

УДК 555.24:550.837:550.372

МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНАХ НОВЕЙШЕЙ ТЕКТониКИ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРНОГО АЛТАЯ)

Е.В. Поспеева, Л.В. Витте, В.В. Потапов, М.А. Сахарова

Аннотация. Данная статья представляет обобщение материалов МТЗ, полученных нами в пределах Чуйской и Курайской впадин и их горного обрамления. Она базируется на современных данных изучения морфотектоники Алтая, в том числе на анализе особенностей формирования горных сооружений и зон сочленения их с Чуйской и Курайской впадинами. В работе использованы материалы, фиксирующие геоморфологические, геофизические и геологические проявления новейшей активизации.

Ключевые слова. Магнитотеллурические исследования, геоэлектрический разрез, глубинный разлом, земная кора, Чуйская и Курайская впадины, Русский Алтай.

Abstract. The article presents a synthesis of MT sounding data received within the Chuya and Kurai basins and their mountain frame. Geological interpretation of the MT soundings inversion results is based on the modern study of the Altai morphotectonics, including the characteristics of mountain structures formation and areas of their catenation with Chuya and Kurai basins. In our research, we used geomorphological, geophysical and geological indicators of the latest activation.

Key words. Magnetotelluric studies, geoelectric section, deep fault, earth crust, Chuya and Kurai basins, Russian Altai.

ВВЕДЕНИЕ. В статье представлено обобщение материалов магнитотеллурического зондирования (МТЗ), полученных в исключительно интересном, сложно построенном новейшем орогеническом поясе Алтая, представляющего собой мобильную зону, унаследованно развивавшуюся с позднего палеозоя. Современный этап изучения морфотектоники Алтая показывает сложный характер особенностей формирования горных сооружений и зон сочленения их с Чуйской и Курайской впадинами. Представляет интерес изучение неотектонических структур: надвигов, сдвигов, взбросов и сбросов, а также сдвиго-надвиговых структур; интересно и геофизическое выражение ключевых участков перехода от впадин к горным сооружениям, изучение контактов между палеозойскими и кайнозойскими отложениями и целый ряд других тектонических проблем.

Использование современных магнитотеллурических исследований для изучения структур Горного Алтая представляется целесообразным, учитывая исключительно сложную структуру объектов исследования, а также характер новейших процессов, деформирующих ее. МТЗ позволяют расширить имеющиеся представления о глубинной структуре земной коры, ее составе и деформациях глубинными разломами новейшей эпохи.

Методика исследований

К настоящему времени в пределах исследуемой площади силами лаборатории геоэлектрики ИНГГ выполнены профильные и площадные работы методом МТЗ в количестве более 150 физических наблюдений. В процессе геологической интерпретации полученных данных также были использованы материалы КНИИГГиМСа и научной станции

г. Бишкека СО РАН, переданные в рамках научного сотрудничества (рис. 1). Работы выполнены с помощью аппаратуры нового поколения канадской фирмы «Phoenix Geophysics Ltd» в диапазоне периодов 0,003–10000 с. Использовались два измерительных модуля MTU-5, позволяющих регистрировать пять компонент магнитотеллурического поля: E_x , E_y , H_x , H_y , H_z . Шаг наблюдений в среднем составил 2–5 км со сгущением до 1 км в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения. Применялась крестообразная установка с длиной электрических линий 100 м. Ориентация осей осуществлялась по шкале, принятой у магнитологов: ось X – север, ось Y – восток. Длительность записи компонент магнитотеллурического поля в среднем составила 19–22 часа.

Обработка полевых данных проведена с помощью программного обеспечения «Phoenix Geophysics», интерпретация выполнена в программном комплексе Win GLink. Важным этапом интерпретации является анализ магнитотеллурических данных, в процессе которого находятся главные значения и главные направления тензора импеданса, анализируются полярные диаграммы тензора импеданса и строятся частотные разрезы магнитотеллурических параметров, совместный анализ которых позволяет распознать структуры и определить их размерность. Анализ магнитотеллурических параметров проводился на основе упрощенного магнитотеллурического теста, предложенного М.Н. Бердичевским [Berdichevsky, Dmitriev, 2002]. Анализируются три параметра: N_{mt} , $skew_s$ [Swift, 1967] и $skew_b$ [Bahr, 1988], которые оценивались по отношению к пороговым значениям δ , лежащим в интервале 0,05–0,15 [Бердичевский, Дмитриев, 2009]. Согласно этому анализу, исследуемый район в целом

