сопоставление геoeлектрических разрезов настоящего профиля и профиля с. Пожарское–п. Шкотово [17], пересекающихся в северной части Ханкайского массива, показывает как их некоторые сходства, так и различия. Земная кора Ханкайского массива представлена блоками высокого УЭС 1 000–10 000 Ом·м

и более, разделенных в основном узкими субвертикальными зонами низкого УЭС менее 100 Ом·м, которые, вероятно, связаны с разломными зонами, а их корни прослеживаются в верхней мантии. Земная кора Центральной зоны САСС имеет более сложное строение. Здесь выделяются мелкие и крупные блоки высокого УЭС 1 000–10 000 Ом·м и более, узкие и протяженные зоны низкого УЭС 100 Ом·м и менее, которые связываются не только с разломами, но и с рудной минерализацией. В целом можно отметить, что УЭС и мощность блоков земной коры в пределах Ханкайского массива больше по сравнению с таковыми Центральной зоны САСС. В верхней мантии профиля с. Пожарское–п. Шкотово отчетливо выделялась граница, примерно в районе г. Спасск-Дальний, между северной и южной частями геоэлектрического разреза, имеющая повышенное УЭС. Подобная граница отмечается и на настоящем профиле (между пунктами 2СВ и 3СВ), но в его южной части в верхней мантии наблюдается более сложная картина, представленная обширными областями высокого и низкого УЭС. Наличие высоких УЭС в прибрежных частях САСС наблюдались нами и на других геоэлектрических разрезах [14–16], поэтому наличие низких УЭС в прибрежной части САСС на данном профиле имеет локальный характер и связано с влиянием проводящего Партизанского разлома. Это подтверждается и поведением гравитационного поля в этой части профиля, которое превышает средний уровень более чем в пять раз, что свидетельствует о высокой плотности верхней мантии. В связи с этим мы считаем, что полученный геоэлектрический разрез согласуется с моделью развития Восточного Сихотэ-Алиня, предложенной в работах [23, 24, 41, 42].

Анализ геоэлектрических разрезов настоящего профиля и профиля с. Пожарское–п. Шкотово показал, что земная кора и верхняя мантия Южного Сихотэ-Алиня и Ханкайского массива характеризуются широтной зональностью, давно выделяемой многими исследователями [напр., 12], хорошо выраженной в гравитационном поле [2, 21] и подтверждаемой современными исследованиями вулканитов [25], что связывается с различными геодинамическими режимами развития Сихотэ-Алиня. Широтная зональность глубинного строения Сихотэ-Алиня подтверждается и результатами современного трехмерного плотностного моделирования [10], где на срезе 25 км выделяется широтная зональность в направлении восток-запад, а на срезе 50 км отмечается её разворот в северо-западном направлении. Подобное изменение направления простирания плотностных неоднородностей на различных глубинах [10] и геоэлектрическая анизотропия земной коры и верхней мантии [14–16, 28, 29],

а также наши настоящие исследования могут свидетельствовать о различных геодинамических режимах на различных глубинных уровнях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных работ построен геоэлектрический разрез литосферы южной части Сихотэ-Алинской складчатой системы и граничащего с ней Ханкайского массива до глубины 150 км по профилю г. Дальнереченск–зал. Находка, получены новые данные об их строении и электрических характеристиках.

Изучено влияние берегового эффекта на данные магнитотеллурических зондирований. На коротких периодах, менее 0.1 с, в основном преобладает хаотичное поведение векторов, вызванное влиянием локальных аномалий высокой проводимости в верхней части земной коры. Показано, что влияние моря проявляется на периодах свыше 10 с на расстоянии до 100 км и до 150 км на периодах свыше 100 с. По изменению направления векторов Визе севернее 45° с.ш. выявлено наличие проводящего объекта, расположенного к северо-западу от профиля за его пределами.

Выявлено, что мощность блоков земной коры и их УЭС в пределах Ханкайского массива больше по сравнению с таковыми Центральной зоны САСС. Земная кора Ханкайского массива в пределах профиля состоит из блоков высокого УЭС 1 000–10 000 Ом·м мощностью около 20 км. Земная кора САСС имеет более сложное строение и представлена блоками как высокого УЭС 100–10 000 Ом·м и более, так и низкого УЭС менее 100 Ом·м.

