

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XV Международный научный конгресс

Сборник материалов в 9 т.

Т. 2

Международная научная конференция

**«НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ. ГОРНОЕ ДЕЛО.
НАПРАВЛЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА,
РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. ЭКОНОМИКА.
ГЕОЭКОЛОГИЯ»**

№ 2

Новосибирск
СГУГиТ
2019

УДК 622.3
С26

Ответственные за выпуск:

Доктор геолого-минералогических наук, академик РАН, главный научный сотрудник
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск

А. Э. Конторович

Доктор технических наук, академик РАН, академик РАН, главный научный сотрудник
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск

М. И. Эпов

Доктор технических наук, директор Института нефтегазовой геологии и геофизики
им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

И. Н. Ельцов

Кандидат технических наук, директор Института горного дела
им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск

А. С. Кондратенко

Кандидат геолого-минералогических наук, исполнительный директор
АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии,
геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск

М. Ю. Смирнов

Начальник департамента по недропользованию по Сибирскому федеральному округу
Федерального агентства по недропользованию «Роснедра», г. Новосибирск

А. И. Неволько

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г.,
Новосибирск [Текст] : сб. материалов в 9 т. Т. 2 : Междунар. науч. конф.
«Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, развед-
ки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэко-
логия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 2. – 274 с. – ISSN 2618-981X
DOI: 2618-981X-2019-2-2

В сборнике опубликованы материалы XV Международного научного конгресса
«Интерэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Международной конференции «Недро-
пользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки
месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 622.3

© СГУГиТ, 2019

**ВЫЯВЛЕНИЕ ОСЛАБЛЕННЫХ ЗОН В ЗЕМНОЙ КОРЕ
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КОЛЫВАНЬ-ТОМСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ЗОНЫ
ПО КОМПЛЕКСУ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ
И ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННОГО МОРФОГЕНЕЗА РЕЛЬЕФА**

Павел Степанович Лапин

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат географических наук, научный сотрудник, тел. (913)061-02-24, e-mail: LapinPS@ipgg.sbras.ru

Елена Валентиновна Поспеева

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (953)86-97-88, e-mail: PospeevaEV@ipgg.sbras.ru

Айдиса Михайловна Санчаа

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией, тел. (913)920-17-47, e-mail: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru

Рассмотрены результаты комплексных электромагнитных исследований (МТЗ и ЗС) по профилю п. Пихтовка – п. Половинка (Колывань-Томская складчатая зона). На базе полученных данных и методов генетической морфологии и морфометрии выявлены ослабленные зоны в земной коре северо-восточной части Колывань-Томской складчатой зоны.

Ключевые слова: магнитотеллурические зондирования, зондирования становлением поля в ближней зоне, удельное электрическое сопротивление, геоэлектрический разрез, морфогенез, неотектонические движения, ослабленная зона, Колывань-Томская складчатая зона.

**REMOVAL OF WEKENED ZONES IN THE EARTH'S CRUST
OF THE NORTH-EASTERN PART OF THE KOLYVAN-TOMSK FOLDER ZONE
USING A COMPLEX OF METHODS OF ELECTROMAGNETIC SOUNDING
AND ASSESSMENT OF THE CURRENT MORPHOGENESIS OF RELIEF**

Pavel S. Lapin

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Researcher, phone: (913)061-02-24, e-mail: LapinPS@ipgg.sbras.ru

Elena V. Pospeeva

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Leading Researcher, phone: (953)86-97-88, e-mail: PospeevaEV@ipgg.sbras.ru

Ydisa M. Sanchaa

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Leading Researcher, Head of of Laboratory, phone: (913)920-17-47, e-mail: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru

The results of complex electromagnetic studies (MTZ and ZS) on the profile of p. Pihtovka – p. Polovinka (Kolyvan-Tomsk folder zone) re considered. On the basis of the obtained data and methods of genetic morphology and morphometry, weakened zones in earth's crust of the north-eastern part of the Kolyvan-Tomsk folded zone are revealed.

Key words: magnetotelluric sensing, sounding field formation in the near zone, electrical resistivity, geoelectric section, morphogenesis, neotectonic movements, weakened zone, Kolyvan-Tomsk folded zone.