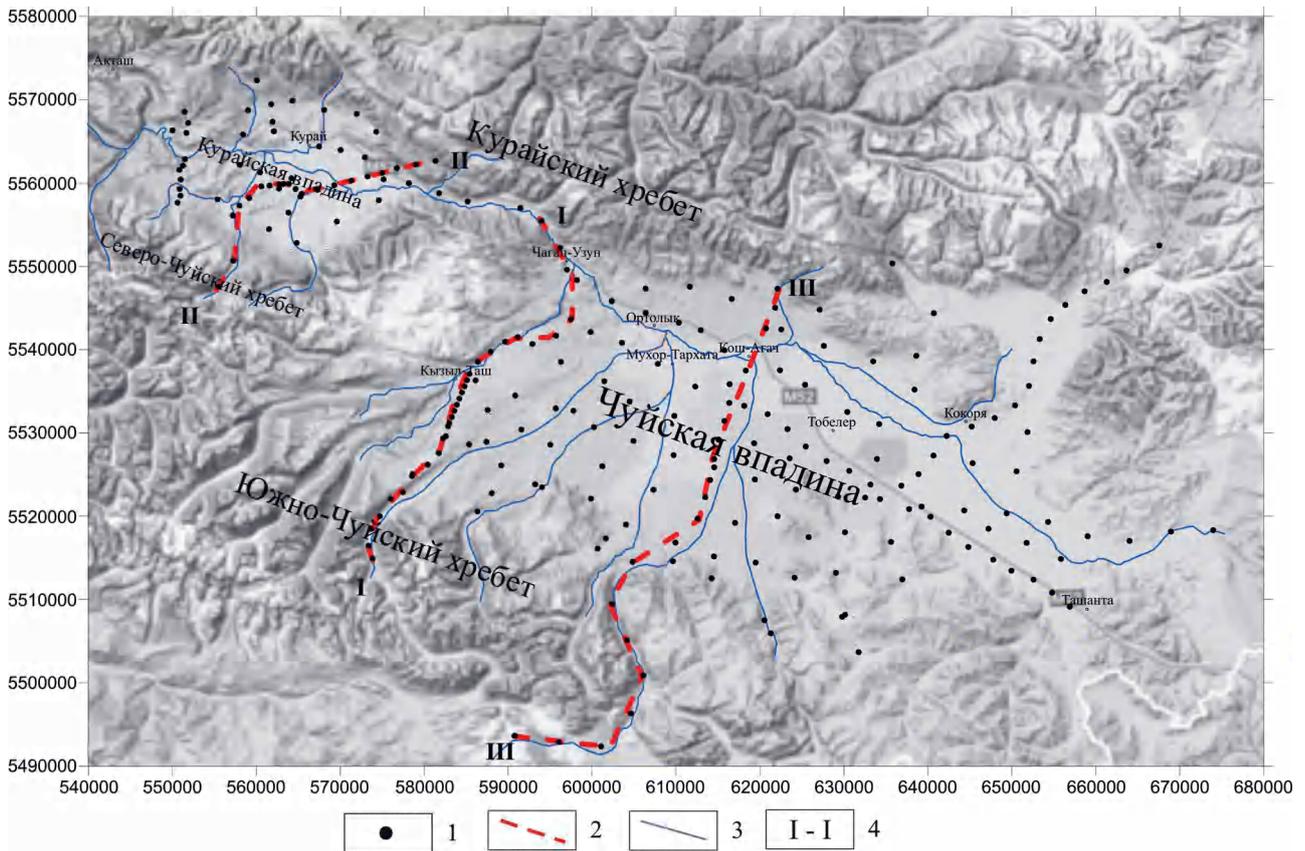


Рис. 1.

Схема расположения пунктов МТЗ:

1 – пункты МТЗ, 2 – расположение профилей МТЗ, 3 – реки, 4 – номера профилей

можно рассматривать как региональную двумерную структуру:

$$N_{mt} \gg \delta \rightarrow skew_s \geq \delta \rightarrow skew_B < \delta.$$

На высоких частотах ($T \ll 1$) значения магнитотеллурических параметров лежат в пределах пороговых. С понижением частоты значения N_{mt} возрастают, а значения $skew_s$ и $skew_B$ остаются в пределах пороговых, и только на периодах, превышающих 100 с, отмечается повышение значений всех трех параметров, что свидетельствует о наличии глубинных трехмерных эффектов [Bahg, 1988].

Другая важная задача МТ-исследований – выявление на кривых зондирования искажений, связанных с горизонтальной неоднородностью разреза. Преобладающий характер искажающих эффектов в исследованном районе имеет гальваническую природу. Здесь наблюдается статическое смещение поперечных кривых кажущегося сопротивления по оси сопротивлений вверх (рис. 2). В качестве критерия неискаженности восходящих ветвей кривых МТЗ служили кривые ЗСБ, для нисходящих – кривая глобального магнитовариационного зондирования (МВЗ), построенная в результате обобщения данных по глобальному электромагнитному зондированию Земли [Файнберг, Фискина, Ротанова, 1977]. Позже эти же материалы были пересмотрены с позиций математической статистики и методики интерпретации, предусматривающей совместное использование амплитудной и фазовой кривых МТЗ [Поспеев, 1979; Поспеев, Михалевский, 1981], позволившие выявить на кривой глобального зондирования границы

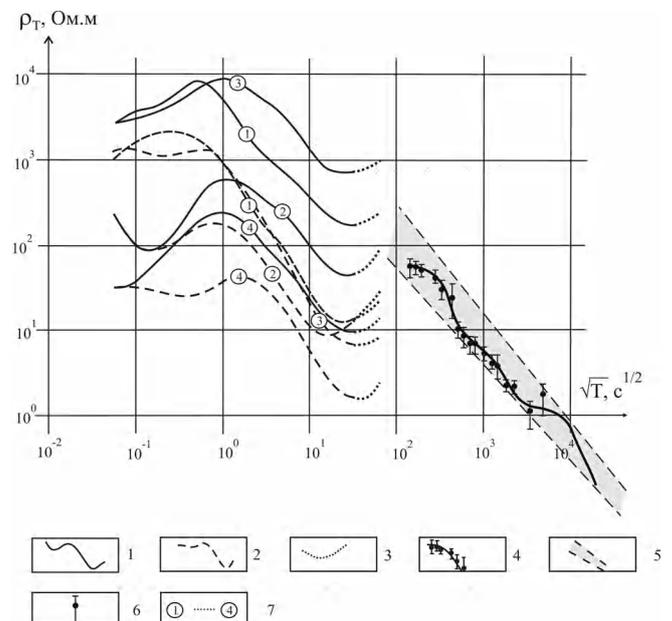


Рис. 2.

Среднехарактеристические кривые МТЗ района исследований

Кривые МТЗ: 1 – поперечные, 2 – продольные; 3 – область неустойчивых значений кажущегося сопротивления; 4 – кривая глобального МВЗ [Поспеев В.И., 1979, 1981]; 5 – линии, ограничивающие область экспериментальных значений ρ_k ; 6 – средние значения ρ_k и доверительный интервал среднего; 7 – номера блоков: 1 – Южно-Чуйский хребет, 2 – Чуйская впадина, 3 – Северо-Чуйский хребет, 4 – Курайская впадина

«скачкообразного» изменения электропроводности. Эти границы расположены на глубинах, близко совпадающих с уровнем фазовых переходов в мантии, полученных по данным геофизических и петрологических исследований [Жарков, 1983; Пушаровский Ю.М., Пушаровский Д.Ю., 2010; Рингвуд, 1981]. Относительно такой модели распределения электропроводности с глубиной оценивались полученные нами данные. На кривой МВЗ показаны средние значения ρ_k и доверительные интервалы.

В пределах горного обрамления впадин – Южно-Чуйского, Северо-Чуйского, Курайского хребтов и Чаган-Узунского горста – отмечается значительное расхождение продольных и поперечных кривых, нисходящие ветви которых выходят за уровень кривой МВЗ. Во впадинах восходящие ветви поперечных кривых в интервале S_1 близки к восходящим ветвям продольных кривых, а ниспадающие ветви смещены по оси сопротивления вверх практически на декаду, но не выходят за уровень глобального МВЗ (см. рис. 2). Результаты сопоставления кривых МТЗ с кривыми ЗСБ показали, что на уровень кривых ЗСБ выходят продольные кривые. Поскольку кривые ЗСБ практически не подвержены факторам, искажающим электрическое поле, так как в этом методе измеряется дифференцированная по времени магнитная составляющая электромагнитного поля, то их совпадение с продольными кривыми МТЗ подтверждает корректность интерпретации последних. Практика работ во многих регионах нашей страны показала, что наиболее надежную информацию о распределении электропроводности земной коры и верхней мантии дают продольные кривые. На эти кривые зондирования наименьшим образом влияет горизонтальная неоднородность среды, и при одномерной интерпретации они удовлетворительно отражают вертикальное распределение в пункте зондирования.

