

Е. В. Поспеева^{1}, В. В. Потанов^{1*}*

Результаты измерений методом магнитотеллурических зондирований (МТЗ) на Салаирском кряже вдоль профиля г. Тогучин – п. Маслянино

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Российская Федерация
*e-mail: PotapovVV@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Представлены предварительные результаты магнитотеллурических исследований, выполненных по профилю г. Тогучин – п. Маслянино. Показаны различия в геоэлектрическом строении разреза земной коры основных структур, пересекаемых профилем: Колывань-Томской складчатой зоны (КТСЗ), Горловского прогиба, Доронинской впадины и Салаира.

Ключевые слова: магнитотеллурическое зондирование, удельное электрическое сопротивление, геоэлектрический разрез, Колывань-Томская складчатая зона, Горловский прогиб, Доронинская впадина, Салаир

E. V. Pospееva^{1}, V. V. Potapov^{1*}*

The results of measurements by magnetotelluric sounding (MTZ) on the Salair ridge along the profile of Toguchin – P. Maslyanino

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
*e-mail: PotapovVV@ipgg.sbras.ru

Abstract. Preliminary results of magnetotelluric studies performed according to the profile of G. Toguchin – P. Maslyanino are presented. The differences in the geoelectric structure of the section of the Earth's crust of the main structures intersected by the profile are shown: the Kolyvan-Tomsk folded zone (KTSZ), the Gorlovsky trough, the Doroninskaya depression and the Salair.

Keywords: magnetotelluric sounding, electrical resistivity, geoelectric section, Kolyvan-Tomsk folded zone, Gorlovsky deflection, Doroninskaya depression, Salair

Введение

В 2018 году лабораторией геоэлектрики начаты исследования по изучению глубинного строения юга Западной Сибири методом магнитотеллурического зондирования по серии профилей, пересекающих основные структуры Западно-Сибирской плиты, Колывань-Томской складчатой зоны (КТСЗ) и Салаира. Чем обусловлен интерес именно к этому району? Прежде всего это связано с тем, что здесь содержатся практически все основные виды горных пород и минералов. Во второй половине прошлого столетия на данной территории выявлено много месторождений и рудопроявлений полезных ископаемых. Это месторождения

сурьмы и ртути, урана, кобальта, никеля, железа и многих других. Одним из старейших и ценных полезных ископаемых выступает золото. К настоящему времени здесь открыто более 140 золотоносных россыпей и 3 коренных месторождения золота, для которых характерна пространственная связь с проявлениями гранитоидного магматизма, большей частью перекрытых мезо-кайнозойской корой выветривания [1]. Выявление таких объектов возможно только по геофизическим данным. Отсюда следует первая задача настоящих исследований: ***определить основные особенности распределения глубинной электропроводности в связи с тектоникой, магматизмом и размещением полезных ископаемых.***

Юго-восточная окраина Западной Сибири на континентальном этапе развития в среднем мезозое и позднем кайнозое испытывала тектонические активизации с формированием горного рельефа на части ее территории [2, 3]. Эти активизации разделены длительным периодом тектонического покоя позднего мелараннего и среднего палеогена, в ходе которого среднемеозойские горные сооружения были уничтожены денудацией. В ходе новейшей активизации граница области формирования горного рельефа существенно сместилась на юго-восток и был сформирован современный горный рельеф. Неотектоническая активизация привела к обособлению салаирского блока и формированию холмистого рельефа Салаирского кряжа. Салаирский блок был надвинут в северо-восточном направлении и наклонен на юго-запад. При этом он не претерпел разбиения на блоки, а деформировался как единая жесткая глыба. Это предопределило постановку второй задачи: ***изучить морфологию новейших разломов на северной и северо-восточной границах Салаира, а также установить положение и наклон сместителя юго-западной границы Салаирского блока.***