Введение

Актуальность настоящего исследования объясняется необходимостью разработки критериев оценки активизации глубокопогруженных геологических тел в современном рельефе земной поверхности и выделении в его структуре особенностей, отражающих ослабленные зоны в земной коре. В настоящей работе ослабленные зоны выявляются на основе анализа морфогенетических особенностей в развитии рельефа земной поверхности. Границы районов и областей, определяемые на основе установленных морфогенетических закономерностей, не всегда совпадают с разломами, что подчеркивает различия морфоструктурного и морфогенетического подходов к изучению развития рельефа земной поверхности. Могут возникнуть ситуации, при которых при осуществлении морфоструктурного анализа в осадочном бассейне будут отсутствовать признаки активизации глубокопогруженных геологических тел, а при морфогенетическом – проявляться. Колывань-Томская складчатая зона является примером такой области. В её северо-восточной части (бассейн р. Бакса) были проведены электромагнитные исследования (МТЗ и ЗС), результаты которых позволили определить основные черты глубинной электропроводности верхней части земной коры, в том числе и осадочного чехла. Показано, что самый верхний геоэлектрический горизонт, приуроченный к отложениям неогена, имеет субгоризонтальное залегание. Так же отмечено резкое несоответствие структурного плана нижней и верхней частей современного разреза осадочного бассейна. Основная задача настоящих исследований заключалась в выделении в рельефе земной поверхности свойств, характеризующих современную активизацию глубокопогруженных геологических тел и контролирующих в пределах современного разреза области с низкими значениями удельного электрического сопротивления (УЭС).

Объект и методы исследования

Колывань-Томская складчатая зона (КТСЗ) является составной частью территории, на которой происходит сочленение крупных тектонических структур, различающихся по геологическому, геоморфологическому и глубинному строению, времени заложения, магматизму и условиям геодинамического развития. На протяжении многих десятилетий интерес к изучению особенностей развития КТСЗ обусловлен необходимостью прогноза и поиска рудных объектов. КТСЗ

относится к областям, где уровень геологического познания и освоенности существенно ниже, поскольку её большая часть покрыта четвертичными отложениями [1]. В дополнение к этому объект исследования перекрыт субгоризонтально залегающими неогеновыми отложениями, что, с одной стороны, в значительной степени усложняет выявление морфогенетических особенностей развития рельефа земной поверхности до неоген-четвертичного этапа, а с другой, – упрощает их выявление на современном этапе его развития, поскольку формирование современного рельефа происходит за счет активизации неотектонических движений в четвертичное время.

По результатам геоморфологического районирования исследуемая область расположена в пределах Кузнецко-Салаирской провинции и соответствует Колывань-Томской возвышенности. Последнюю можно рассматривать как погребенный мел-палеогеновый пенеппен с останцами раннемезозойского пенеппена [2]. Современная речная сеть вскрывает этот пенеппен и разрушает перекрывающий его покров кайнозойских осадков. Следовательно, опираясь на результаты ранее проведенных геоморфологических исследований можно предположить, что в современных рельефообразующих процессах отражается активизация глубокопогруженных геологических тел, и их анализ позволит решить поставленную перед исследователями задачу.

Для решения поставленной задачи применялись электромагнитные методы (МТЗ и ЗС) и методы морфогенетического анализа современного рельефа земной поверхности. Кратко дадим описание применяемых методов.

Работы МТЗ выполнялись на основе технологий V5 System – 2000 тремя комплектами аппаратуры «MTU-5» компании «Phoenix Geophysics» (Канада) (рис. 1). Регистрация пяти компонент магнитотеллурического поля (E_x , E_y , H_x , H_y , H_z) в диапазоне периодов 0,003 – 1000 секунд осуществлялась в синхронном режиме, что позволило увеличить точность и производительность наблюдений. Шаг наблюдений по профилю в среднем составил 5-7 км. Для регистрации электрических компонент магнитотеллурического поля (МТ-поля) применялась крестообразная установка с длиной приемных линий 100 м. Плановая и высотная привязка пунктов зондирования проводилась с помощью системы GPS. Длительность записи на точке наблюдения в среднем составляла 19-22 часов.

