GEODYNAMICS & TECTONOPHYSICS

PUBLISHED BY THE INSTITUTE OF THE EARTH'S CRUST
SIBERIAN BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

2019 VOLUME 10 ISSUE 1 PAGES 167–180 ISSN 2078-502X

https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-1-0409

Recent Geodynamics

BLOCK STRUCTURE OF THE SOUTHERN KURAI BASIN OF GORNY ALTAI ACCORDING TO GEOELECTRIC DATA COMPARED TO THE DISTRIBUTION OF EARTHQUAKE EPICENTERS

A. M. Sanchaa[1], N. N. Nevedrova[1], P. V. Ponomarev[2]

[1] *A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia*
[2] *Seismological Branch of Federal Research Center 'Geophysical Survey of RAS', Novosibirsk, Russia*

Abstract: The Kurai Basin of Gorny Altai is located in the area of high seismic activity, which is involved in the focal zone of the 2003 M 7.3 Chuya earthquake. Its aftershock process has not ceased yet, and shows the likelihood of major seismic events. The seismic monitoring records of the last 15 years after the devastating earthquake show the state of stress in the basin. A comprehensive field database has been consolidated from the studies of direct and alternating currents by electromagnetic methods, including transient electromagnetic sounding, vertical electrical sounding, and electric field tomography. Using a combination of the research techniques and the method of interpretation based on data inversion, it becomes possible to select optimal models, ensure higher reliability, and improve the contents of the study. The available seismological data are used to identify the zones of concentration of seismic events in the southern mountain frame of the Kurai Basin. Our study aims to determine and clarify the geoelectric structure of the southern troughs. The first section of the Southwestern trough is constructed, and the latitudinal fault boundaries of the Eshtykel graben are confirmed. A comparison of electromagnetic and seismic data for 2015 shows that the earthquake epicenters were mainly confined to the submeridional fault zones. In our study of the Southwestern trough, it is established that most of the earthquakes concentrated in active fault structures separating the blocks of varying depths, which are identified from the geoelectric data. The southern piedmont troughs of the Kurai Basin are cut by numerous faults of latitudinal and submeridional strikes.

Key words: Kurai Basin; Gorny Altai; electrical resistivity; geoelectric structure; transient electromagnetic sounding (TEM); vertical electrical sounding (VES); electric field tomography (ERT); earthquake epicenter

RESEARCH ARTICLE

Received: June 14, 2018
Revised: February 1, 2019
Accepted: February 20, 2019

For citation: *Sanchaa A.M., Nevedrova N.N., Ponomarev P.V.*, 2019. Block structure of the southern Kurai Basin of Gorny Altai according to geoelectric data compared to the distribution of earthquake epicenters. *Geodynamics & Tectonophysics* 10 (1), 167–180. doi:10.5800/GT-2019-10-1-0409.

Блоковое строение южной части Курайской впадины Горного Алтая по данным геоэлектрики в сопоставлении с распределением эпицентров землетрясений

А. М. Санчаа[1], Н. Н. Неведрова[1], П. В. Пономарев[2]

[1] *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия*
[2] *Сейсмологический филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», Новосибирск, Россия*

Аннотация: Курайская впадина Горного Алтая расположена в районе с высокой сейсмической активностью. Очаговая зона Чуйского землетрясения 2003 г. с M=7.3 захватила и Курайскую впадину. Землетрясение сопровождается длительным еще не завершенным афтершоковым процессом с вероятностью крупных событий. Сейсмологические наблюдения последних 15 лет после разрушительного землетрясения свидетельствуют о напряженном состоянии впадины. В настоящее время накоплен значительный объем полевых данных, полученных комплексом электромагнитных методов постоянного и переменного тока (зондирование становлением электромагнитного поля, вертикальное электрическое зондирование, электротомография). Методика интерпретации, основанная на инверсии данных с использованием комплекса методов, позволяет выбрать оптимальные модели, повышает достоверность и информативность исследования. По сейсмологическим данным были выделены зоны концентрации сейсмических событий в Курайской впадине на границе южного горного обрамления. Целью работы является определение и уточнение геоэлектрического строения южных прогибов на границе с горным обрамлением с учетом сейсмологических данных. Впервые построен разрез Юго-Западного прогиба, подтверждены широтные разломные границы Ештыкельского грабена. Сопоставление электромагнитных и сейсмологических данных за 2015 г. показало, что эпицентры землетрясений приурочены в основном к разломным зонам субмеридионального простирания. Таким образом, в результате исследования установлено, что большая часть землетрясений сосредоточена в Юго-Западном прогибе в активных разломных структурах, разделяющих разноглубинные блоки, выделенные по данным геоэлектрики. Показано, что южные предгорные прогибы Курайской впадины пересекают многочисленные разрывные нарушения как широтного, так и субмеридионального простирания.

Ключевые слова: Курайская впадина; Горный Алтай; удельное электрическое сопротивление; геоэлектрическое строение; зондирование становлением электромагнитного поля; вертикальное электрическое зондирование; электротомография; эпицентр землетрясения

1. Введение

Курайская впадина входит в систему межгорных впадин Горного Алтая. Она относится к кайнозойским впадинам со сложным внутренним строением и исследовалась методами геоэлектрики в два этапа. Во второй половине прошлого столетия, в 60–80 гг., на ее территории был выполнен значительный объем работ методом вертикального электрического зондирования.