Третья задача: ***изучить глубинное строение Кузнецкой котловины с позиций молодых кайнозойских процессов,*** обусловлена тем, что несмотря на удаленность Кузнецкой котловины от главных сейсмогенерирующих зон Алтае-Саянской области, она имеет необычайно высокую сейсмичность. Только за последние сто лет здесь произошли 3 землетрясения, поверхностные эффекты которых соответствуют 6-7 баллам по шкале MSK-64 (Медведева-Шпонхойера-Карника) [4]. Землетрясения являются индикаторами тектонической активности. В сейсмологии давно установлена связь землетрясений с разрывными нарушениями. Наличие глубокопроникающих разломов, служащих в период своего активного существования флюидопроводниками, является одной из характерных черт литосферы. Развитие разломных зон сопровождается сейсмичностью и сопряжено с деформациями литосферы, которые отражаются в неотектонических движениях и выделяются в рельефе земной поверхности. При этом сейсмически активными являются разломы с длительной геологической историей развития, скрытые разломы фундамента, линеаменты и узлы их пересечения. Разломные зоны представляют собой места сброса энергии, накопленной в упругой деформации блоков земной коры и, именно они являются источником сейсмогенных процессов. Проводящие разломы и узлы их пересечения четко отражаются в магнитотеллурическом поле в виде субгоризонтальных зон с аномально низкими

значениями удельного электрического сопротивления (УЭС). По ряду причин до настоящего времени система новейших разломов Кузбасса остается практически неизученной.

Методы и материалы

В полевой сезон 2022 года отработан 110-ти километровый профиль г. Тогучин – п. Маслянино (рис.1). Работы МТЗ выполнялись на основе технологий V5 System – 2000 двумя комплектами аппаратуры «MTU-5» компании «Phoenix Geophysics» (Канада). Регистрация пяти компонент магнитотеллурического поля (Ex, Ey, Hx, Hy, Hz) 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, ориентированных по шкале магнитологов: ось X – север, ось Y – восток. 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 [5].

Обсуждение результатов

Изученный профиль с северо-запада на юго-восток пересекает три крупные тектонические структуры: Колывань-Томскую складчатую зону (КТСЗ), Дорнинскую впадину и Салаирское складчато-покровное сооружение (Салаир) (рис.1).

Колывань-Томская складчатая зона (КТСЗ) является северной, обнаженной частью Обь-Зайсанской складчатой системы Центрально-Азиатского складчатого пояса. 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. Ее центральная часть образована Бугокатско-Митрофановским антиклинорием, а северо-западная и юго-восточная – Новосибирским и Горловско-Зарубинским прогибами соответственно [3]. Геоэлектрический разрез КТСЗ характеризуется преобладанием абсолютно высоких значений УЭС (более 50000 Ом·м), обусловленных присутствием в разрезе пород многофазного габбро-гранитного комплекса.