Для обработки полевых данных использовалось программное обеспечение «Phoenix Geophysics» (программа SSMT), основанное на корреляционном методе, позволяющим рассчитать функции взаимной корреляции всех компонент МТ-поля. 1-D и 2-D инверсия выполнены в программном комплексе «WinGLink». Качественная и количественная интерпретация проводилась по методике, подробно рассмотренной в [3-7].

В процессе качественной интерпретации выполнялся анализ магнитотеллурических данных на основе упрощенного теста М.Н. Бердичевского. Анализируются три магнитотеллурических параметра: N_{mt} – параметр неоднородности [6], $skew_S$ – параметр асимметрии [7], $skew_B$ – фазочувствительный па-

раметр асимметрии [8]. Они оценивались по отношению к пороговым значениям δ , лежащими в интервале $0,05 \div 0,15$ [6]. На периодах $T < 40$ с значения всех магнитотеллурических параметров лежат в пределах пороговых: $0,05 \div 0,15$, что свидетельствует о возможности одномерных оценок верхней части разреза. С понижением частоты на периодах $T > 40$ с значения параметров возрастают и лежат в интервале $0,15 \div 0,5$, что говорит о наличии глубинных трехмерных эффектов. Количественная интерпретация осуществлялась в рамках 1D инверсии методом подбора на ПК, путем минимизации функционала невязки (1), характеризующего среднеквадратичное отклонение экспериментальной кривой от модельной.

$$L(q) = \sum \left[\frac{\rho_T(T_m) - \rho_{Tg}(T_m)}{\rho_T(T_m)} \right]^2 \quad (1)$$

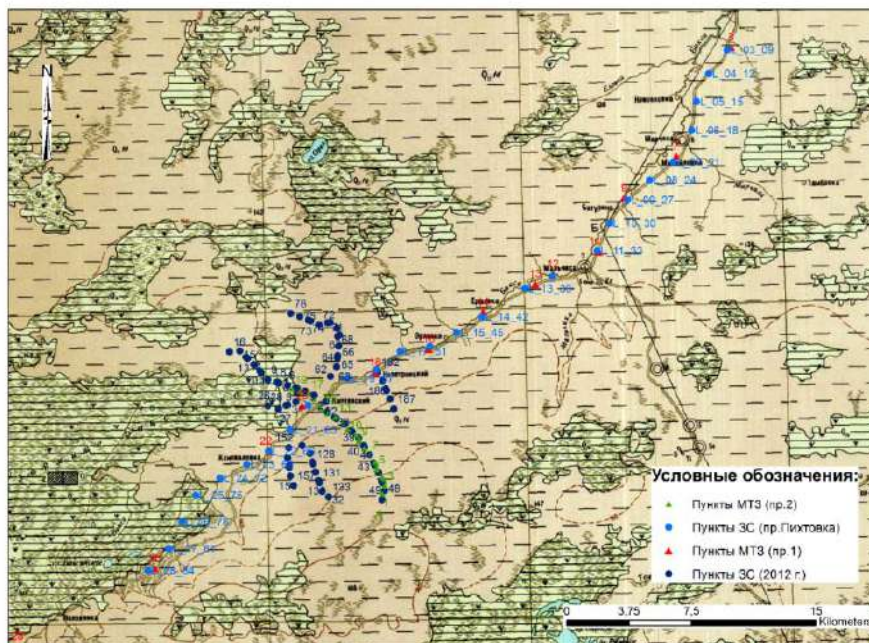


Рис. 1. Схема расположения пунктов электромагнитных зондирований

Таким образом, определены значения ρ и h в каждом пункте зондирования. Геоэлектрический разрез осадочного чехла строился в программе полойной интерпретации Geology cross section, глубинный – в программе WinGLink (Оссам). Глубинный разрез строился в два этапа. На первом этапе была выполнена 1-D инверсия продольных (ρ_{yx}) кривых, выбор которых осуществлялся на основе комплексирования с зондированиями становлением поля. Затем была проведена совместная (бимодальная) инверсия продольных и поперечных кривых.

