

## Геоэлектрическое строение Гусиноозерской впадины (Западное Забайкалье) по результатам интерпретации архивных данных ВЭЗ

*А. М. Санчаа<sup>1</sup>\*, Н. Н. Неведрова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты интерпретации архивных данных ВЭЗ, полученных в 50-х годах прошлого века на территории Гусиноозерской впадины Западного Забайкалья, которая является эталонной для системы впадин «забайкальского типа». Интерпретация выполнена с использованием горизонтально-слоистой модели среды, выполнена двумерная инверсия. В результате получены количественные характеристики геоэлектрических отложений Гусиноозерской впадины, выделены разрывные нарушения. Максимальные глубины до опорного горизонта выделяются в южной части Гусиноозерской впадины и достигают 2300 м, а также и северной Убукунской котловине (до 2200 м).

**Ключевые слова:** Гусиноозерская впадина, Западное Забайкалье, вертикальные электрические зондирования, геоэлектрика

## Geoelectrical structure of the Gusinoozerskaya basin (Western Transbaikalia) based on archival vertical electrical soundings data interpretation

*A. M. Sanchaa<sup>1</sup>\*, N. N. Neverdova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru

**Abstract.** In this article we present the results of the archival VES data, obtained in the 50s of the last century on the territory of the Gusinoozerskaya depression of Western Transbaikalia, which is the reference for the “Transbaikal type” depression system. Interpretation made using a horizontally layered model, also the two-dimensional inversion performed. As a result, quantitative geoelectric characteristics of the Gusinoozerskaya depression deposits were obtained, and faults were identified. The maximum depth up to the reference horizon are in the southern part of the Gusinoozerskaya basin and reach 2300 m, as well as in the Ubukunskaya depression (up to 2200 m).

**Keywords:** Gusinoozerskaya depression, Western Transbaikalia, vertical electrical soundings, geoelectric

### *Введение*

Впадины Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) и Забайкалья со значительной плотностью населения находятся в областях повышенной сейсмической активности, где возможны катастрофические, разрушительные землетрясения. Вместе с тем, для целого ряда депрессий существует недостаток либо даже отсут-

ствие сведений о внутреннем строении. Мезозойские рифтовые впадины широкой двухсоткилометровой полосой окаймляет БРЗ с юго-востока, протягиваясь на северо-восток на 1000 км. В эту зону входит более 80 впадин, разделенных хребтами и межвпадинными перемычками. Гусиноозерская впадина является типичным представителем мезозойских структур, но современных геофизических исследований на её территории не проводилось.

В статье представлены результаты переинтерпретации уникальных архивных данных вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ), полученных в Гусиноозерской (включая Убукунскую) впадине Западного Забайкалья в 50-х годах прошлого века Боргойской электроразведочной партией «Востсибнефтегеофизика». В ходе полевых работ применялись четырехэлектродные установки Шлюмберже с максимальными разносами, достигающими 20 км.

Гусиноозерская впадина расположена в Западном Забайкалье. Она находится в 65 км от оз. Байкал, вытянута с юго-запада на северо-восток, от Тамчинской низменности до Нижнеубукунской перемычки. С северо-запада её ограничивает Хамбинский хребет, а с юго-востока – Моностойское поднятие. Протяженность депрессии составляет около 75 км при средней ширине в 15 км (рис. 1). Впадина привлекает внимание геологов-исследователей различных направлений. Она является эталонной для системы впадин «забайкальского типа» и геологически хорошо изучена в связи с освоением угольных месторождений. Так, в Гусиноозерской впадине находится стратотип гусиноозерской серии мезозойских отложений. На основе этих данных об осадочных формациях рассматриваются этапы развития и геодинамика всего Западного Забайкалья [1].

Исследования различных авторов указывают на рифтовую природу впадин Забайкалья. В работе [2] Гусиноозерская впадина отнесена к моносинклинали, осложненной дифференцированными конседиментационными подвижками блоков фундамента. В исследованиях разломно-блокового строения и напряженного состояния земной коры в Гусиноозерской впадине [3] установлено, что формирование Гусиноозерской впадины происходило в режиме трансгрессии при ведущей роли СЗ-ЮВ растяжения.