При комплексировании неизбежно возникает проблема совмещения кривых различного вида электромагнитных зондирований. Очевидно, что совмещение кривых ЗСБ и МТЗ по разносам невозможно, так как это различные функции, хотя и от одних и тех же аргументов. Наиболее реальным путем является совмещение этих кривых по уровню кажущегося сопротивления и параметрам S и H , единым для области перекрытия [Неведрова, Поспеева, Санчаа, 2011]. Совпадение параметров ЗСБ и одной из кривых МТЗ может служить одним из критериев выбора модели геоэлектрического разреза и определение той кривой МТЗ, на которую влияние верхней части разреза минимально.

Результаты и их обсуждение

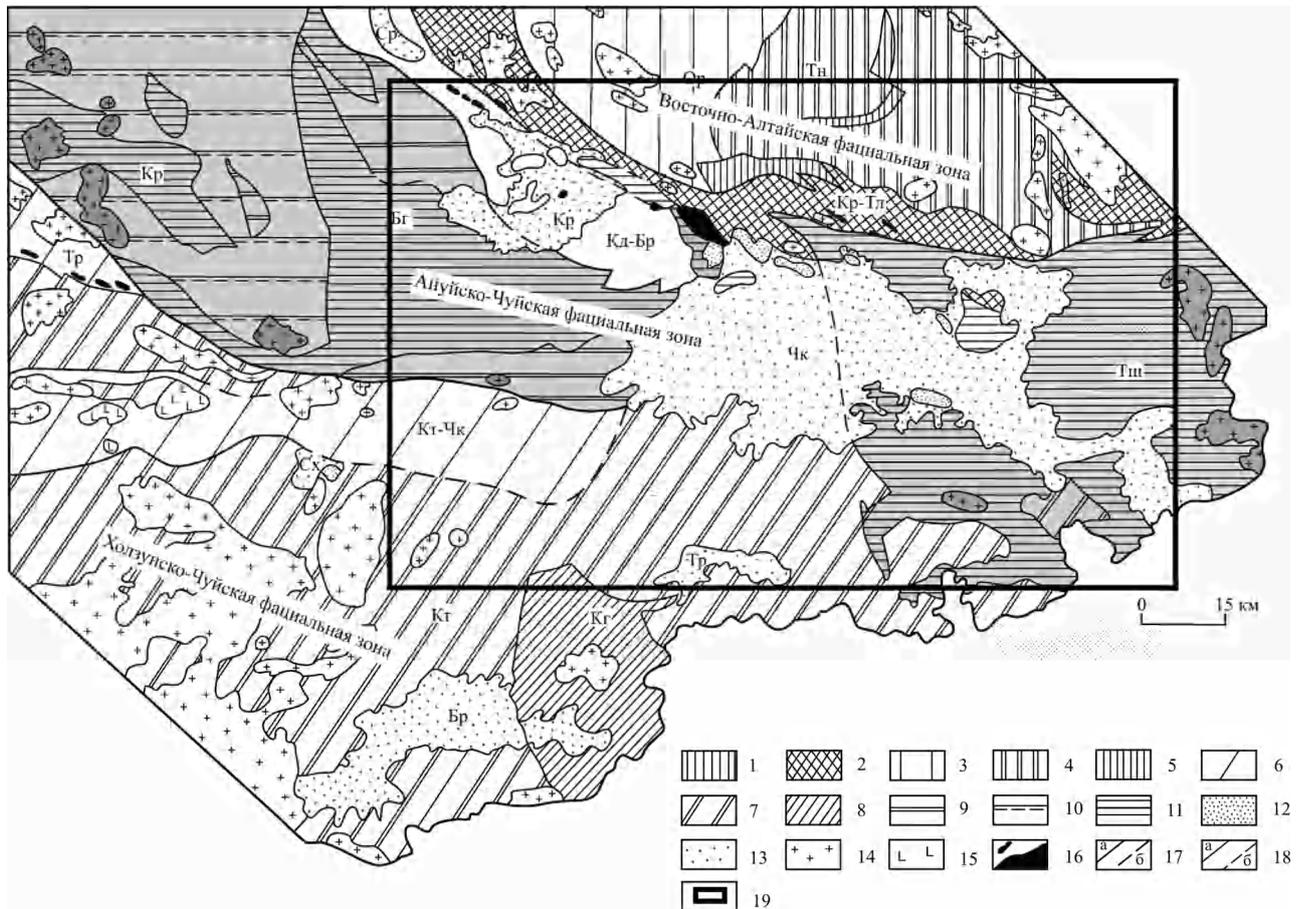
Изученная территория относится к Горно-Алтайской складчатой области. Тектоническими структурами первого порядка в ее пределах являются структурно-фациальные зоны, осложненные структурами меньшего порядка – прогибами и выступами [Новиков, 2004]. В юго-восточной части Горного Алтая, в пределах которой располагаются исследуемые впадины, происходит сближение трех основных протяженных структурно-фациальных зон – Восточно-

Алтайской, Ануйско-Чуйской и Холзунско-Чуйской, которые веерообразно расходятся в северо-западном направлении (рис. 3).

Исследуемые Чуйская и Курайская впадины располагаются в пределах Ануйско-Чуйской структурно-фациальной зоны, отделенной от соседних зон глубинными протяженными разломами. С севера она отделена от Восточно-Алтайской структурно-фациальной зоны глубинными разломами салаирского возраста, а с юга от Холзунско-Чуйской структурно-фациальной зоны ее отделяет Чарышско-Теректинский глубинный разлом (рис. 3). Фиксируемая геоморфологическими и геологическими методами система активных разломов Алтая имеет плановый рисунок, который отчетливо свидетельствует о сдвиговом характере дислокаций [Новиков, 2004, стр. 200, рис. 44]. Изучение особенностей кайнозойской тектоники Алтая и ее отображения в глубинной структуре земной коры, фиксируемой магнитотеллурическими исследованиями, позволяет сделать следующие выводы. Земная кора исследованной части Горного Алтая характеризуется сильной раздробленностью и сочетанием различных по размеру блоков и разделяющих их разрывных нарушений. Разломно-блоковое строение характерно также и для изучаемых впадин – как Чуйской, так и Курайской. Земная кора горного обрамления впадин характеризуется преимущественно высокими значениями удельного электрического сопротивления, что соответствует преобладанию здесь интрузивных и метаморфических комплексов (рис. 4, а, б). Горные хребты и впадины отделяются глубинными протяженными разрывными нарушениями. В разрезе, характеризующем верхний и средний уровни консолидированной коры горного обрамления впадин, удельное электрическое сопротивление пород изменяется от 1500–2000 Ом·м (Северо-Чуйский, Курайский хребты, Чаган-Узунский горст) до 5000 Ом·м (Южно-Чуйский хребет). На глубинах порядка 18–20 км выделяется проводящий слой с сопротивлением менее 100 Ом·м. От Чуйской и Курайской впадин горные хребты отделяются субвертикальными проводящими неоднородностями с сопротивлением менее 2 Ом·м, приуроченными к зонам глубинных разломов (см. рис. 4, а, б).