Далее в связи с изучением последствий разрушительного Чуйского землетрясения 2003 г. сотрудниками Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН в 2004 г. были начаты исследовательские работы методами электроразведки в Чуйской впадине, а с 2006 г. – в Курайской, поскольку эпицентральная область захватила обе эти впадины и их горное обрамление. Землетрясение сопровождается длительным и сложным афтершоковым процессом с периодами затиший и активизаций [*Nevedrova et al., 2017*; *Dobretsov et al., 2016; Lunina et al., 2008*]. В результате анализа накопленных сейсмологических данных были выделены зоны концентрации сейсмических событий в Курайской впадине на границе южного горного обрамления. В течение последних нескольких лет линейные цепочки эпицентров слабых землетрясений (по данным дополнительных сейсмологических измерений в летнее время) фактически пересекают впадину в меридиональном направлении, что свидетельствует о ее крайне напряженном состоянии [*Emanov et al., 2017*]. Эти особенности распределения землетрясений, скорее всего, можно объяснить с учетом размещения разломных структур, их активности, а также блокового деления осадочного заполнения и фундамента Курайской впадины. Кроме того, в настоящее время достоверно выделены только разломы широт-

ного простирания, а присутствие меридиональных пока не рассматривалось.

Для исследования межгорных впадин мы используем комплекс электромагнитных методов, включающий зондирование становлением электромагнитного поля (ЗС), вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электротомографию (ЭТ) (рис. 1), привлечены и архивные данные. Значительная часть архивных данных ВЭЗ не позволяет получить глубины до фундамента Курайской впадины, поэтому в настоящее время для уточнения строения на ее территории размещен 71 пункт ЗС, 20 пунктов ВЭЗ и 15 профилей ЭТ. Комплекс методов дает возможность получить геоэлектрические характеристики в широком диапазоне глубин – от дневной поверхности до фундамента.

В статье рассматриваются результаты исследований методами наземной электроразведки с контролируемым источником в районе прогибов, ограничивающих Курайскую впадину с юго-запада (Юго-Западный прогиб) и юго-востока (Ештыкельский прогиб). Именно эта часть Курайской впадины имеет наиболее сложное, не до конца понятное строение.

2. Методика интерпретации для определения геоэлектрического строения южной части Курайской впадины

Юго-Западный малоамплитудный предгорный прогиб ограничивает впадину с юго-запада и на самом южном участке сочленяется с Ештыкельским прогибом, протянувшимся вдоль предгорных ступеней Северо-Чуйского хребта. Для выяснения ранее неизвестного строения Юго-Западного прогиба и зоны его сочленения с Ештыкельским грабеном были выполнены дополнительные измерения комплексом методов ВЭЗ, ЗС, ЭТ.

Для метода ЗС выбрана установка «соосные» симметричные петли с размерами генераторной петли 200×200 м, а приемной – 100×100 м. Ток в генераторном контуре составлял 50 А. Эта установка характеризуется высокой локальностью, ее параметры обеспечивают необходимую глубинность и наименее всего подвержены искажениям. Для метода ВЭЗ использована установка Шлюмберже с максимальным размером AB/2=1000 м. Длина установки электротомографии составляла 235 м с шагом в 5 м между электродами.

Интерпретация данных основана на решении обратной задачи с использованием интерактивных программных комплексов моделирования и инверсии: EMS, Zond Software, Geotomo Software [*Khabinov et al., 2009; Kaminsky, 2001; Loke, 2015; Morelli, LaBrecque, 1996; Hennig et al., 2008*] и согласовании данных разноглубинного комплекса методов. Характерные искажения кривых ЗС подробно рассмотрены в нескольких публикациях [*Nevedrova et al., 2001, 2014; Epov et al., 2006*]. Искажения кривых ВЭЗ анализировались с помощью трехмерного моделирования и описаны в статье [*Nevedrova et al., 2014*].

В качестве примера согласования данных был рассмотрен один из совместных пунктов методов ВЭЗ и ЗС в проблемной зоне сочленения двух прогибов. На рис. 2, *а*, представлена кривая ВЭЗ 1203 и полученная геоэлектрическая модель, суммарная мощность осадков составляет 136 м. В этом же пункте было выполнено измерение методом ЗС (ЗС 41_12), кривая зондирования и геоэлектрическая модель показаны на рис. 2, *б*. Учитывая разные физические основы методов (метод ВЭЗ: законы распространения постоянного тока, метод ЗС: закон электромагнитной индукции) и методик измерений постоянного и переменного тока, можно считать, что модели, полученные по данным двух методов, неплохо согласуются по мощности высокоомных и низкоомных слоев, что позволяет обосновать оптимальную модель.

Так как остальные кривые ЗС (43_12, 44_12), полученные на территории Юго-Западного прогиба существенно искажены из-за небольшой ширины и влияния его бортов, строение представлено по данным ВЭЗ, имеющим на этом участке впадины достаточную глубинность (рис. 3). Шаг по профилю ВЭЗ был неравномерным, имеются большие расстояния между пунктами из-за сложного рельефа, поэтому полученный геоэлектрический разрез отражает обобщенное строение участка. Вместе с тем можно предварительно выделить разломные структуры, ограничивающие разноглубинные блоки [*Bataleva, Batalev, 2015*]. Высокое удельное сопротивление верхнего слоя до 10000 Ом·м в районе пунктов ВЭЗ 1203, 1204, 1202, скорее всего, с учетом априорных данных обусловлено присутствием многолетнемерзлых пород. Глубже выделяется более проводящий горизонт со значениями УЭС в интервале от 25 до 200 Ом·м, залегающий на высокомном опорном горизонте (фундаменте). Судя по геоэлектрическим параметрам, присутствию проводящих отложений, прогиб формировался одновременно с Ештыкельским и также находился под воздействием интенсивных тектонических процессов.