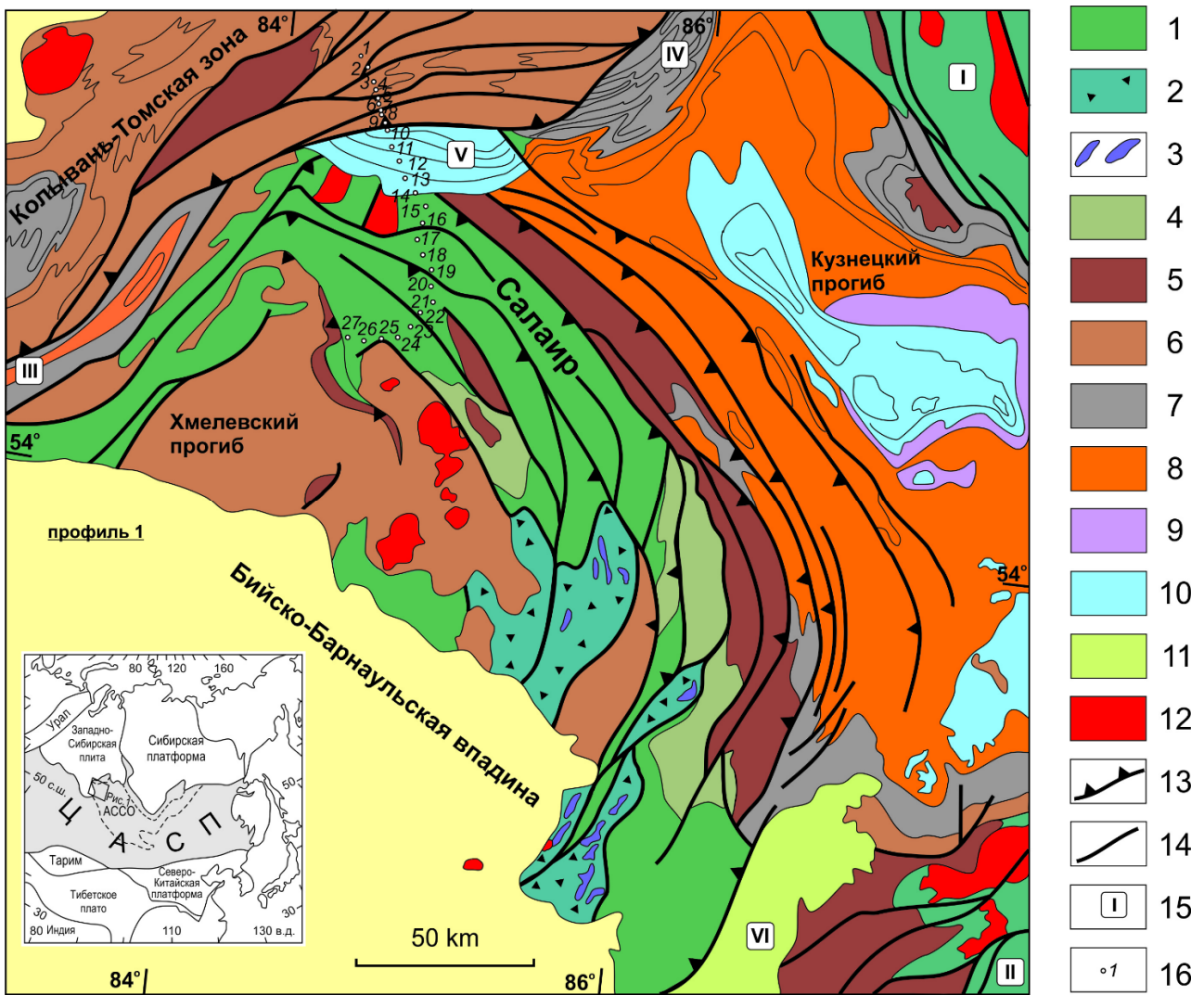


Рис. 1. Геологическая схема Салаира и положение профилей МТЗ [6]

1 – кембрийско-раннеордовикский складчатый фундамент (вулканические породы, вулканомиктовые песчаники и сланцы, известняки); 2 – офиолитовый меланж Аламбайской зоны; 3 – линзы серпентинизированных дунитов, в офиолитовом меланже Аламбайской зоны; 4 – ордовикские известняки и сланцы, нижний структурный ярус эпикаледонского осадочного чехла; 5 – ранне-среднедевонские карбонатные отложения и вулканиты, средний ярус чехла; 6 – верхнедевонские и нерасчлененные верхнедевонско-нижнекарбонные песчаники, алевролиты, аргиллиты, линзы известняков, верхний ярус чехла; 7 – карбоновые песчаники и алевролиты, нижняя осадочного выполнения наложенных позднепалеозойских прогибов; 8 – пермские песчаники, алевролиты, угли – верхняя часть осадочного выполнения наложенных позднепалеозойских прогибов; 9 – триасовые базальты; 10 – ранне- и среднеюрские песчаники, алевролиты, конгломераты, отложения наложенных прогибов; 11 – меловые песчаники и алевролиты Ненинско-Чумышской впадины; 12 – гранитоидные интрузии нерасчлененные; 13 – главные надвиги; 14 – прочие разрывные нарушения; 15 – номера тектонических структур, не подписанных на схеме: I – Кузнецкий Алатау, II – Горная Шория, III – Горловский прогиб, IV – Зарубинский прогиб, V – Доронинская впадина; VI – Ненинско-Чумышская впадина; 16 – пункты магнитотеллурического зондирования. На врезке показано положение рисунка 1 в структуре Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП)