Использованные в работе данные метода ЗС получены с установками в модификации «разнесенные симметричные петли». Разнос составил 20-155 м и 430-700 м, в зависимости от особенностей рельефа местности, размеры генераторной петли 500×500 м, приемной 72×72 м. Интерпретация данных основана на решении обратной задачи с использованием программы 1-D моделирования и инверсии EMS, разработанной в ИНГГ СО РАН [3]. В данной работе представлены результаты по одному профилю (на карте пункты этого профиля отмечены голубым цветом. Профиль Пихтовка). Геоэлектрическая модель в пункте ЗС 2 была построена исходя из информации по скважине 1-Р на Пихтовской площади. Геоэлектрический разрез построен в программе CorelDraw.

Метод морфогенетического анализа рельефа земной поверхности достаточно подробно описан нами ранее [9, 10]. В настоящей работе оценка влияния новейших движений осуществлена в рамках системно-формационного подхода на основе анализа баланса масс, который учитывал перемещение объема обломочного материала в пределах экзогенно-активного слоя и вычислялся с привлечением общего показателя эрозионно-денудационного расчленения. Общая расчлененность рельефа земной поверхности зависит от многих факторов, которые суммарно отражаются в результирующей взаимодействия эндогенных и экзогенных сил и проявляются в рельефообразующих процессах. В результате проведенного анализа были построены схема и разрез, характеризующий проявления современных рельефообразующих процессов. Совместный анализ профиля МТЗ и разреза, характеризующего проявления современных процессов, позволил нам выявить ослабленные зоны в земной коре северо-восточной части КТСЗ.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследований по профилю п. Пихтовка – п. Половинка. Исследуемый профиль располагается в северо-западной части Колывань-Томской складчатой зоны (КТСЗ). КТСЗ, представленная комплексами обширного задугового бассейна в тылу островодужной системы, слагающей фундамент юго-восточной части Западно-Сибирской плиты, прошла сложный и длительный путь геологического развития. Это обусловило формирование здесь разнообразных структурно-вещественных комплексов: островодужных (D_2-C_2), коллизионных (C_2-T_1) и внутриплитовых (T_2-Q). В современных тектонических структурах КТСЗ является единственной обнаженной частью Центрально-Западносибирской складчатой системы, слагающей фундамент юго-востока Западно-Сибирской плиты. Юго-восточной границей КТСЗ служит система крупных пологих тектонических разломов, по которым комплексы зоны надвинуты на каледонско-герцинские структуры северо-западной части Салаира, Кузбасса и кузнецкого Алатау. На северо-западе зона перекрывается мезо-кайнозойским чехлом.

По зондированиям становлением поля на геоэлектрическом разрезе (рис. 2) выделяются 4 основных горизонта. Первый, самый верхний (ρ_1), включает

озерно-аллювиальные верхне-плиоцен-нижнечетвертичные отложения верхне-кочковской подсвиты (N2-Q1Kс2) и верхнечетвертичные отложения федосовской свиты (Q2fd) с УЭС 10-40 Ом·м. Второй геоэлектрический горизонт (ρ2) приурочен к отложениям покурской свиты нижнего мела (K1-2рк) и палеогена (Pg2-3) с УЭС 6-12 Ом·м. Третий геоэлектрический горизонт (ρ3) включает отложения нижнего мела (K1kls, K1tr, K1klm) и юрско-меловой и юрской систем (J3-K1mr, Jtm) с УЭС 3,8-16 Ом·м. Четвертый геоэлектрический горизонт (ρ4) можно разделить на две части: низкоомную (пикеты 84-57) и высокоомную (пикеты 54-2). Область с высокими значениями удельного электрического сопротивления также делится на области повышенного (35-120 Ом·м) и пониженного УЭС (10-23 Ом·м на пикетах 45-18). Эту область по геологическим данным можно отнести к породам палеозойского основания, в котором на пикетах 2-15 выделяется интрузивное тело. Область пониженных значений УЭС на пикетах 45-42, по всей видимости, соответствует разломной зоне. Область с низкими значениями удельного электрического сопротивления четвертого слоя (0,23-8 Ом·м) содержит два или три геоэлектрических подслоя.