В расположенном близко от пунктов ВЭЗ 1204 и 1202 пункте ЗС 42_12 получена искаженная кривая (рис. 4) и невозможно однозначно определить, какой из нижних высокоомных горизонтов можно отнести к фундаменту, поэтому привлечены архивные ВЭЗ, по результатам интерпретации которых построен геоэлектрический разрез по профи-

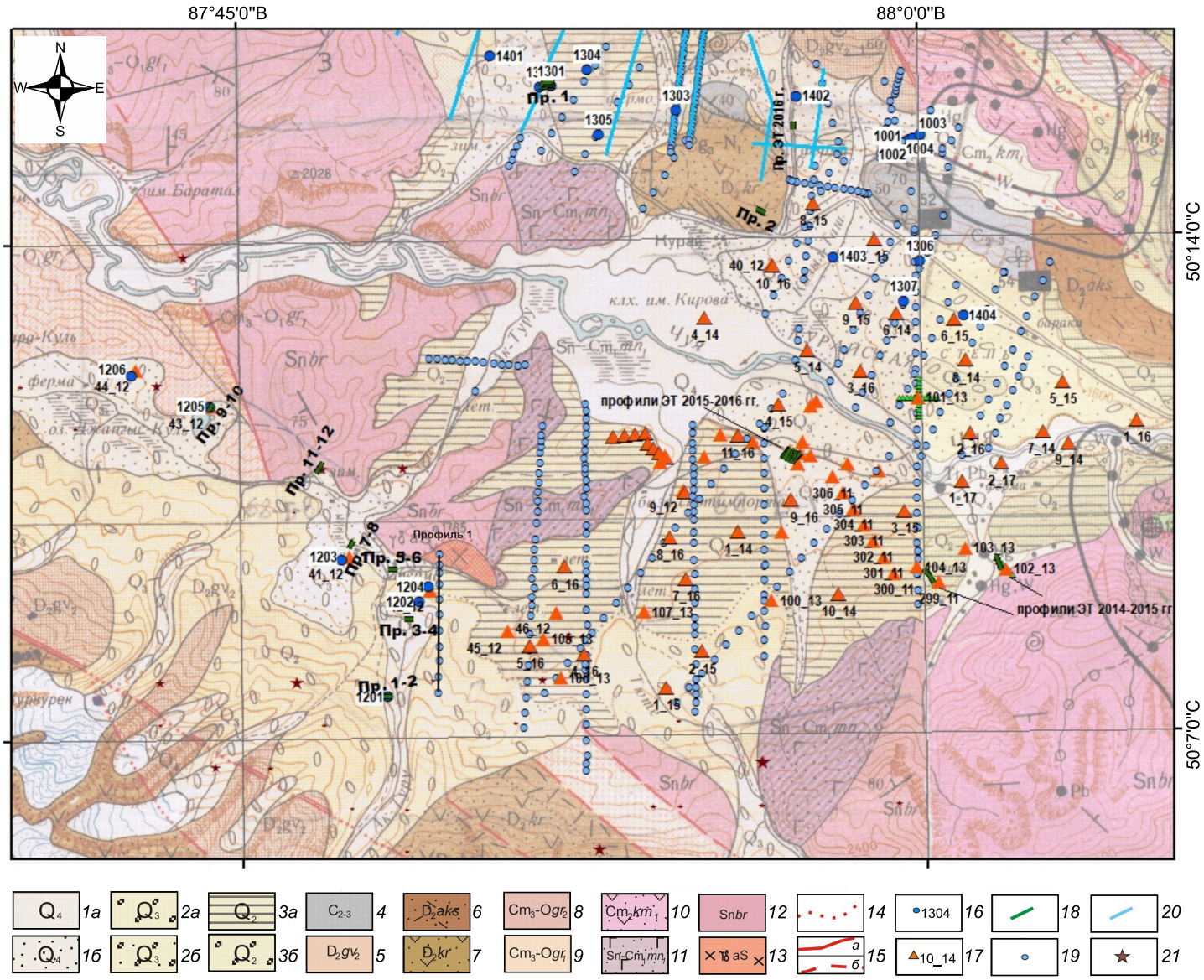

Рис 1. Карта расположения пунктов измерений с элементами геологической карты.