Разломно-блоковая структура также была активна в неоген-четвертичное время, однако, предполагается, что активизация происходила уже не под влиянием собственно мантийного источника, а являлась откликом тектонических процессов, происходящих в смежной Байкальской рифтовой зоне. Сейсмические исследования активности Хамбинского разлома свидетельствуют о значительном его сейсмическом потенциале, определяющему максимальную интенсивность сотрясений для расположенных вблизи него городов и поселков. Активность разлома подтверждена историческими землетрясениями 1856 и 1885, 1980 ( $M=5$ ) гг., и как минимум двумя палеоземлетрясениями [4].

Актуальность этой статьи обусловлена не до конца понятным строением впадины, неизвестны мощности и удельные электрические сопротивления (УЭС) отдельных породных комплексов, характеристики разнонаправленных разломных нарушений. Уточнение строения Гусиноозерской впадины, расположенной практически на границе Байкальской рифтовой зоны, представляет несомненный

интерес для широкого круга специалистов-геологов и геофизиков, не только потому, что впадина считается стратотипом для всех позднемезозойских забайкальских депрессий, но она является также классическим примером углеродосодержащего бассейна [2].

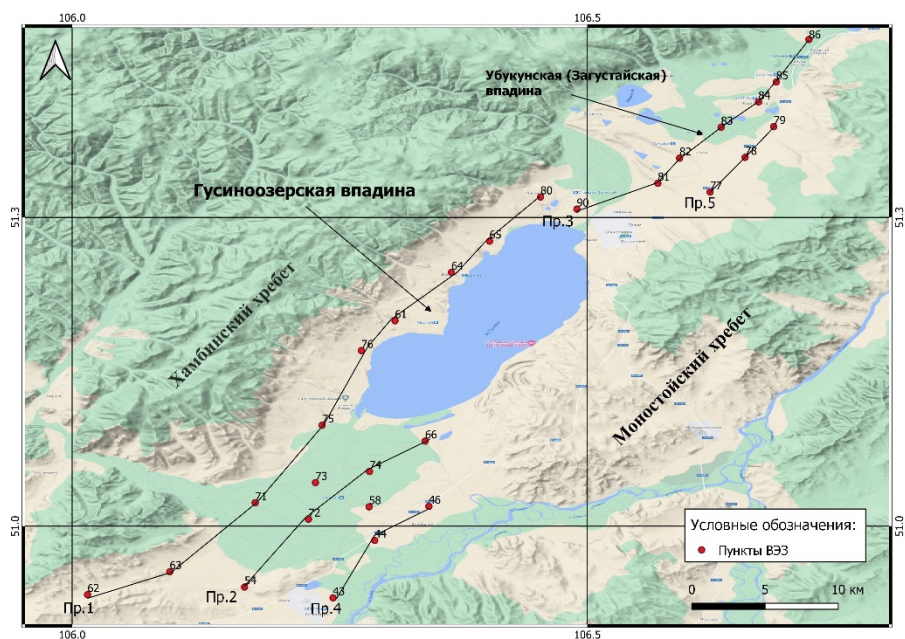


Рис. 1. Схема расположения пунктов ВЭЗ

Послойная интерпретация данных ВЭЗ 50 гг. прошлого века была невозможна даже по палеткам ввиду сложности разреза в части отнесения тех или иных слоев к определенным стратиграфическим горизонтам. Были построены лишь качественные карты распределения параметров с определением глубины залегания опорного горизонта по абсциссе точки отрыва. Карта глубин до опорного горизонта приведена в статье [2]. В наиболее опущенных частях впадины максимальные глубины достигают 2000-2500 м, а на других участках составляют 1500 м и менее. Скважины на территории впадины неглубокие – до 200 м.

### *Геологические данные*

Домезозойские образования относятся к метаморфическим и интрузивным комплексам. Метаморфические породы докембрия представлены гнейсами, кристаллическими сланцами, мраморизованными известняками, песчаниками. Метаморфическо-эффузивные породы сохранились в виде обособленных ксенолитов в кровле интрузий Моностойского хребта. Интрузивный комплекс пород включает такие породы как габбро, гнейсы, граниты. Ими сложены обрамляющие впадину хребты.