Чуйская впадина является самой крупной (длина 75 км, ширина до 40 км) и наиболее сложно построенной межгорной котловиной Горного Алтая. Возрастной диапазон отложений – от верхнего олигоцена до голоцена. Выделен ряд новейших структур, осложняющих впадину [Девяткин, 1965]. Поднятием Чаган-Узунского блока образованы два самостоятельных элементарных прогиба: Центрально-Чуйский и Южно-Чуйский, разделенные относительно приподнятой зоной.

Тектонические впадины Горного Алтая представляют собой линейно вытянутые новейшие прогибы, которые в своем развитии тесно связаны с ростом прилегающих поднятий. В результате дифференцированных движений Чуйская и Курайская впадины были подняты на различную высоту: Чуйская на 1800 м, Курайская – на 1700 м.

**Рис. 3.****Тектоническая схема юго-восточной части Горного Алтая**

(границы и названия структур по материалам среднемасштабной геологической съемки) [И.С. Новиков, 2004]

1, 2 – складчатые структуры салаирского возраста (рифей-кембрийские аккреционные зоны): 1 – Кадринско-Баратальский выступ (Кд-Бр), 2 – Курайско-Телецкий выступ (Кр-Тл); 3–8 – складчатые структуры каледонского возраста: 3–5 – Восточно-Алтайская зона (Саянский блок), 3 – Оройский выступ (Ор), 4 – Тонгульский прогиб (Тн), 5 – наложенные герцинские прогибы; 6–8 – Холзунско-Чуйская зона (Алтае-Монгольский блок): 6 – теректинский (Тр) и Катунско-Чуйский (Кт-Чк) «выступы», 7 – Катунский прогиб (Кт), 8 – наложенный герцинский Калгутинский прогиб (Кг); 9–11 – раннегерцинская Алуиско-Чуйская зона; 9 – фрагмент Саянского блока; 10 – Чуйский прогиб (Чк), 11 – наложенные герцинские прогибы: Каракольский (Кр), Бельгешаевский (Бг) и Ташантинский (Тш); 12, 13 – кайнозойские наложенные впадины: 12 – дочетвертичный ярус; 14–16 – интрузивные образования: 14 – гранитоиды, 15 – габброиды, 16 – гипербазиты; 17, 18 – границы: 17 – глубинных разломов (а – прослеженных, б – предполагаемых), 18 – разломные и стратиграфические (а – прослеженные, б – предполагаемые); 19 – область исследований – на рис. 1

Формирование Чуйской впадины связано с процессами рельефообразования, а именно с тектоническими движениями по разломам [Дергунов, 1972]. Это обстоятельство подтверждается особенностями внутренней структуры земной коры, выраженными распределением удельного электрического сопротивления (см. рис. 4, а).

По данным МТЗ, в осадочном чехле впадины выделяются четыре обобщенных геоэлектрических горизонта (рис. 5).

Первый с наибольшими значениями удельного сопротивления включает четвертичные отложения башкауской, терекской и бекенской свит верхнего плиоцена. Горизонт выдержан по значениям УЭС, в среднем составляющим 700 Ом·м, и значительно изменяется по мощности от 400 м до 130 м до полного выклинивания. Второй горизонт, представленный отложениями туерьской свиты нижнего плиоцена – верхнего миоцена, выдержан как по мощности, так и по сопротивлению, средние значения которых составляют 140 м и 300 Ом·м соответственно.

Наиболее проводящий – третий горизонт – приурочен к отложениям кошагачской свиты среднего – нижнего миоцена. Среднее сопротивление горизонта 25–30 Ом·м, мощность 200–250 м.

Осадочные толщи залегают на палеозойском основании, удельное электрическое сопротивление которого порядка 200–300 Ом·м.

Чуйская впадина представляет собой относительно опущенный блок, практически со всех сторон обрамленный хребтами с абсолютными отметками 3000–4500 м. Хребты сложены магматическими породами (в основном гранитоидами) с высокими значениями удельного сопротивления. Граница Чуйской впадины с горными сооружениями (Южно-Чуйским и Курайским хребтами) фиксируется не только сменой уплощенного дна крутыми склонами хребтов, но и сменой рыхлых кайнозойских осадков, выполняющих впадину, скальными докайнозойскими породами, представленными метаморфизованными образованиями и гранитоидными интрузиями. Установлено [Но-