1–3 – четвертичная система: *1а* – аллювиальные галечники и пески, *1б* – делювиально-пролювиальные галечники и щебень, *2* – валунники, галечники и супеси:*2а* – ледниковые, *2б* – водно-ледниковые, *3а* – ледниковые валунники, галечники, пески, супеси, *3б* – озерные супеси, галечники, гравий; *4* – каменноугольная система. Конгломераты, песчаники, алевролиты, углистые сланцы, каменные угли; *5–7* – девонская система: *5* – песчаники, алевролиты, сланцы, известняки, *6* – преимущественно туфы кислого состава, *7* – преимущественно туфы среднего состава; *8–10* – кембрийская и ордовикская системы: *8* – алевролиты, филлитизированные сланцы и полимиктовые песчаники, *9* – полимиктовые песчаники и филлитизированные сланцы, *10* – туфы средних эффузивов; *11* – Синийский комплекс – кембрийская система (основные и средние эффузивы, их туфы, известняки, силицилиты, антимолитовые сланцы); *12* – Синийский комплекс (мраморизованные известняки; горизонты силицилитов и основных эффузивов); *13* – досилурийские гранодиориты, граниты; *14* – линии тектонического контакта, предполагаемые под кайнозойскими отложениями; *15* – тектонические контакты: а – достоверные, б – предполагаемые; *16–18* – современные измерения: *16* – пункты ВЭЗ, *17* – пункты ЗС, *18* – профили ЭТ; *19–20* – архивные данные: *19* – пункты ВЭЗ, *20* – профили ВЭЗ (Рудный участок); *21* – эпицентры землетрясений 2015 г.

Fig. 1. Locations of measurement points, and geological mapping elements.

1–3 – Quaternary system: *1a* – alluvial galleries and sands, *1b* – deluvial-proluvial galleries and rubble, *2* – boulders, pebbles and sandy loams: *2a* – glacial, *2б* – water-glacial, *3a* – glacial boulders, pebbles, sand, sandy loam, *3б* – lake sandy loam, pebble, gravel; *4* – Carboniferous system. Conglomerates, sandstones, siltstones, carbonaceous schists, hard coals; *5–7* – Devonian system: *5* – sandstones, aleurolite, shale, limestone, *6* – predominantly acidic tuffs, *7* – mostly medium-sized tuffs; *8–10* – Cambrian and Ordovician systems: *8* – aleurolite, phylitized schists and polymictic sandstones, *9* – polymictic sandstones and phylitized schists, *10* – tuffs of medium effusive rocks; *11* – Siniyskiy complex – Cambrian system (main and medium effusive rocks, and their tuffs, limestones, silicilytes, anti-molitic schists); *12* – Siniysky complex (marble limestones; silicilyte and main effusive horizons); *13* – Pre-Silurian granodiorites, and granites; *14* – tectonic contact lines assumed under Cenozoic sediments; *15* – tectonic contacts: a – confirmed, б – inferred; *16–18* – current measurements: *16* – VES points, *17* – TEM points, *18* – ERT profiles; *19–20* – archive data: *19* – VES points; *20* – VES profiles (Ore area); *21* – 2015 earthquake epicenters.