Осадочное наполнение впадины выполнено породами мезозойского возраста. Судя по отдельным выходам по окраине Убукунской впадины образованной галгатайской свиты (гравийные и галечниковые конгломераты, песчаники

с прослоями алевролитов и трахиандезибазальтов), они подстилают отложения гусиноозерской серии в центральной части [5, 6.]. По данным [7] мезозойские отложения гусиноозерской серии представлены несколькими свитами. В муртойской свите содержатся конгломератовый и песчаниковый горизонты, в убукунской - мелкообломочные сильно глинистые отложения с присутствием плотных, массивных аргиллитов, в селенгинской - песчаники с прослоями угля, в хольбоджинской – песчаники, алевролиты, угли.

Со стороны Моностойского хребта между угольными пластами «вторгаются» образования предгорной толщи – конгломератобрекчии. Степень угленасыщенности сильно варьирует, от значительной до средней. Угленасыщенность самая высокая в гусиноозерской серии. Общая мощность Гусиноозерской серии оценивается в 3-3.5 км. в целом устанавливается моноклинальное или «псевдомоноклинальное» строение отложений, осложненное дополнительной складчатостью. Это представление Н.А. Флоренсова (1960) связано с его гипотезой о конседиментационном расширении мезозойских впадин забайкальского типа с СЗ на ЮВ. На примере эталонной Гусиноозерской структуры такой процесс впадинообразования подтверждается, в частности, выпадением у юго-восточного борта из общего разреза муртойской и убукунской свит. На ход гусиноозерского цикла осадконакопления наибольшее влияние оказывали движения по Хамбинскому, а затем по Моностойскому разломам.

Мезозойские отложения Гусиноозерской впадины местами перекрыты кайнозойскими отложениями [5, 6].

Из разрывных нарушений преимущественным развитием пользуются разломы северо-восточного – субширотного и северо-западного – субмеридионального направлений. Среди них выделяются главные и второстепенные. Главные разломы определяют границы рифтогенных впадин. По времени заложения многие из этих разломов связаны с мезозойским рифтогенезом, но при этом очевидна унаследованность ими направлений более древних позднепалеозойских структур [5, 6].

### *Геофизические данные, программные средства*

Геоэлектрические исследования 50-х гг. прошлого века были выполнены на территории Гусиноозерской впадины методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) с установкой Шлюмберже. Минимальный разнос генераторной линии составлял 6 м, а максимальные её размеры достигали 10-16-20 км. Полевые работы были проведены с большой ответственностью. Особое внимание уделялось условиям заземления электродов на местности, что фактически определяет качество съемки. Минимальный уровень измеряемой разности потенциалов был равен примерно 0,5 мВ. В ходе измерений выполнено достаточное количество повторных пунктов и оценены погрешности измерений, которые находятся в среднем в пределах 5-6 %. Пункты ВЭЗ были размещены в доступных для измерений местах, поэтому сеть получена неравномерная. В Гусиноозерской впадине площадную съемку удалось выполнить только на небольшом юго-западном участке. В районе озера Гусиное и на северо-востоке впадины измерения выпол-

нены по отдельным профилям. Карта фактического материала ВЭЗ показана на рис. 1.

На первом этапе интерпретация данных ВЭЗ выполнена в рамках горизонтально-слоистой модели среды с помощью программных комплексов моделирования и инверсии Сонет, ZondIP1D. Для составления стартовой модели использовались данные скважин и обширные геологические материалы. В частности, опорный электрический горизонт в восточной части Гусиноозёрской впадины по априорным геологическим данным представлен порфиритовым комплексом, залегающим на кристаллических породах. В западной части Гусиноозерской депрессии осадочный чехол непосредственно залегает на гранитах и гнейсах. По электрическим свойствам порфириты, граниты и гнейсы не различаются. Все породы опорного горизонта характеризуется достаточно высокими значениями УЭС от 1000 до 10000 Ом·м. Но, следует отметить, что для некоторых локальных участков фундамента (в основном это обводнённые ослабленные зоны вблизи разломов), получены значения УЭС ниже 1000 Ом·м.

На втором этапе привлечена программа двумерной инверсии ZondRes2D (<http://zond-geo.com/>).