В земной коре выделено четыре зоны низкого УЭС, три из которых – Ореховская, Самаркинская и Партизанская – связываются с основными глубинными разломами – Арсеньевским, Самаркинским и Партизанским, соответственно. Четвертая зона – Кокшаровская – связывается с рудной минерализацией и рудоносными разломами северо-восточного и субмеридионального направления, пронизывающими блок земной коры на всю её мощность.

В земной коре САСС выделен блок высокого УЭС, корни которого прослеживаются в верхнюю мантию до глубины 150 км, ему соответствует минимальный уровень гравитационного поля. Предполагается, что данная структура, возможно, связана с палеозоной Беньюфа, а геоэлектрический разрез согласуется с моделью развития Восточного Сихотэ-Алиня, предложенной в работах [23, 24, 41, 42].

Подтверждена широтная зональность земной коры и верхней мантии САСС [напр., 12, 21, 25], которая согласуется с результатами плотностного моделирования [10] и связывается с различными Р-Т усло-

виями на разных глубинных уровнях и различным геодинамическим режимом развития разных частей Сихотэ-Алиня.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность чл.-корр. РАН А.Н. Диденко (ИТиГ ДВО РАН, г. Хабаровск) за помощь и поддержку в проведении полевых исследований. Авторы выражают глубокую признательность академику РАН А.И. Ханчуку (ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток) за ценные замечания и советы, которые значительно улучшили качество статьи. Авторы благодарят рецензентов, по замечаниям которых были устранены некоторые неточности и технические погрешности.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН ИТиГ ДВО РАН №075-00378-21-00.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Науч. мир, 2009. 680 с.
- Брянский Л.И. Стандартные гравитационные модели земной коры (на примере юга Дальнего Востока СССР). Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. 144 с.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
- Глубинное строение Приморья (по данным ГСЗ). М.: Наука, 1976. 92 с.
- Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 239 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000 (третье поколение). L-(52),53; (K-52,53) (оз. Ханка). СПб.: ВСЕГЕИ, 2011.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000 (третье поколение). Лист (L-(52), 53; (K-52, 53). оз. Ханка: Объясн. зап. СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2011. 684 с. + 8 вкл.
- Гребенников А.В., Попов В.К. Петрогеохимические аспекты позднемелового и палеогенового игнимбритового вулканизма Восточного Сихотэ-Алиня // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 1. С. 41–65.
- Гребенников А.В., Касаткин С.А., Федосеев Д.Г., Ханчук А.И. Среднепалеоцен-раннеэоценовый (60.5–53.0 млн. лет) этап магматизма на юге Дальнего Востока России // Тихоокеан. геология. 2020. Т. 39, № 5. С. 34–40.
- Диденко А.Н., Носырев М.Ю. Плотностная структура литосферы Сихотэ-Алинского орогенного пояса // Докл. АН. Науки о Земле. 2020. Т. 492, № 2. С. 1–6.
- Забродин В.Ю., Рыбас О.В., Гильманова Г.З. Разломная тектоника материковой части Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2015. 132 с.