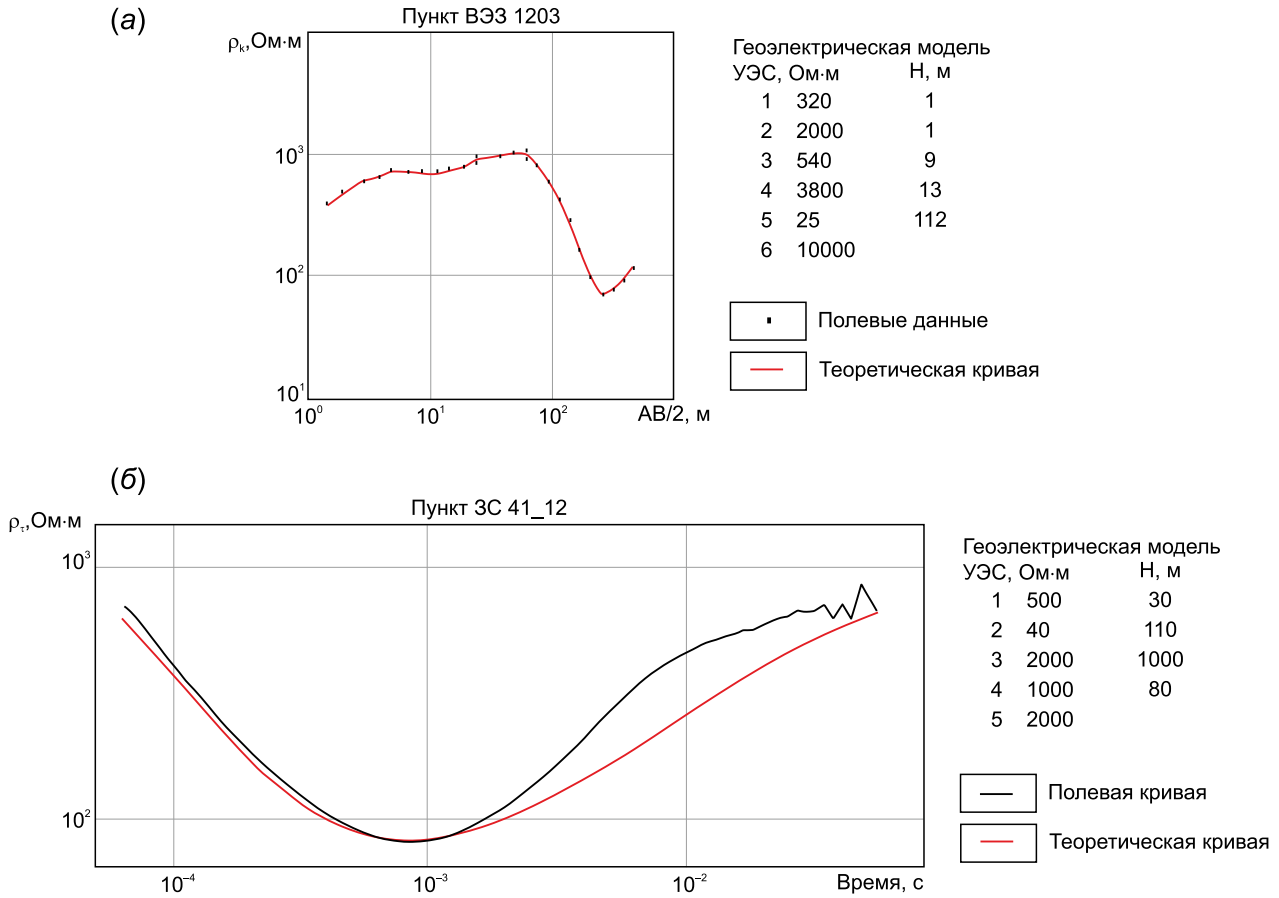

Рис. 2. Кривые ВЭЗ и ЗС в совместном пункте. (*а*) – кривая ВЭЗ 1203, геоэлектрическая модель; (*б*) – кривая ЗС 41_12, геоэлектрическая модель.

Fig. 2. VES and TEM curves for the same monitoring point. (*a*) – VES curve 1203, geoelectrical model; (*б*) – TEM curve 41_12, geoelectrical model.

лю 1, пересекающему рассматриваемый участок (рис. 5). Лишь для двух ВЭЗ – 62 и 64 – кривые выходят на асимптоту, глубина залегания фундамента по этим данным составляет 90 и 177 м. Новые пункты ВЭЗ 1204, 1202, ЗС 42_12, созданные в 2012 г., расположены между пунктами архивных

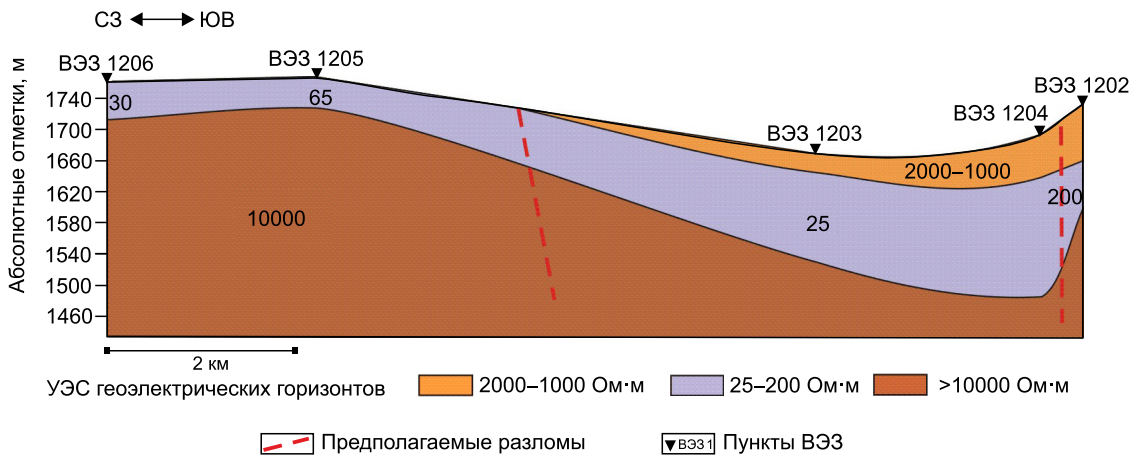

Рис. 3. Геоэлектрический разрез по данным ВЭЗ (Юго-Западный прогиб).

Fig. 3. Geoelectrical section based on VES data (Southwestern trough).

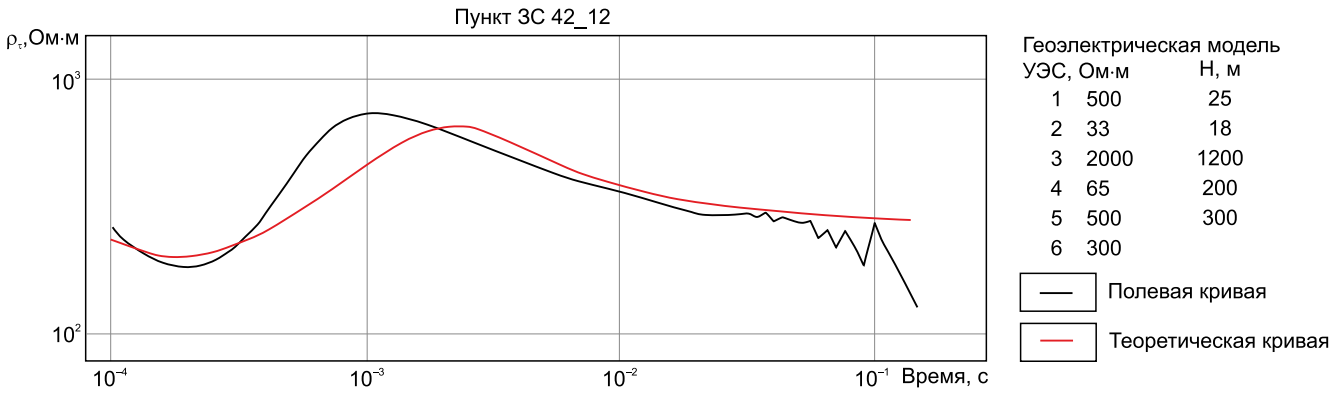

Рис. 4. Кривая ЗС 42_12, геоэлектрическая модель.