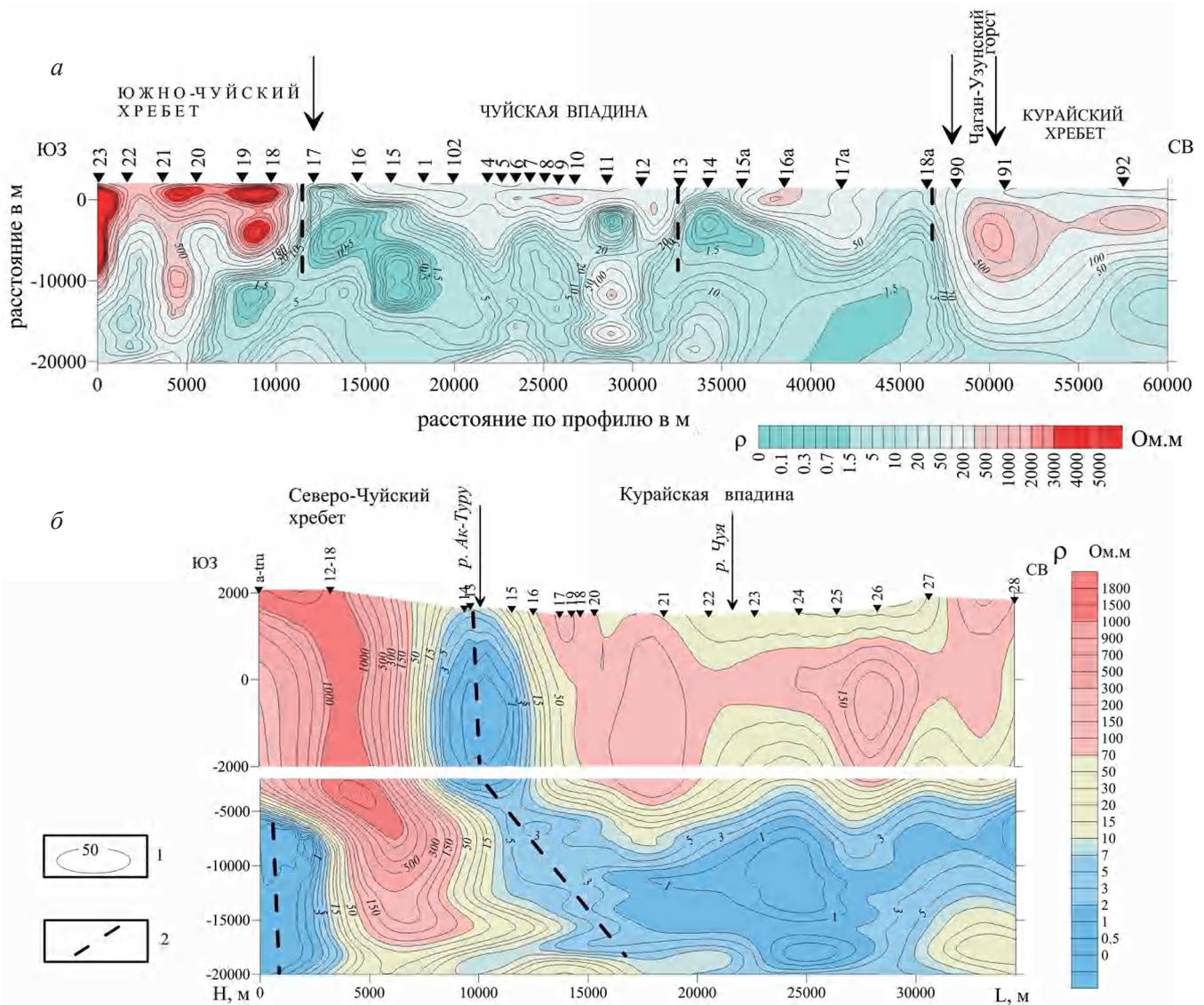


Рис. 4.
 а). Геоэлектрический разрез через эпицентральную зону Чуйского землетрясения (профиль I – I на рис. 1)
 б). Геоэлектрический разрез через Курайскую впадину (профиль II – II на рис. 1)
 1 – глубинные разломы; 2 – изолинии удельного электрического сопротивления в Ом·м

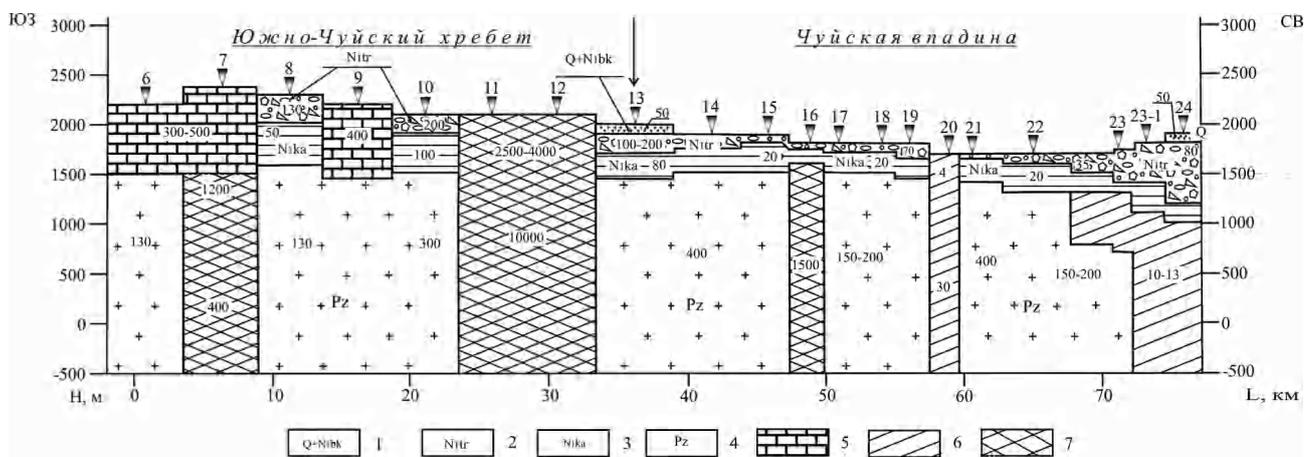


Рис. 5.
 Геоэлектрический разрез осадочного чехла Чуйской впадины по данным МТЗ (профиль III – III на рис. 1)
 1 – четвертичные отложения башкауской и терекской свит и бекенской свиты верхнего плиоцена; 2 – отложения туерькой свиты нижнего плиоцена – верхнего миоцена; 3 – отложения кошагачской свиты среднего – нижнего миоцена; 4 – отложения палеозойского основания; 5 – интрузивные и метаморфические комплексы горного обрамления; 6 – геоэлектрические неоднородности низкого сопротивления; 7 – геоэлектрические неоднородности высокого сопротивления

виков, 2004], что интенсивный рост Курайского хребта относится к концу плиоцена. В то же время Курайский хребет надвигался на осадки Чуйской впадины с одновременным накоплением грубо-обломочных пород. Время накопления последних отвечает периоду максимального роста Курайского хребта в позднем плиоцене – раннем плейстоцене. На схеме распределения удельного сопротивления на глубине 5 км эта часть характеризуется преимущественно высокими значениями сопротивления, отвечающими перемещению высокоомного материала во впадину со стороны Курайского хребта (рис. 6). Процессы внутриконтинентального орогенеза затронули и саму Чуйскую впадину, обусловив дробление ее основания и формирование линейно

вытянутых новейших прогибов, тесно связанных в своем развитии с ростом прилегающих поднятий. Эти же процессы обусловили перемещение глыб и формирование мелкосопочного рельефа – выступов фундамента в пределах впадины. Выступы фундамента с повышенными значениями удельного сопротивления (200–400 Ом·м) характерны для центральной части Чуйской впадины. Здесь кайнозойские породы ложа впадины, поднятые к поверхности по глубинному разлому, разделяют впадину на два блока (рис. 7).