### *Результаты*

В рамках горизонтально-слоистой модели среды выделяется 6 основных геоэлектрических горизонтов:  $\rho_1 \geq (\leq) \rho_2 \geq \rho_3 < \rho_4 > \rho_5 < \rho_6$ . Опорный горизонт  $\rho_6$  – высокоомный, может соответствовать как породам фундамента, так и породам галгатайской и муртойской свит, горизонты  $\rho_2$  -  $\rho_5$  соответствует породам гусиноозерской серии:  $\rho_5$  – низкоомный,  $\rho_4$  – относительно высокоомный горизонт, возможно, соответствующий конгломератам гусиноозерской серии,  $\rho_3$  - низкоомный,  $\rho_2$  – высокоомный (может отсутствовать в разрезе),  $\rho_1$  – верхняя часть разреза (кайнозой), состоящая из нескольких маломощных слоев как высокого, так и низкого УЭС, также может отсутствовать. Поскольку породы гусиноозерской серии литологически однообразны, по значениям УЭС они также мало различаются. Повышение значений УЭС, скорее всего, связано с появлением конгломератовых толщ или угольных пластов.

Приведем для примера два геоэлектрических разреза по длинным профилям. На рисунке 2 представлен геоэлектрический разрез по профилю 1, проходящему вдоль северо-западного борта Гусиноозерской впадины. Профиль начинается с поднятия опорного горизонта – перемычки между Гусиноозерской и Боргойской впадинами, где мощность осадков составляет около 200 м. Далее опорный горизонт погружается на глубину порядка 1570 м. Причем УЭС опорного горизонта в 500 Ом·м в районе ВЭЗ 75-61 значительно ниже, чем в других пунктах. Профиль заканчивается пунктом ВЭЗ 80, расположенным на перемычке между собственно Гусиноозерской впадиной и Убукунской котловиной, а глубина до опорного горизонта 820 м. УЭС пород гусиноозерской серии в среднем изменяется в пределах от 15 до 80 Ом·м в нижней части разреза, и повышается до 80-200 Ом·м в средней части на глубинах 200-600 м. Пункты ВЭЗ 62-71 на геологической карте расположены в зоне распространения кайнозойских отло-

жений, на разрезе в верхней части выделяются слои с повышенными значениями УЭС, меняющимися в широком диапазоне (50-2500 Ом·м), которые можно отнести к этим отложениям. Предполагаемые разломы, выделенные на геоэлектрических разрезах, коррелируются с данными [2, 3, 5, 6].

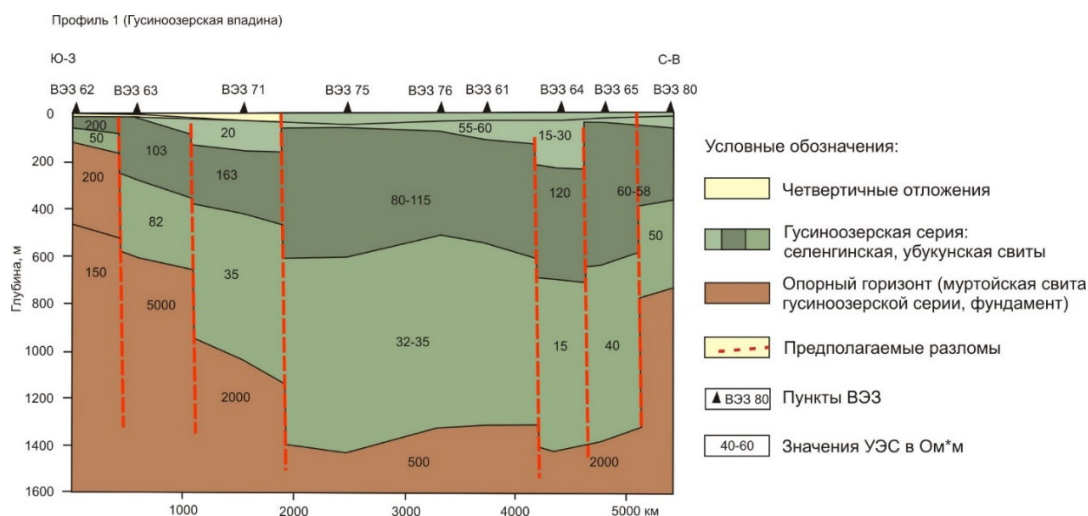


Рис. 2. Профиль 1. Северо-западный борт Гусиноозерской впадины (1D интерпретация)

На геоэлектрических разрезах по профилям 2 и 4, расположенным в южной части Гусиноозерской впадины, наблюдается погружение опорного горизонта от перемычки между Боргойской и Гусиноозерской впадинами в сторону озера Гусино, достигая глубины в наиболее прогнутах части 2100-2300 м.