Fig. 4. TEM curve 42_12. Geoelectrical model.

ВЭЗ 62 и 64. Таким образом, анализ всех данных позволяет предположить небольшую глубину залегания фундамента в этом районе, порядка 200 м.

На этом же участке выполнены измерения методом электротомографии по шести профилям. Полученные в результате двумерной инверсии разрезы по профилям 5 и 6 в районе ВЭЗ 1204, 1202 свидетельствуют о небольшой глубине залегания фундамента (порядка 30–40 м), что согласуется с данными ВЭЗ. На рис. 6, *а*, представлен один из геоэлектрических разрезов по профилю ЭТ 6. На остальных профилях ЭТ, расположенных на северо-западе, в разрезе присутствуют в основном высокоомные отложения значительной мощности (рис. 6, *б*).

Можно предположить наличие разрывного нарушения на профиле ЭТ-3, которое проявляется зоной относительного понижения УЭС в центральной части разреза. С учетом этого можно уточнить положение разлома, выделенного между пунктами ВЭЗ 1205 и 1203 в Юго-Западном прогибе (рис. 6) [*Gélis et al., 2016; Perrone et al., 2014*].

Ештыкельский прогиб ограничен северным и южным разломами, выделенными специалистами-геологами в результате анализа распределения гипоцентров афтершоков Чуйского землетрясения 2003 г. [*Novikov et al., 2008, 2014; Novikov, Pospeeva, 2017*]. По данным ЗС 2010–2011 гг., в этом прогибе получены значительные глубины до фундамента, превышающие 1000 м [*Nevedrova et al., 2014*]. Далее в 2012, 2015, 2016 гг. в самой южной части впадины нами были выполнены измерения методом ЗС. На рис. 7 представлена кривая и модель в результате инверсии для ЗС 5_16. Получена неоднозначная интерпретация. В геоэлектрических моделях выделяется несколько высокоомных горизонтов на разных глубинах и возникает вопрос, какой из них следует отнести к фундаменту. Можно предложить два варианта интерпретации для ЗС 5_16. Например, пятый горизонт соответствует фундаменту, а следующий за ним более проводящий слой относится к ослабленному блоку фундамента; или второй вариант – пятый горизонт с УЭС=1000 Ом·м содержит грубообломочные породы, а шестой с УЭС=25 Ом·м можно соотнести с породами туерыксой и кошагачской свит, и тогда фундамент – седьмой горизонт (УЭС=2000 Ом·м) [*Rusanov, Vazhov, 2014; Delvaux et al., 2013*].

Для верификации ситуации также привлечены архивные материалы по меридиональным профилям ВЭЗ, пересекающим проблемную зону и Ештыкельский прогиб. Интерпретация этих данных показала, что здесь получены достаточно большие глубины залегания кровли фундамента. Кривые, построенные по данным ВЭЗ в пунктах на территории Ештыкельского прогиба, не выходят на асимптоту. Пример такой кривой представлен на рис. 8 (ВЭЗ 52). Геоэлектрическая модель представлена верхней высокоомной частью разреза (до глубин 87 м) и подстилающими более проводящими отложениями значительной мощности. Пункты ВЭЗ 52 и ЗС 5_16 размещены в одной точке.

3. Обсуждение результатов интерпретации

Основные выводы сделаны в результате совместного анализа геоэлектрических и сейсмологических данных с учетом глубинного строения. Вначале рассмотрим глубинные разрезы по данным ЗС (профили 5, 8). Разрез по профилю 5 (рис. 9, *а*) протягивается с запада на восток вдоль всего южного борта Курайской впадины начиная с Юго-Западного малоамплитудного прогиба, далее переходящего в Ештыкельский. На разрезе по резкому изменению мощности осадочных отложений и положению кровли фундамента можно выделить многочисленные разрывные нарушения, создающие блоковое строение этого участка впадины.