Консолидированная часть разреза земной коры в пределах Чуйской впадины характеризуется абсолютным преобладанием низких значений удельного сопротивления [Эпов, Неведрова, Поспеева и др.,

Рис. 6.
Схема распределения удельного электрического сопротивления в Чуйской впадине на глубине 5 км
1 – пункты магнитотеллурических зондирований;
2 – глубинные разломы и разрывные нарушения

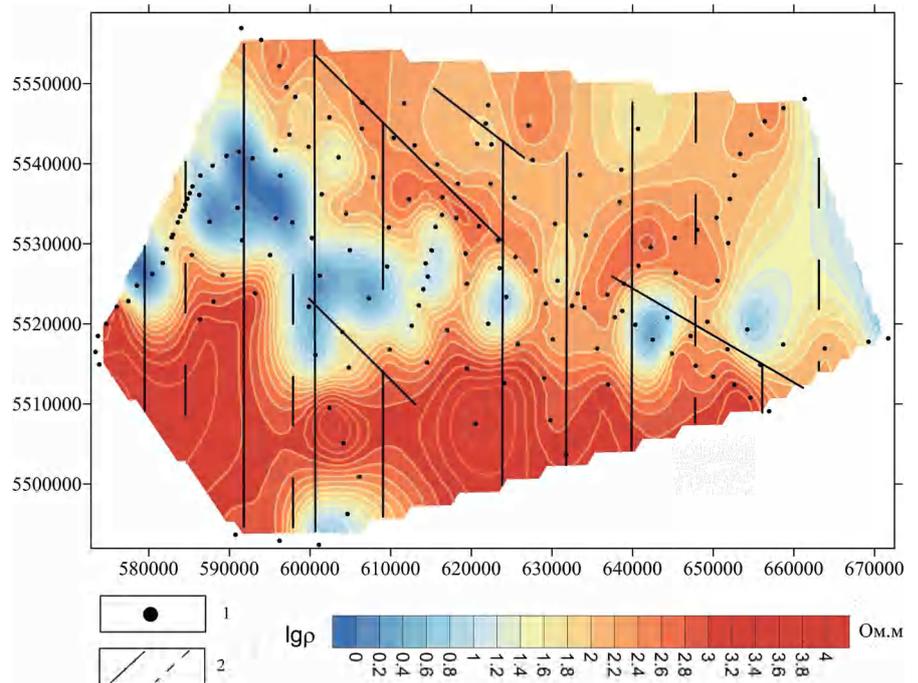
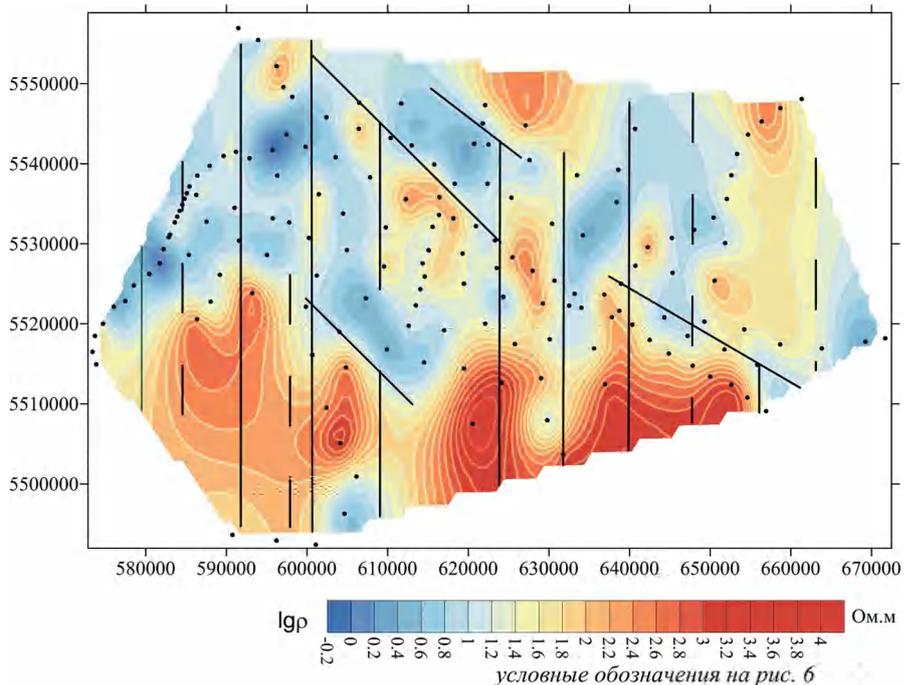


Рис. 7.
Схема распределения удельного электрического сопротивления в Чуйской впадине на глубине 15 км



2011]. Анализ схем распределения удельного сопротивления на различных глубинных срезах показал, что Чуйская впадина расположена в области пониженных значений УЭС, характеризующих верхний и средний уровень земной коры (менее 300 Ом·м). В западной части впадины, в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения, сопротивление уменьшается до 50 Ом·м.

Курайская впадина является крупной межгорной депрессией со взбросо-сдвиговыми тектоническими границами. Обе впадины имеют сходное геоэлектрическое строение осадочного чехла и консолидированной части земной коры. Согласно геолого-морфологическим исследованиям [Новиков, 2004], в раннем кайнозое плоская вершина Чаган-Узунского горста, разделяющего впадины, лежала на одном гипсометрическом уровне с основанием единой Курайско-Чуйской впадины [Десяткин, 1965]. Северной границей этой впадины с конца неогена служил разрастающийся Курайский хребет, южной – Северо-Чуйский, Южно-Чуйский хребты и Сайлюгемский свод (рис. 8).

Между Курайской и Чуйской впадинами располагается крупный массив – Кадринско-Баратальский выступ (антиклинорий), сложенный рифейскими известняками баратальской свиты и кембрийскими эффузивно-осадочными породами зеленосланцевой фации. Выступ пересечен профилем МТЗ уже в пределах Курайской впадины (рис. 4, б; пп. 21–27).

В западной части Курайской впадины палеозойский фундамент выходит на поверхность (см. рис. 8). Первый геоэлектрический горизонт здесь, по данным МТЗ, представлен отложениями баратальской и манжерокской свит нижнего кемб-

рия. Мощность горизонта – 250–300 м, среднее сопротивление 130–200 Ом·м. Второй геоэлектрический горизонт соответствует метаморфизованным породам верхнего протерозоя. Восточная часть впадины представляет собой бассейн кайнозойской седиментации. Здесь выделяется четыре геоэлектрических горизонта (см. рис. 8). Первый, приуроченный к четвертичным аллювиальным отложениям и бекенской свите верхнего плиоцена, выделяется только в юго-западной части профиля (пп. 17–20). Максимальная мощность горизонта – 150 м, сопротивление 15–20 Ом·м. Второй горизонт мощностью 250–300 м и сопротивлением 50–70 Ом·м представлен отложениями туерыкской фации ортолыкской свиты. Третий, наиболее проводящий, приурочен к палеогеновым отложениям кошагачской свиты. Мощность и сопротивление горизонта составляют 350 м и 10–20 Ом·м соответственно. Четвертый горизонт с сопротивлением 80 Ом·м соответствует нижнекембрийским отложениям манжерокской подсвиты. В северо-восточной части впадины фиксируется выход на поверхность массива девонских пород, надвинутого на осадки впадины в результате давления со стороны Курайского хребта (пп. 26–27) (см. рис. 8). Отложения аксайской свиты среднего девона представляют собой мощный комплекс – до 560 м преимущественно вулканогенных образований. Далее в разрезе прослеживаются породы второго геоэлектрического горизонта, залегающие на породах верхнекаймской подсвиты среднего кембрия.