Южная часть Гусиноозерской впадины закрыта тощей кайнозойских отложений [5]. Слой в верхней части разреза, УЭС которых меняется в широком диапазоне, можно отнести к этим отложениям. УЭС пород Гусиноозерской серии здесь в среднем от 10 до 110, а на глубинах 600-1500 м появляется область повышения до 500 Ом·м, которая прослеживается на обоих разрезах по профилям 2 и 4.

На рисунке 3 представлен геоэлектрический разрез по профилю 3 проходящему по центру Убукунской котловины. Профиль начинается с поднятия опорного горизонта – перемычки между Гусиноозерской и Убукунской впадинами, где мощность проводящих осадков составляет 930 м. Наиболее погруженная часть – в пункте ВЭЗ 82 (глубина – 2200 м). Далее глубина до опорного горизонта уменьшается в сторону перемычки между Убукунской и Верхнеоронгойской впадинами до глубины 500 м. УЭС пород Гусиноозерской серии здесь в среднем от 20 до 90 Ом·м. В пункте ВЭЗ 85 в верхней части выделяется слой с УЭС 268 Ом·м, в связи с тем, что этот пункт расположен близко к Моностойскому хребту, возможно, это «моностойские» конгломераты. Предполагаемые разломы, выделенные на геоэлектрических разрезах, коррелируются с данными [2, 3, 6].

Далее на рисунках 4, 5 представлены разрезы 2D инверсии. В целом наблюдается качественное согласование разрезов 1D интерпретации и 2D инверсии. Выделяются области максимальных и минимальных погружений опорного горизонта.

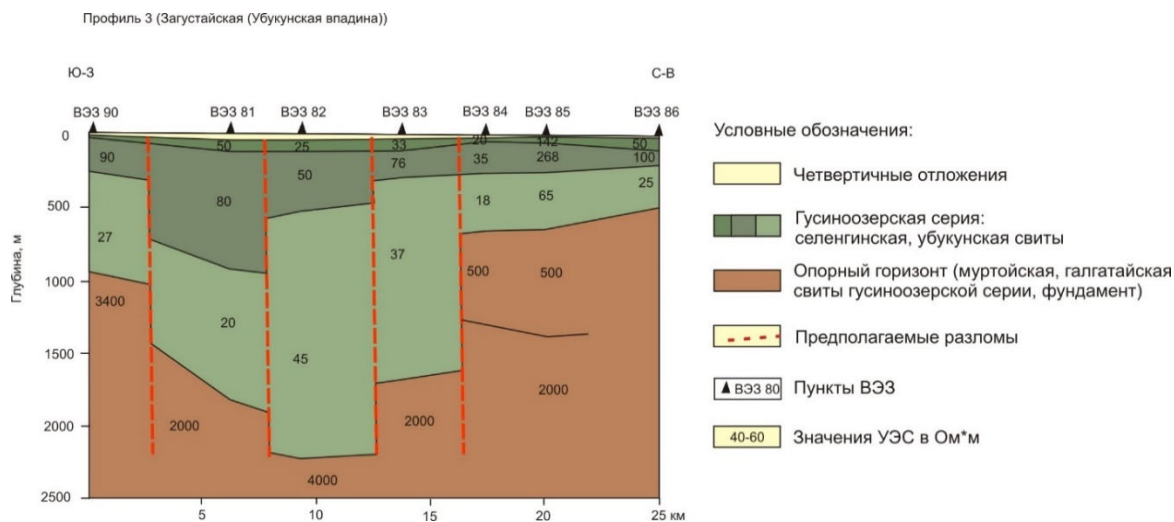


Рис. 3. Профиль 3. Северо-западный борт Убукунской впадины (1D интерпретация)