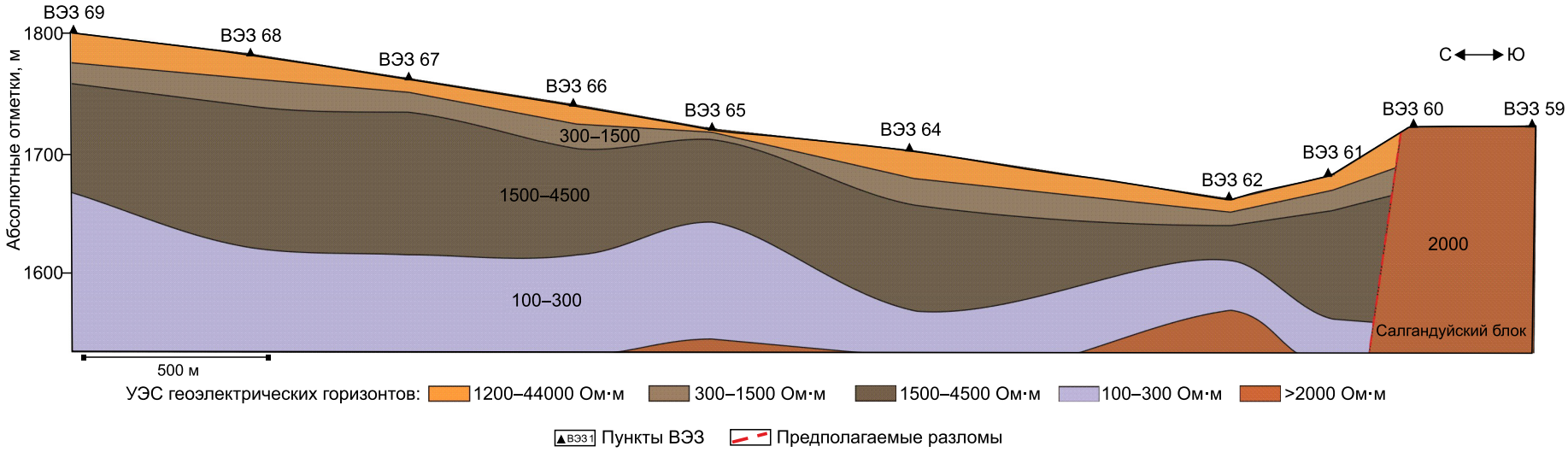

Рис. 5. Геоэлектрический разрез по данным архивных ВЭЗ. Профиль 1.

Fig. 5. Geoelectrical cross section based on the VES archive data. Profile 1.

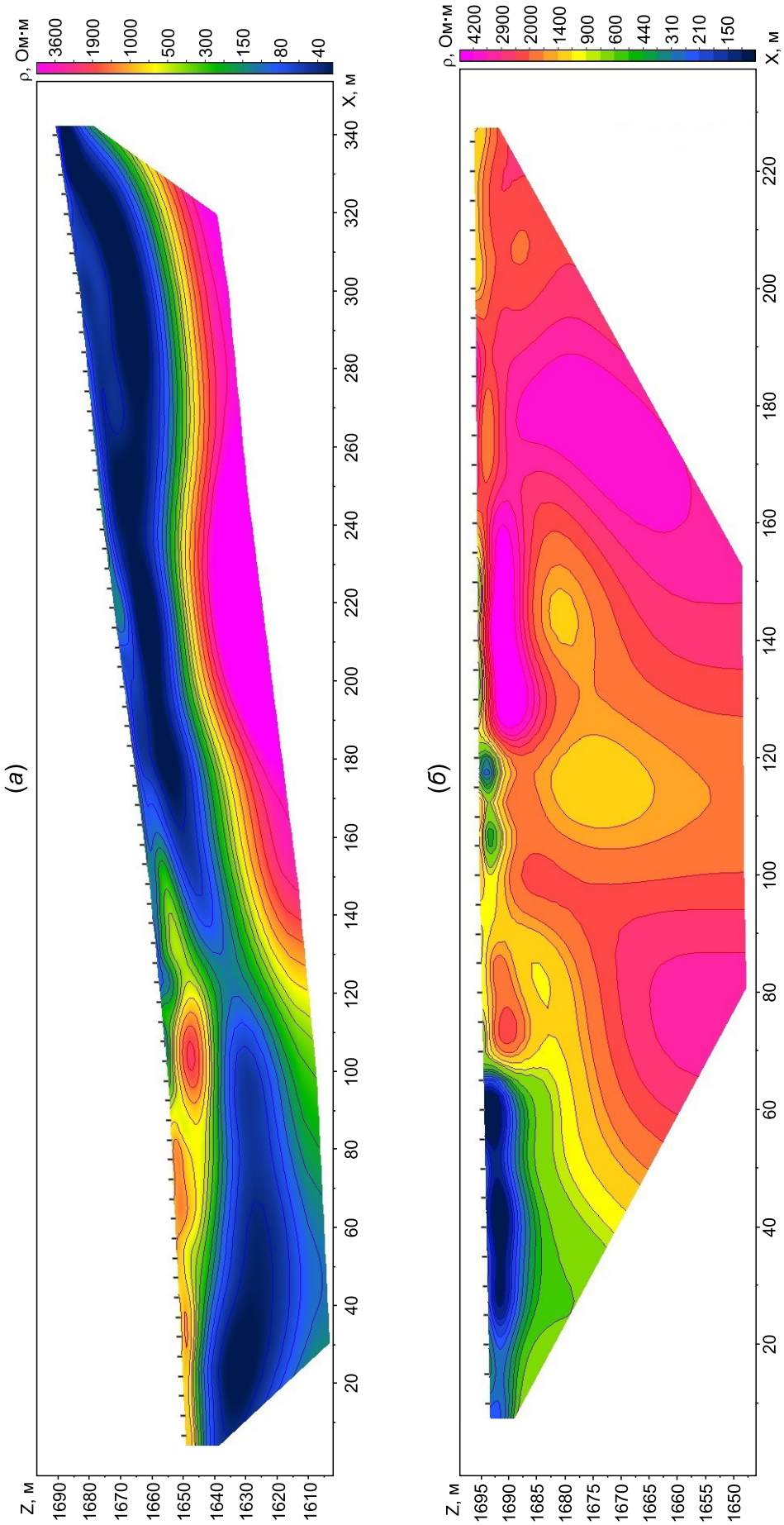

Рис. 6. Геоэлектрические разрезы по данным ЭТ. (*а*) – по профилю ЭТ 6; (*б*) – по профилю ЭТ 3.

Fig. 6. Geoelectrical cross-sections for ERT profiles 6 (*a*) and 3 (*б*).