В разрезе, характеризующем верхний и средний уровни земной коры, выделяются три блока с различным геоэлектрическим строением (см. рис. 4, б). Юго-западная часть профиля характеризуется до-

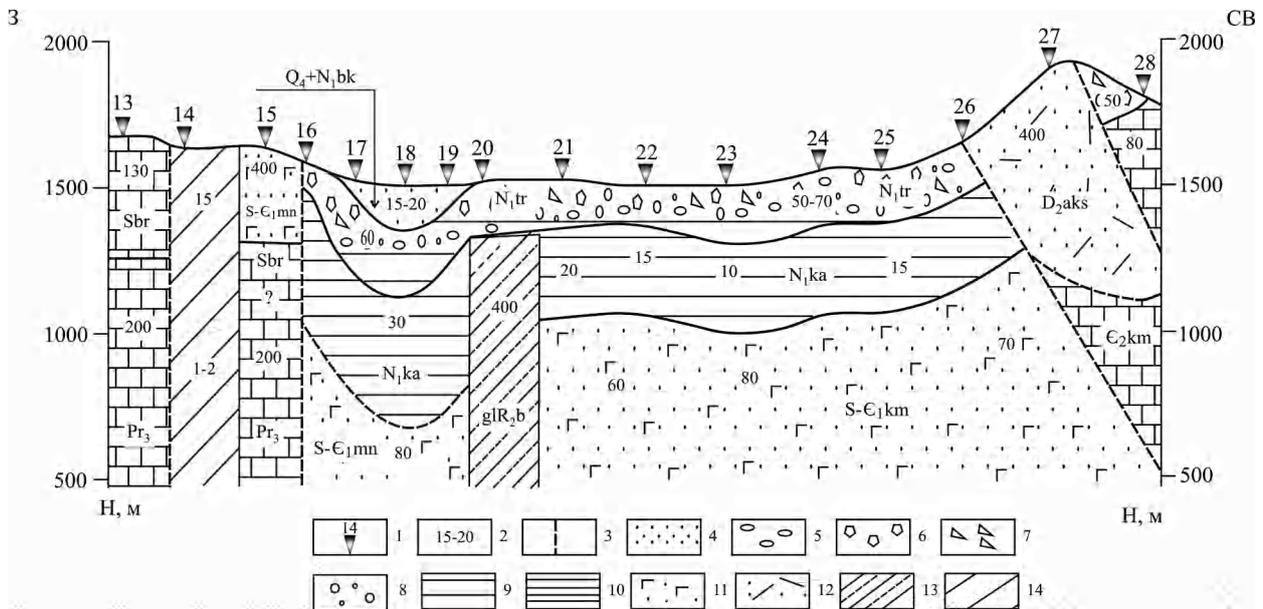


Рис. 8.

Геоэлектрический разрез осадочного чехла Курайской впадины по данным МТЗ (часть профиля II – II на рис. 1)

1 – пункты МТЗ-зондирования; 2 – значения удельного электрического сопротивления в Ом·м; 3 – тектонические нарушения; 4–7 – отложения четвертичной системы: 4 – аллювиальные, 5 – аллювиально-озерные, 6 – гляциальные, 7 – аллювиально-пролювиальные; 8–9 – осадки ортолыкской свиты миоцена: 8 – бекенская фация, 9 – туерыкская фация; 10–11 – палеогеновые осадки: 10 – кошагачская свита; 11 – вулканогенные образования основного состава; 12 – отложения аксайской свиты среднего девона с дайками среднего и основного состава; 13 – глаукофановые сланцы болтырганского комплекса; 14 – геоэлектрическая неоднородность низкого сопротивления

статочны высокими, до 500–1000 Ом·м, значениями УЭС, обусловленных особенностями состава земной коры Северо-Чуйского хребта. Эта глубинная структура сложена метаморфизованными палеозойскими образованиями с участием гранитоидов. От Курайской впадины Северо-Чуйский хребет отделен зоной глубинного разлома. В геоэлектрическом разрезе ей соответствует проводящая неоднородность с сопротивлением менее 2 Ом·м с явно выраженным наклоном боковых границ. Вторая область соответствует собственно Курайской впадине. Исключительно низкие значения УЭС – 1–3 Ом·м в нижней половине разреза земной коры – обусловлены широким развитием блоковых структур, контролируемых глубинными региональными разломами кайнозойского времени, активизированными в новейшую эпоху. Эти региональные разломы являются основными проводниками глубинных флюидных потоков, обуславливающих резкое понижение УЭС. Третья область располагается в участке выхода к Курайскому хребту, отделенному от впадины зоной глубинного разлома.

Во всех трех областях фрагментарно выделен коровый проводящий слой, кровля которого поднимается от глубин 18–20 км на краях профиля до отметок 6–10 км в самой впадине. При этом его сопротивление падает до значений 5 Ом·м. Подъем корового проводящего слоя до отметок 8–10 км и снижение его сопротивления до значений 10 Ом·м отмечается и в пределах Чуйской впадины.

Изменение параметров корового проводящего слоя под известными очаговыми зонами землетрясений впервые было отмечено сотрудниками ГПКК «КНИИГГиМС» в 2006 году. На участке профиля Акташ-Саглы ими было установлено приподнятое положение кровли слоя до 8–10 км и понижение его удельного сопротивления до 10–20 Ом·м. Сопоставление полученных данных с данными по гипоцентрам зарегистрированных землетрясений позволяет предположить, что приподнятая кровля внутрикорового проводящего слоя может отделять верхний жесткий блок от более пластичной флюидонасыщенной нижней части, на границе которых происходит основной объем разгрузки накапливающихся напряжений. Анализ петрологических исследований по изучению взаимодействия флюидов и геодинамических процессов, проведенных И.Г. Киссиным [Киссин, 2001, 2009], показал, что процессы, протекающие при взаимодействии тектонического деформирования, метаморфических реакций и флюидов, дают ключ к пониманию природы корового проводящего слоя. Установлено, что очаги землетрясений концентрируются преимущественно над субгоризонтальными флюидонасыщенными зонами или в их верхних частях, а также близ их сочленения со структурами, резко отличающимися по геофизическим показателям. Такие соотношения между сейсмоактивными зонами земной коры и проводящим слоем являются одним из критериев оценки сейсмической активности регионов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Проведенные магнитотеллурические исследования крупной структуры Горного Алтая, в том числе Чуйской и Курайской тектониче-

ских впадин, представляют интерес для понимания глубинных тектонических процессов, возможно, контролируемых сейсмическими процессами. Полученные данные свидетельствуют об очень сложном тектоническом строении изученной территории, которая выражается в сложном блоковом строении земной коры как всей территории в целом, так и собственно Чуйской и Курайской впадин.