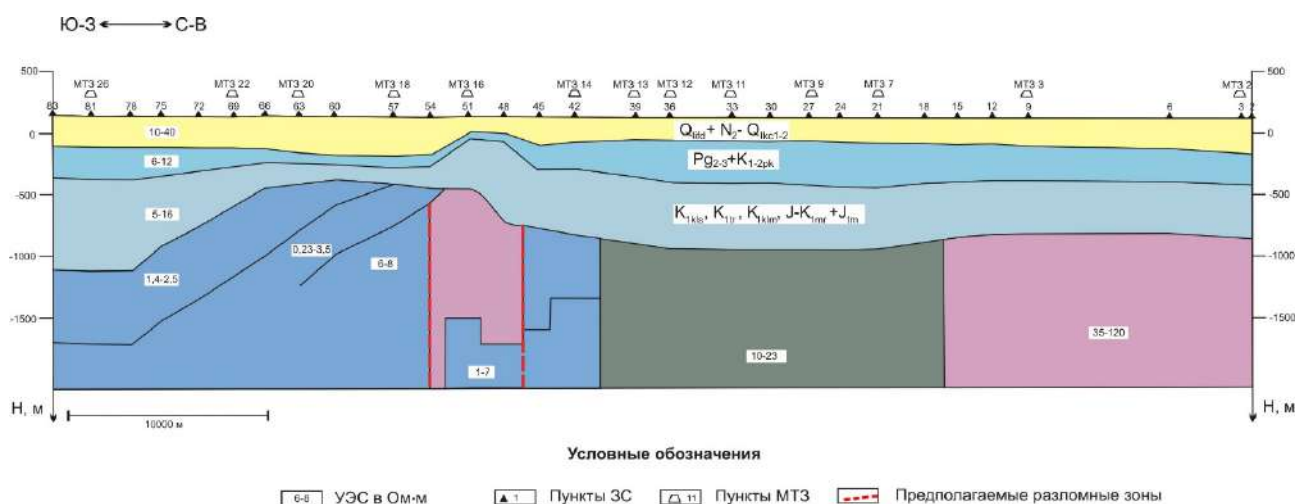


Рис. 2. Геоэлектрический разрез по данным ЗС

По особенностям распределения глубинной электропроводности изученный профиль можно разделить на две контрастно различающиеся части: восточную и южную (рис. 3, а). В разрезе земной коры восточного отрезка профиля (п.п. 2-14) выделяется обширная область с высокими значениями удельного электрического сопротивления (более 600 Ом·м), разделенная на две неравные части проводящей зоной (п.п. 9-11) (30 Ом·м) с явным наклоном боковых границ. В плане высокоомная область совпадает с Пихтовским интрузивным телом кислого состава, выделенным по данным магнитной съемки (рис. 3, б). Это интрузивное тело показано на ряде тектонических схем [11], и установлено, что его активизация проявляется в морфогенетических особенностях развития рельефа земной поверхности [12,13].