- Изох Э.П. Поперечная зональность структуры Сихотэ-Алиня // Геология и геофизика. 1966. № 1. С. 32–44.
- Каплун В.Б. Результаты магнитотеллурических зондирований в пределах центральной части Сихотэ-Алиня (Приморье) // Тихоокеан. геология. 1993. Т. 12, № 2. С. 88–96.
- Каплун В.Б., Бронников А.К. Строение земной коры и верхней мантии Южного Сихотэ-Алиня по профилю г. Спасск-Дальний–бух. Зеркальная по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеан. геология. 2018. Т. 37, № 5. С. 31–47.
- Каплун В.Б., Бронников А.К. Строение земной коры и верхней мантии Южного Сихотэ-Алиня по профилю г. Дальнереченск–с. Рошино–п. Пластун по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 5. С. 3–13.
- Каплун В.Б., Бронников А.К. Строение земной коры и верхней мантии Южного Сихотэ-Алиня по данным магнитотеллурических зондирований по профилю с. Абражеевка–п. Валентин // Тихоокеан. геология. 2020. Т. 39, № 4. С. 3–15.
- Каплун В.Б., Бронников А.К. Геoeлектрический разрез литосферы Ханкайского массива по профилю с. Пожарское–п. Шкотово по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеан. геология. 2021. Т. 40, № 6. С. 20–33.
- Кемкин И.В. Геодинамическая эволюция Сихотэ-Алиня и Япономорского региона в мезозое. М.: Наука, 2006. 258 с.
- Крук Н.Н., Голозубов В.В., Ханчук А.И., Александров И.А., Чащин А.А., Скляров Е.В. Интрузивные комплексы Сергеевского террейна – древнейшего блока Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2018. 56 с.
- Кулинич Р.Г., Толмачева Л.С., Жуковская А.В. Элементы тектоники Ханкайского массива и его обрамления по геофизическим данным // Геология и геофизика. 1967. № 1. С. 44–51.
- Кулинич Р.Г. Особенности глубинного строения и эндогенная рудоносность мезозойской южной части Сихотэ-Алиня // Мезозойский тектогенез: Материалы VII сессии Научного совета по тектонике Сибири и Дальнего Востока. Магадан, 1971. С. 284–289.
- Мардерфельд Б.Е. Береговой эффект в геомагнитных вариациях. М.: Наука, 1977. 80 с.
- Мартынов Ю.А., Ханчук А.И. Кайнозойский вулканизм Восточного Сихотэ-Алиня: результаты и перспективы петрологических исследований // Петрология. 2013. Т. 21, № 1. С. 84–108.
- Мартынов Ю.А., Голозубов В.В., Ханчук А.И. Мантийный диапиризм в зонах конвергенции литосферных плит // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 5. С. 947–961.
- Мартынов А.Ю., Голозубов В.В., Мартынов Ю.А., Касаткин С.А. Латеральная зональность Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса: геодинамический режим в позднемеловое время // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 3. С. 76–91.
- Мишкин М.А., Ханчук А.И., Журавлев Д.З., Лаврик С.Н. Первые данные о Sm-Nd систематике метаморфических пород Ханкайского массива // Докл. АН. 2000. Т. 374, № 6. С. 813–815.
- Никифоров В.М., Пальшин Н.А., Старжинский С.С., Кузнецов В.А. Численное моделирование трехмерного берегового эффекта в Приморье // Физика Земли. 2004. № 8. С. 56–69.
- Никифоров В.М., Дмитриев И.В., Старжинский С.С. Глубинная геoeлектрическая структура и сейсмичность При-