1. На основе особенностей геоэлектрических разрезов по профилям, секущим Чуйскую и Курайскую впадины и их горное обрамление, можно подтвердить высказанное Н.А. Флоренсовым [Флоренсов, 1978] положение о решающей роли горизонтальных перемещений в образовании горного рельефа региона. Выделенные им «байкальский» и «гобийский» типы горообразования были противопоставлены по принципу доминирования: при «байкальском» типе горообразования расширение межгорных впадин идет за счет окружающих гор на фоне растяжения; при «гобийском» типе, напротив, расширение горных сооружений происходит за счет вовлечения в поднятие периферии межгорных и предгорных впадин на фоне сжатия.

Особенности геоэлектрических разрезов, секущих исследуемые впадины и их горное обрамление, позволяют относить эти горные сооружения к «гобийскому» типу.

2. В первом приближении Алтай представляет собой зону дробления литосферы – мобильную зону относительно небольших блоков, расположенную между устойчивыми блоками и унаследованно развивавшуюся с позднего палеозоя. Характерной особенностью морфотектоники Алтая является широкий спектр палеозойских, мезозойских и кайнозойских разломных структур. Формирование (рост) горных сооружений происходило по взбросовым (реже надвиговым) дислокациям наряду с преобладающими по амплитудам сдвиговыми перемещениями по основным разломам до 3–4 км. Большинство долин в пределах Чуйской впадины ориентированы поперек линий главных новейших разломов, активизированных на последних стадиях неотектонического развития. Свидетельством того, что подвижки по разломам не прекращаются, являются крупные обвалы, вероятно, сейсмически индуцированные.

Описанные выше особенности формирования горных сооружений [Новиков, 2004] позволяют предполагать исключительно высокую проницаемость земной коры для флюидных потоков, обуславливающих снижение удельного электрического сопротивления пород как в мантии, так и в земной коре. Этот процесс хорошо иллюстрируется особенностями распределения электрического сопротивления в пределах исследуемой площади.

В заключение нам бы хотелось отметить, что мы, конечно, используем двумерную инверсию, особенно в регионах, где она значительно повышает надежность полученных данных. Однако особенности геологического строения и сложной тектоники Горного Алтая определяют использование преимущественно одномерной инверсии продольных кривых как наиболее соответствующих совокупности геолого-геофизических данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир, 2009. 679 с.
2. Девяткин Е.В. Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая М.: Найка, 1965. 244 с.
3. Дергунов А.Б. Структуры сжатия и растяжения на востоке Алтая в четвертичное время // Геотектоника. 1972. №3. С. 99–110.
4. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 416 с.
5. Киссин И.Г. Флюидная система и геофизические неоднородности консолидированной земной коры континентов // Вестник ОГГН РАН. 2001. №2(17). С. 1–19.
6. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре. Геофизические и тектонические аспекты. М.: Наука, 2009. 327 с.
7. Лузгин Б.Н., Русанов Г.Г. Особенности формирования неогеновых отложений юго-востока Горного Алтая // Геология и геофизика. 1992. №4. С. 23–29.
8. Неведрова Н.Н., Поспеева Е.В., Санчаа А.М. Интерпретация данных комплекса электромагнитных методов в сейсмоактивных районах (на примере Чуйской впадины Горного Алтая) // Физика земли. 2011. №1. С. 63–75.
9. Новиков И.С. Морфотектоника Алтая. Новосибирск, 2004. 311 с.
10. Поспеев В.И. Результаты статистической обработки экспериментальных данных по глобальному магнитотеллурическому зондированию: Методы и результаты геофизических исследований Восточной Сибири. Иркутск: Вост-Сиб. кн. изд-во, 1979. С. 56–64.
11. Поспеев В.И., Михалевский В.И. Электромагнитные данные об астеносфере в районах Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1981. №1. С. 153–157.
12. Пуцаровский Ю.М., Пуцаровский Д.Ю. Геология мантии Земли. М.: Геос, 2010. 110 с.
13. Рингвуд А.Е. Состав и петрология мантии Земли. М.: Мир, 1981. 584 с.
14. Файнберг Э.Б., Фискина М.В., Ротанова Н.М. Экспериментальные данные по глобальному электромагнитному зондированию Земли. Исследования пространственно-временной структуры геомагнитного поля. М.: Наука, 1977.
15. Флоренсов Н.А. Очерки структурной геоморфологии. М.: Наука, 1978. 237 с.
16. Этов М.И., Неведрова Н.Н., Поспеева Е.В., Санчаа А.М., Потапов В.В. Геоэлектрическое строение земной коры Чуйской впадины Горного Алтая на основе комплексной интерпретации данных электромагнитных методов с контролируемым и естественным источником (МТЗ, ЗСБ). Динамика физических полей Земли. М.: Светоч Плюс, 2011. С. 31–53.
17. Bahr K. Interpretation of magneto telluric impedance tensor: regional induction and local telluric distortion // J. Geophysics. 1988. P. 119–127.
18. Berdichevsky M.N., Dmitriev V.I. Magnetotelluric in the context of the theory of ill-posed problems // Investigations in Geophysics 11. 2002. SEG, Tulsa.
19. Swift C.M. A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the southwestern United States. Dissertation MIT. 1967. Cambridge.

РЕЦЕНЗЕНТ – кандидат физико-математических наук П.Ю. Пушкарев.

ОБ АВТОРАХ



ПОСПЕЕВА

Елена Валентиновна

Ведущий научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Доктор геолого-минералогических наук. Окончила Иркутский политехнический институт в 1980 г. Специалист в области магнитотеллурических исследований. Автор и соавтор 60 научных публикаций.



ВИТТЕ

Лидия Викторовна

Научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Кандидат геолого-минералогических наук. Окончила Ленинградский горный институт в 1961 г. Специалист в области комплексной интерпретации геолого-геофизических данных. Автор двух монографий и соавтор 20 научных публикаций.



ПОТАПОВ

Владимир Владимирович

Научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Кандидат технических наук. Окончил Новосибирский государственный университет в 2002 г. Область научных интересов – методика измерения и обработки данных наземной электроразведки. Соавтор более 40 научных публикаций.

САХАРОВА

Мария Александровна

Аспирант Новосибирского государственного университета. Область научных интересов – обработка и интерпретация данных магнитотеллурических зондирований.