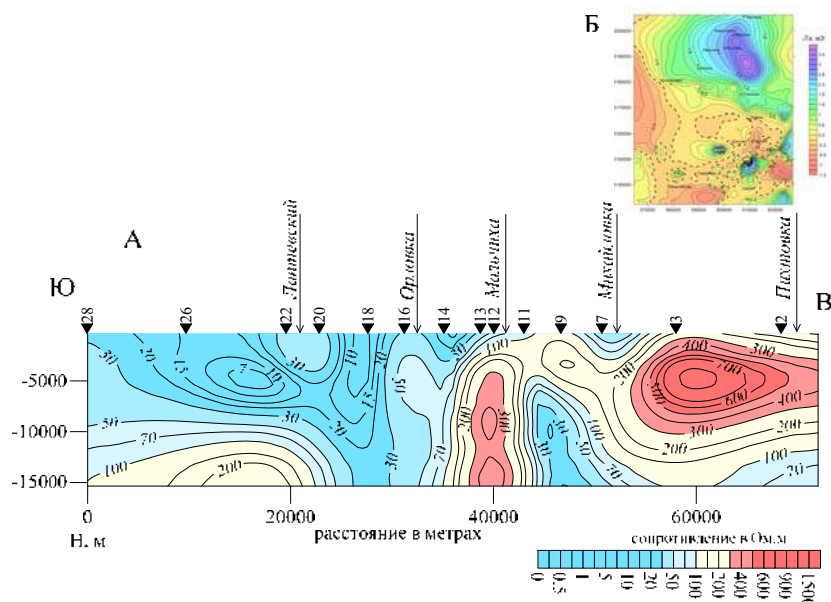


Рис. 3. Глубинный геоэлектрический разрез по профилю п. Пихтовка-п. Половинка (а) и карта магнитных аномалий листа N-44-V (б)

Разрез земной коры южного отрезка профиля характеризуется преобладанием абсолютно низких значений УЭС (7-30 Ом·м). Верхняя часть разреза осложнена серией субвертикальных и наклонных неоднородностей с минимальными значениями УЭС (пп.26-22; 20-16). Геологическая природа этих проводящих объектов пока не ясна и предполагает более детальное изучение этого отрезка профиля.

Глубинный геоэлектрический разрез был сопоставлен с интенсивностью проявления современных рельефообразующих процессов, характеризующих активизацию глубокопогруженных геологических тел (рис. 4). Совместный анализ двух разрезов позволил нам в пределах п.18 выявить ослабленную зону в современном разрезе земной коры. Она характеризуется низкоомными значениями УЭС и максимальным значениям интенсивности современных рельефообразующих процессов. Выявленная зона проявляется до глубины 15000 м и является тем водоразделом, который, как указывалось выше, делит анализируемые профили на южный и восточный отрезок. Каждый из них характеризуется разным литологическим строением не только по горизонтали, но и по вертикали. По вертикали отрезки имеют диаметрально противоположное литологическое строение. Южный отрезок в верхней части разреза имеет низкие, а в нижней – высокие значения УЭС. Для восточного отрезка профиля отмечена обратная закономерность.

Именно эти различия не позволили нам выявить между п.п. 9-11 ослабленную зону, которая фиксировалась бы на дневной поверхности. Эта зона прослеживается до глубин 5000 м и перекрывается выше по разрезу высокоомными значениями УЭС. Однако, следует отметить, что Пихтовское интрузивное тело, фиксирующееся в восточной части разреза, всё же проявляется в современных рельефообразующих процессах, что согласуется с ранее полученными данными [12].