Горловский прогиб протягивается вдоль фронта надвигов КТСЗ примерно на 450 км при ширине 13-18 км и представляет собой резко асимметричную грабен-синклиналь, юго-восточной вергентности. Прогиб выполнен преимущественно терригенными отложениями верхнего девона – перми. По данным проведенных исследований, в юго-восточной части Горловского прогиба установлено распространение юрских отложений, приуроченных к наложенной на его структуру Доронинской впадине. Здесь геоэлектрический разрез представлен четырьмя геоэлектрическими горизонтами. При этом три нижних горизонта соответствуют разрезу Доронинской впадины, а самый верхний – представлен отложениями терсюкской свиты верхней-средней юры (J1-2tr). В составе свиты принимают участие ритмически чередующиеся пачки песчаников, алевролитов и аргиллитов, с последними связана высокая, но невыдержанная угленосность (встречаются пласты угля до 5 м). Мощность свиты составляет около 75 м, сопротивление 10-15 Ом·м. В северо-западной части профиля осадочное выполнение Горловского прогиба представлено терригенными отложениями верхнего девона – перми (рис. 2). верхний геоэлектрический горизонт представлен пермскими отложениями. В районе пунктов 6-8 выделяется сложнопостроенная проводящая геоэлектрическая неоднородность, состоящая из маломощных пластов с близкими значениями УЭС (рис.2).

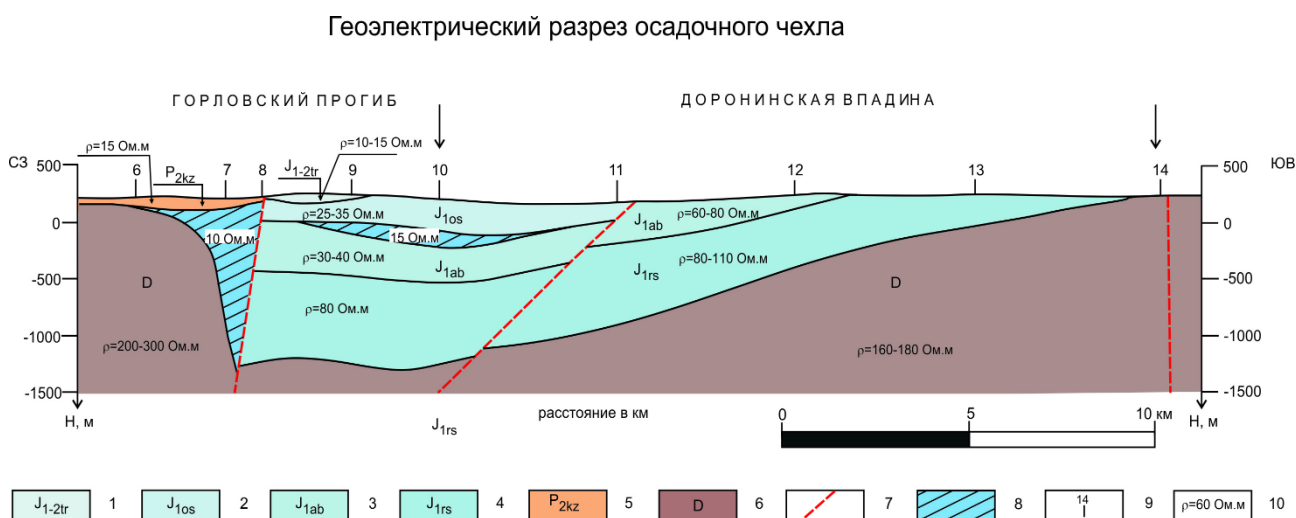


Рис. 2. Геоэлектрический разрез осадочного чеха отрезка профиля Горловский прогиб-Доронинская впадина