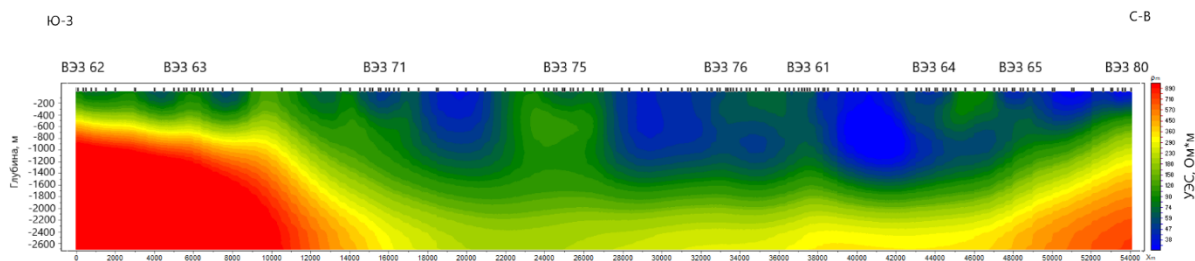


Рис. 4. Профиль 1. Северо-западный борт Гусиноозерской впадины (2D инверсия)

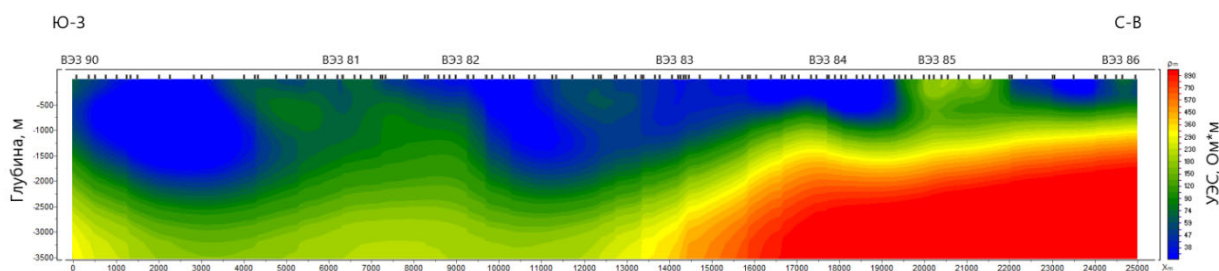


Рис. 5. Профиль 3. Северо-западный борт Убукунской впадины (2D инверсия)

По результатам 2D инверсии построена 3D модель (рис. 6), которая отражает рельеф поверхности опорного горизонта. К сожалению, данных ВЭЗ по оз. Гусиному у нас нет, поэтому построенная модель отражает лишь интерполяцию в области, где информация отсутствует.

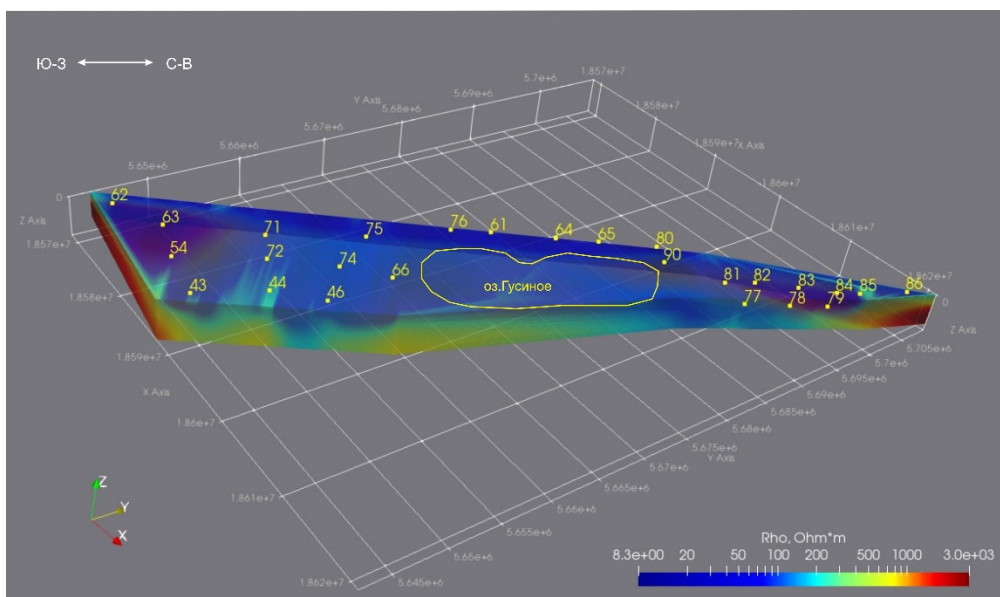


Рис. 6. 3D визуализация результатов 2D инверсии по профилям Гусиноозерской и Убукунской впадин.