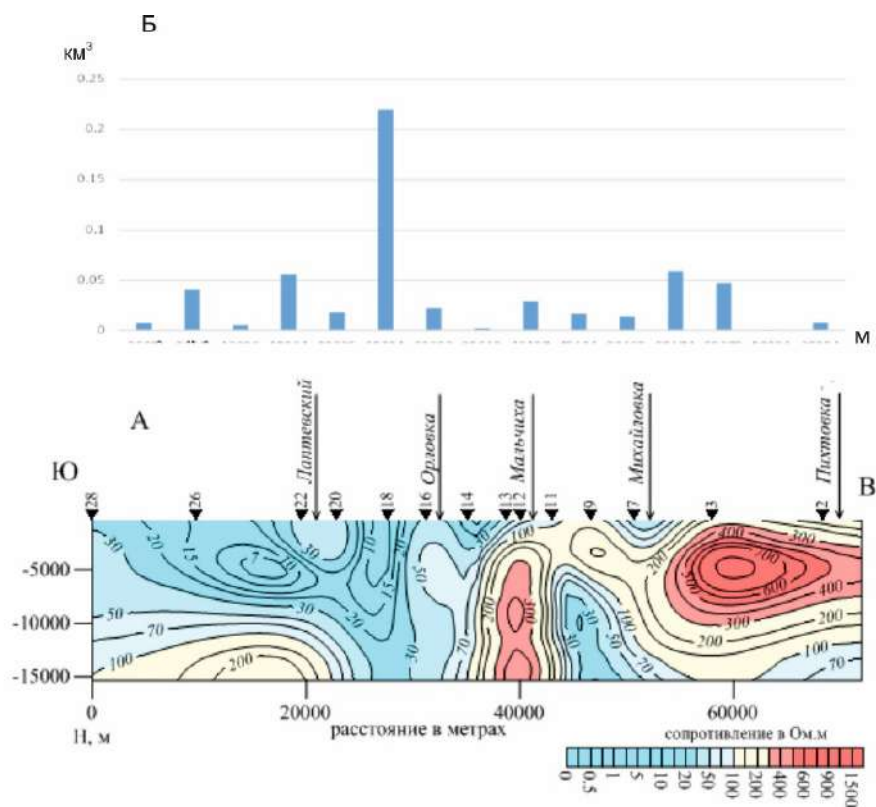


Рис. 4. Глубинный геоэлектрический разрез по профилю п. Пихтовка-п. Половинка (а) и интенсивность проявления современных рельефообразующих процессов по профилю п. Пихтовка – п. Половинка (б)

Заключение

По результатам интерпретации электромагнитных зондирований построен детальный разрез верхней части земной коры (включая осадочный чехол) в пределах северо-восточной части КТСЗ и выявлена ослабленная зона, которая ранее не проявлялась в верхней части разреза по результатам морфотектонического анализа. Предложенный комплекс методов позволил выявить глубинный характер проявления рельефообразующих процессов и подтвердить наличие в пределах изученного объекта ослабленной зоны глубокого заложения. Так же установлена современная активизация глубокопогруженного Пихтовского интрузивного тела. Все вышеперечисленное позволяет говорить об информативности предложенного комплексного подхода при выявлении ослабленных зон в земной коре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минерагения области сочленения Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны. – Новосибирск: Гео, 2001. – 243 с.
2. Рельеф Алтае-Саянской горной области. – Новосибирск: Наука, 1988. – 206 с.

3. Неведрова Н.Н., Поспеева Е.В., Санчаа А.М. Интерпретация данных комплексных электромагнитных методов в сейсмоактивных районах (на примере Чуйской впадины Горного Алтая) // Физика Земли. – 2011. – № 11. – С. 63-75.
4. Магнитотеллурические исследования в районах новейшей тектоники и сейсмической активности / Е.В. Поспеева, Л.В. Витте, В.В. Потапов, М.А. Сахарова // Геофизика. – 2014. – № 4. – С. 8-16.
5. Эпов М.И., Поспеева Е.В., Витте Л.В. Особенности состава и строения земной коры краевой части Сибирского кратона (в зоне влияния рифтогенных процессов) по данным магнитотеллурических зондирований // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53. – № 3. – С. 380-398.
6. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. – М.: Научный мир, 2009. – 679 с.
7. Swift С.М. A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the southwestern United States: thesis of dissertation. – Cambridge: MIT, 1967. – 223 p.
8. Bahr K. Interpretation of magnetotelluric impedance tensor: regional induction and local telluric distortion // Journal of Geophysics. – 1988.. – Vol. 62. – P. 119-127.
9. Лапин П.С. Изменение элементов морфогенеза земной поверхности как инструмент эстетических преобразований рельефа / Рельеф и человек. – М: Научный Мир, 2007. – С. 65-71.
10. Лапин П.С. Морфогенез как критерий оценки изменения современного морфологического состояния мезо-кайнозойского чехла на примере Каймысовской нефтегазоносной области Западной Сибири // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2018. – № 2 (34). – С. 24-35.
11. Сурков В.С., Жеро О.Г. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты – М.: Недра, 1981. – 143 с.
12. Лапин П. С., Оленченко В. В. Проявление интрузивных тел в современном рельефе земной поверхности Колывань-Томской складчатой зоны // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология»: сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 3. – С. 176–183.
13. Лапин П.С., Оленченко В.В. Региональная составляющая в неравномерности неотектонического развития Ононской впадины и сопредельных территорий // Геология и минерагения Северной Евразии: материалы совещания, приуроченного к 60-летию Института геологии и геофизики СО АН СССР (Новосибирск, 3-5 октября 2017 г.). – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2017. – С. 127-128.

© П. С. Лапин, Е. В. Поспеева, А. М. Санчаа, 2019