- морья (Дальний Восток) // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 4. С. 18–25.
29. Никифоров В.М., Дмитриев И.В., Шкабарня Г.Н. Геоэлектрическая структура тектоносферы на юге Дальнего Востока: связь с тектоникой, металлогенией, нефтегазоносностью // Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии: VII Косыгинские чтения: Материалы Всерос. конф. 12–15 сентября 2011 г., г. Хабаровск / Отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Манилов. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2011. 664 с. С. 289–293.
 30. Никифорова Н.Н., Ахмадулин В.А., Порай-Кошиц А.М., Светов Б.С., Спивак В.А., Хализов А.А., Харин Е.П. Глубинные магнитотеллурические исследования в Хабаровском крае // Глубинные электромагнитные зондирования Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 42–49.
 31. Петрищевский А.М. Статистические гравитационные модели литосферы Дальнего Востока. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1988. 168 с.
 32. Порай-Кошиц А.М., Ноздрин А.А., Хализов А.Л., Шимелевич М.И. Об интерпретации данных магнитовариационного профилирования в Приморском крае // Глубинные электромагнитные зондирования Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 124–126.
 33. Сорокин А.А., Макогонов С.В., Королев С.П. Информационная инфраструктура для коллективной работы ученых Дальнего Востока России // Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы. 2017. № 12. С. 14–16.
 34. Старжинский С.С. Результаты магнитовариационных исследований в Приморье // Физика Земли. 2004. № 7. С. 1–9.
 35. Степашко А.А. Латеральная гетерогенность мантии Дальнего Востока // Тихоокеан. геология. 2001. Т. 20, № 5. С. 93–117.
 36. Тектоническая природа геофизических полей Дальнего Востока. М.: Наука, 1984. 200 с.
 37. Туезов И.К. Геотермическая астеносфера Азиатско-Тихоокеанской зоны сочленения и прилегающих частей Азии и Тихого океана. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 112 с.
 38. Ханчук А.И., Рязанцева М.Д., Голозубов В.В., Гонохова Н.Г. Геология и полезные ископаемые Приморского края: Очерк. Владивосток: Дальнаука, 1995. 68 с.
 39. Ханчук А.И., Голозубов В.В., Мартынов Ю.А., Симаненко В.П. Раннемеловая и палеогеновая трансформные континентальные окраины (калифорнийский тип) Дальнего Востока России // Тектоника Азии: Программа и тезисы совещания. М.: ГЕОС, 1997. С. 240–243.
 40. Ханчук А.И., Вовна Г.М., Киселев В.И., Мишкин М.А., Лаврик С.Н. Первые результаты U-Pb геохронологических исследований пород гранулитового комплекса Ханкайского массива Приморья (метод LA-ICP-MS) // Докл. АН. 2010. Т. 434, № 2. С. 212–215.
 41. Ханчук А.И., Мартынов Ю.А. Тектоника и магматизм границ скольжения океанических и континентальных литосферных плит // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием. г. Владивосток, 20–23 сентября 2011 г. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 45–49.
 42. Ханчук А.И., Гребенников А.В., Иванов В.В. Альб-сеноманские окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция Тихоокеанской Азии // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 3. С. 4–29.
 43. Didenko A.N., Nosyrev M.Yu., Gilmanova G.Z. A gravity-derived Moho model for the Sikhote-Alin Orogenic Belt // Pure and Applied Geophysics. 2021. <http://doi.org/10.1007/S00024-021-02842-8>
 44. Dosso H.W., Meng Z.W. The coast effect response in geomagnetic field measurements // Phys. Earth Planet. Inter., 1992. V. 70. P. 39–56.
 45. Eggers D.E. An eigenstate formulation of the magnetotelluric impedance tensor // Geophysics. V. 47. 1982. P. 1204–1214.
 46. Kelbert A., Meqbel N., Egbert G., Tandon K. ModEM: A modular system for inversion of electromagnetic geophysical data // Computers & Geosciences. 2014. V. 66. P. 40–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2014.01.010>
 47. Khanchuk A.I. Pre-Neogene tectonics of the Sea-of-Japan region: A view from the Russian side // Earth Sci. (Chikyū Kagaku). 2001. N 55. P. 275–291.
 48. Zorin N., Aleksanova E., Shimuri H., Yakovlev D. Validity of the dispersion relations in magnetotellurics: P. I – theory // Earth. Planets and Space. 2020. V. 72, N 9. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-1133-4>

Рекомендована к печати Р.Г. Кулиничем

после доработки 02.03.2022 г.
принята к печати 16.03.2022 г.

V.B. Kaplun, A.K. Bronnikov

Geoelectric section of the lithosphere in the central part of the southern Sikhote-Alin fold system along profile Dalnerechensk-Nakhodka Bay from magnetotelluric sounding data

The geoelectric section of the lithosphere was constructed down to a depth of 150 km based on the results of magnetotelluric (MT) sounding carried out along the profile that extends along the eastern edge of the Khanka massif to the coast of the Sea of Japan, from the northern part of the massif to the Sikhote-Alin fold system (SASS). Conductive zones in the crust and zones of increased electrical resistivity in the upper mantle were distinguished. Differences in geoelectric characteristics of the Earth's crust in the Late Proterozoic–Paleozoic Khanka massif and in the Tsentrálnaya zone of the Albian-Cenomanian SASS were revealed. The latitudinal zonality of the crust and upper mantle was confirmed. The influence of the coast effect on the behavior of the Wiese vectors was studied and their relationship with conducting zones in the crust and faults was shown.

Key words: magnetotelluric sounding, coast effect, deep structure, Earth crust, upper mantle, southern Sikhote-Alin.