### *Обсуждение*

На основе 1D интерпретации и двумерной инверсии данных ВЭЗ построены разрезы по профилям измерений и 3D геоэлектрическая модель Гусиноозерской впадины. Выделяется опорный горизонт, со значениями УЭС от 200 Ом·м и выше. По геологическим данным этот горизонт может быть представлен как породами фундамента, так и породами муртойской, галгатайской свит. Более низкие значения УЭС опорного горизонта могут относиться к породам мезозойского возраста, либо к разломным зонам фундамента впадины. На опорном горизонте залегает толща проводящих отложений с УЭС в среднем от 10 до 90 Ом·м, в средней части которой присутствует слой с повышением УЭС до 500 Ом·м. Проводящие отложения представлены породами убукунской, селенгинской свит, а также породами четвертичного возраста. Максимальные глубины до опорного горизонта выделяются в южной части впадины и достигают 2300 м, а также и северной Убукунской котловине (до 2200 м). Вдоль северо-западного борта впадины глубины составляют около 1600 м. Выделены разрывные нарушения, многие из которых согласуются с геологическими данными, также выявлены неизвестные ранее разломы.

Таким образом, получены количественные оценки УЭС и мощности осадочных толщ, глубины до фундамента и его УЭС Гусиноозерской впадины. Ранее были построены лишь качественные карты распределения параметров, и глубин до фундамента, определенных с большой погрешностью по абсциссе точке отрыва.

### *Заключение*

В работе проведена интерпретация архивных данных ВЭЗ с использованием горизонтально-слоистой модели среды, выполнена двумерная инверсия. В результате получены количественные характеристики геоэлектрических отложе-



ний Гусиноозерской впадины. В дальнейшем, учитывая данные разломно-блоковой тектоники, планируется выполнить двумерное моделирование с целью уточнения положения разломных структур.

Знания о глубинном строении межгорных впадин интересно самому широкому кругу специалистов как геологических, так и смежных дисциплин, важно с точки зрения транспортного и гражданского строительства, энергетического промышленного комплекса, а также позволяет продвинуться в понимании роли геодинамических процессов, формирующих строение всего региона.

### *Благодарности*

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ИНГГ СО РАН FWZZ-2022-0025.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цеховский Ю.Г., Леонов М.Г. Осадочные формации и основные этапы развития территории Западного Забайкалья и юго-восточного Прибайкалья в позднем мелу и кайнозое // Литология и полезные ископаемые. – 2007. - №4. – С. 390-405.
2. Булнаев К.Б. Формирование впадин «забайкальского» типа // Тихоокеанская геология, 2006. – Т.36. – №1. – С.18-30.
3. Лунина О.В. Разломы плиоцен-четвертичной активизации юга Восточной Сибири и их роль в развитии сейсмически индуцированных геологических процессов / дисс. докт.геол.-мин.наук, 2015.
4. Смекалин О.П., Чипизубов А.В., Радзиминович Н.А., Имаев В.С. Сейсмическая активность Хамбинского разлома (Юго-Западное Забайкалье) // Геология и геофизика. – 2019. - Т.60. - №6. – С.881-895.
5. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200000. Серия Селенгинская. Лист М-48-ХІ. Объяснительная записка. М.: 1962.
6. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200000. Серия Селенгинская. Лист М-48-V. Объяснительная записка. М.: 2013.
7. Скобло В.М., Лямина Н.А., Руднев А.Ф., Лузина И.В. Континентальный верхний мезозой Прибайкалья и Забайкалья (стратиграфия, условия осадконакопления, корреляции). – Новосибирск: Изд-во Со РАН, 2001. – 332с.

© А. М. Санчаа, Н. Н. Неведрова, 2022