1 – отложения терсюкской свиты нижней-средней юры; 2 – отложения осиновской свиты нижней юры; 3 – отложения абашевской свиты нижней юры; 4 – отложения распадской свиты нижней юры; 5 – отложения кузнецкой подсерии верхней перми; 6 – нерасчлененные отложения девона; 7 – разрывные нарушения, выявленные по данным МТЗ; 8 – области низких значений удельного сопротивления; 9 – Пункты МТЗ; 10 – значения удельного электрического сопротивления в Ом·м.

Доронинская впадина является наиболее крупной из наложенных на структуру Горловско-Зарубинского прогиба юрских впадин, и простирается с за-

пада на восток примерно на 70 км, при максимальной ширине в 25 км. Она представляет собой типичный полуграбен, осадочное выполнение которого образует осложненную разломом брахисинклинальную структуру [3]. В плане впадина имеет форму линзы, выпуклой в южном направлении. Доронинская впадина выполнена толщей континентальных угленосных отложений, несогласно залегающих на сложном по составу комплексе пород палеозойского фундамента. Юрский разрез впадины соответствует тарбаганской серии ранне – среднеюрского возраста, которая подразделяется на распадскую, абашевскую, осиновскую и террюкскую свиты. Для всех свит характерны резкие изменения мощности и размера зернистости обломочного материала в латеральном направлении. Доля грубообломочных пачек и гранулометрическая размерность обломочного материала увеличиваются в южном и западном направлениях. Максимальная мощность юрских отложений отмечается вблизи северного борта впадины, ограниченного надвигом, и составляет около 1500 м [6], а по некоторым оценкам достигает 1880 м [7, 2]. Юрские отложения впадины перекрыты тонким, субгоризонтально залегающим чехлом современных осадков, включающих олигоцен-неогеновые глины и плейстоценовые лессовидные суглинки.

Юрские отложения Доронинской впадины подразделяются на три геоэлектрических горизонта: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ (рис. 2). Первый из которых приурочен к отложениям осиновской свиты (Jos), представленной алевролитами с прослоями песчаников, углей и аргиллитов. Среднее сопротивление горизонта составляет 25-35 Ом·м, мощность – 300 м. В нижней части первого горизонта выделяется тонкая линза с сопротивлением 15 Ом·м, обусловленная присутствием в этой части разреза антрацита. Второй геоэлектрический горизонт сложен песчаниками, алевролитами и аргиллитами абашевской свиты (Jab). Его среднее сопротивление возрастает в юго-восточном направлении от 30-40 Ом·м до 60-80 Ом·м. В этом же направлении уменьшается мощность горизонта от 400 м до полного выклинивания в районе п. 12 (рис. 2). Третий геоэлектрический горизонт выдержан как по мощности, так и по значениям удельного сопротивления и приурочен к отложениям мощной, сложнопостроенной распадской свиты (J1rs). Свита состоит из многократно чередующихся песчаников разной зернистости с прослоями конгломератов и гравелитов, в верхней части сосредоточены пропластки угля. Сопротивление горизонта возрастает в юго-восточном направлении от 55 - 60 Ом·м до 100 - 120 Ом·м. В центральной части впадины (п 11) картируется разломная зона с наклоном сместителя в сторону Горловского прогиба. В этом же направлении происходит погружение юрских осадков с амплитудой смещения 150-200 м.

Салаирский кряж представляет собой низкогорное сооружение, сложенное кембрийско-раннеордовикскими вулканогенными и осадочными отложениями островодужного происхождения. В плане Салаирский ороген имеет форму подковы, обращенной выпуклой стороной на северо-восток. Во внутренней части этой дугообразной структуры находится Хмелевской прогиб, выполненный терригенными отложениями верхнего-девона нижнего карбона. По системе че-

шуйчатых надвигов раннепалеозойские отложения Салаира надвинуты на девонско-пермское выполнение Кузнецкого прогиба. Палеозойские надвиги местами реактивированы на неотектоническом этапе и выражены в современном рельефе тектоническими уступами.

Геоэлектрический разрез Салаира в пределах изученного профиля можно условно разделить на две части: северо-западную (п.п. 17-20) и юго-западную п.п. 21-27) (рис.3). Северо-западная часть характеризуется более низкими значениями УЭС, которые возрастают вниз по разрезу от 300-500 Ом·м до 5000-7000 Ом·м. Для юго-западной части характерно двухчленное строение земной коры. Верхняя часть разреза, до глубин 4 км, представлена двумя высокоомными блоками, в пределах которых значения УЭС достигают более 20000 Ом·м. Это обусловлено широким распространением в этой части Салаира магматических пород основного состава. Блоки разделены между собой наклонной зоной, в пределах которой значения УЭС изменяются от 5000 Ом·м до 1000 Ом·м. Начиная с глубин 4 км происходит плавное понижение значений УЭС до 500-300 Ом·м.

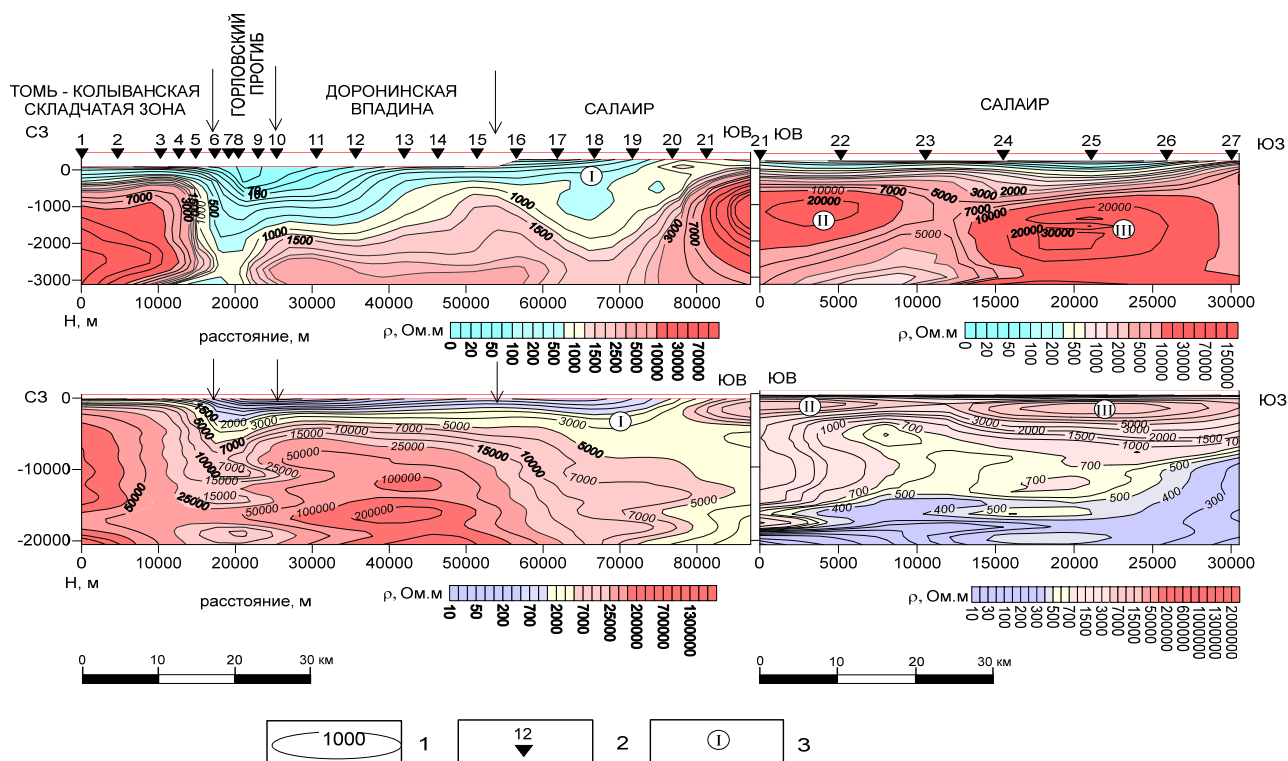


Рис.3. Глубинный геоэлектрический разрез г. Тогучин – п. Маслянино
1 – изолинии УЭС в Ом·м; 2 – пункты МТЗ; 3 – номера блоков Салаира

Заключение

В результате проведенных исследований определены основные черты геоэлектрического строения изученной территории вдоль профиля г. Тогучин-п. Маслянино:

1. Геоэлектрический разрез КТСЗ характеризуется преобладанием абсолютно высоких значений УЭС (более 50000 Ом·м), обусловленных присутствием в разрезе пород многофазного габбро-гранитного комплекса.

2. В юго-восточной части Горловского прогиба установлено распространение юрских отложений, приуроченных к наложенной на его структуру Доронинской впадине. Здесь геоэлектрический разрез представлен четырьмя геоэлектрическими горизонтами, из которых три нижних соответствуют разрезу Доронинской впадины, а самый верхний терсюкской свиты верхней-средней юры. (J1-2tr). Разрез консолидированной земной коры характеризуется преобладанием абсолютно высоких значений УЭС.

3. По особенностям распределения удельного сопротивления геоэлектрический разрез Салаира разделяется на две части: северо-западную (п.п. 1-21) и юго-западную (п.п. 21-27). Первая характеризуется более низкими значениями УЭС, которые возрастают вниз по разрезу от 300-500 Ом·м до 5000-7000 Ом·м. Для второй характерно двухчленное строение земной коры: верхняя часть (4 км) характеризуется значениями УЭС свыше 20000 Ом·м, нижняя – значениями 300-500 Ом·м.

Следует также отметить, что полученные результаты носят предварительный характер и требуют глубокой геологической проработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коробейников А.Ф. Условия образования крупных и гигантских золоторудных месторождений // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. - № 2. – С. 14-22.

2. Вдовин В.В. Основные этапы развития рельефа. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. – М.: Наука, 1976. – 270 с.

3. Жимулев Ф.И., Ветров Е.В., Новиков И.С., Ван Ранст Г., Начтергаеле С., Докашенко С.А., Де Граве И. Мезозойский внутриконтинентальный орогенез в тектонической истории Колывань-Томской складчатой зоны (Южная Сибирь), синтез геологических данных и результатов трекового анализа апатита // Геология и геофизика. – 2021. – Т. 62. -№ 9. – С. 1227-1245.

4. Новиков И.С., Дядьков П.Г., Козлова М.П., Мамедов Г.М., Михеева А.В., Черкасс О.В. Неотектоника и сейсмичность западной части Алтае-Саянской горной области, Джунгарской впадины и китайского Тянь-Шаня // Геология и геофизика. - 2014. - Т.55. - № 12. - С.1802-1814. - ISSN 0016-7886.

5. Жимулев Ф.И., Поспеева Е.В., Новиков И.С., Потапов В.В. Глубинное строение Салаирского складчато-покровного сооружения (северо-запад центрально-азиатского складчатого пояса) // Геодинамика и тектонофизика. - 2021. - Т.12. - № 1. - С.125-138. - EISSN 2078-502X.

6. Беляев В.И., Нечаев В.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Кузбасская серия. Лист N-45-VII Тогучин). Объяснительная записка. – Санкт-Петербург, 2015. – 178 с.

7. Звонарев Н.И. Доронинская впадина Кузнецкого бассейна, геологический отчет. - Новосибирск, 1965. – 122 с.

© Е. В. Поспеева, В. В. Потапов, 2023