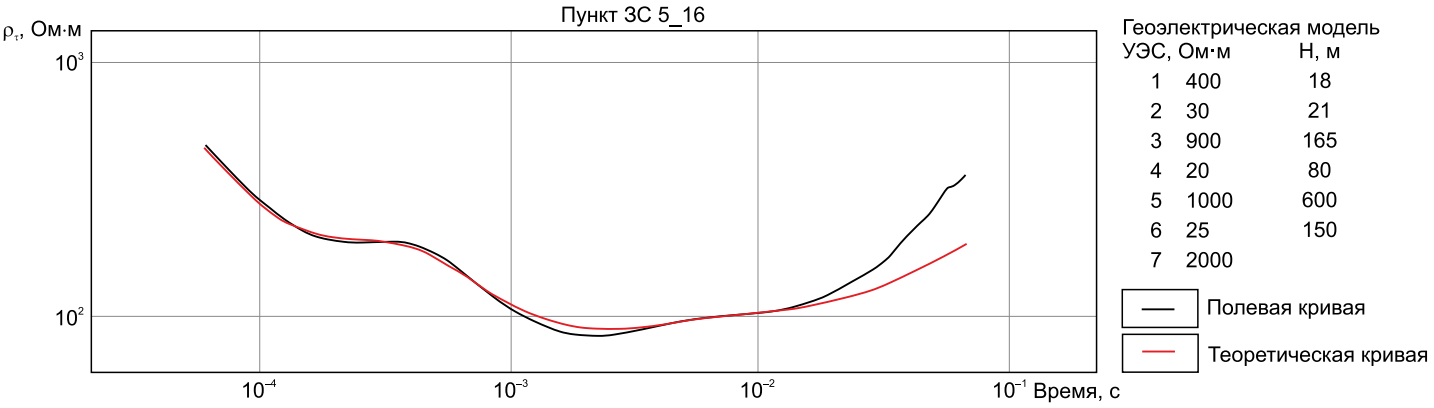

Рис. 7. Кривая ЗС 5_16, геоэлектрическая модель.

Fig. 7. TEM curves 5_16, geoelectrical model.

Профиль 8 (рис. 9, *б*) пересекает впадину с севера на юг, проходя через самый погруженный участок фундамента в Ештыкельском прогибе (пункты 304_11 – 300_11), далее через форберг (ЗС 299_11) и прогиб перед Сукорским массивом (ЗС 102_13). Выделенный форберг ограничен разломами, которые проявляются не только на поверхности (по геологическим данным), но и в фундаменте (по электромагнитным данным). На данном этапе уточнена геоэлектрическая модель в пункте ЗС 300_11 по сравнению с представленной ранее [*Nevedrova et al., 2014; Deev et al., 2013, 2017*].

Построенные по новым данным геоэлектрики разрезы подтверждают вывод о том, что Ештыкельский грабен ограничен с севера и юга разломами, которые предполагались специалистами-геологами при анализе распределения гипоцентров афтершоков Чуйского землетрясения 2003 г. [*Novikov et al., 2008*].

Так как расположение эпицентров землетрясений обычно трассирует активные разломные зоны, был выполнен совместный анализ сейсмологических и геоэлектрических данных. Распределение эпицентров землетрясений, построенное по данным каталога [*Malovichko, 2017*], вынесено на схематичную блоковую модель фундамента южной части Курайской впадины с разломами, выделенными по данным геоэлектрики (рис. 10). Видно, что эпицентры событий попадают в разломные зоны, пересекающие южные прогибы Курайской впадины и тем самым дополнительно подтверждают их существование.

4. Заключение

Предшествующими геоэлектрическими исследованиями были выявлены структурные особенности предгорных прогибов, ограничивающих Курайскую впадину с севера и юга. Это подтверждает гипотезу о том, что в данный временной интервал она развивается как сдвиговый бассейн типа “pull-

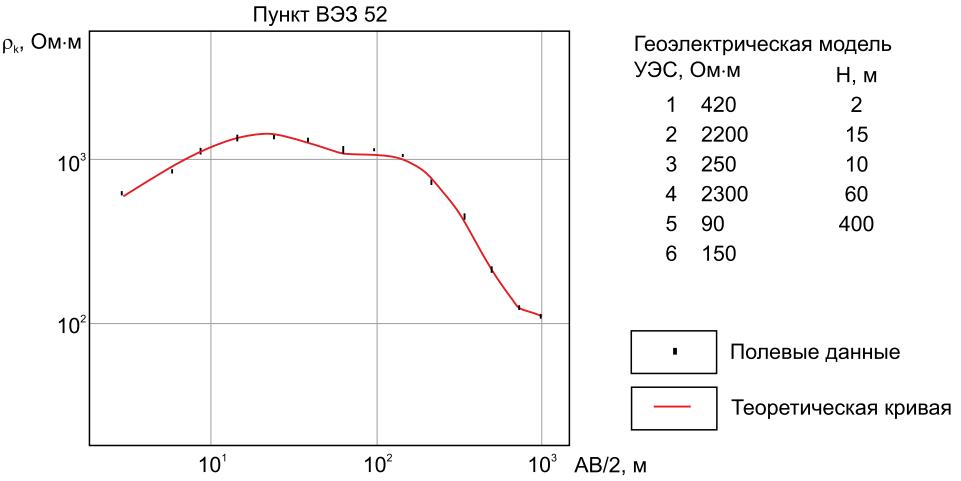

Рис. 8. Кривая ВЭЗ 52, геоэлектрическая модель.

Fig. 8. VES curve 52, geoelectrical model.

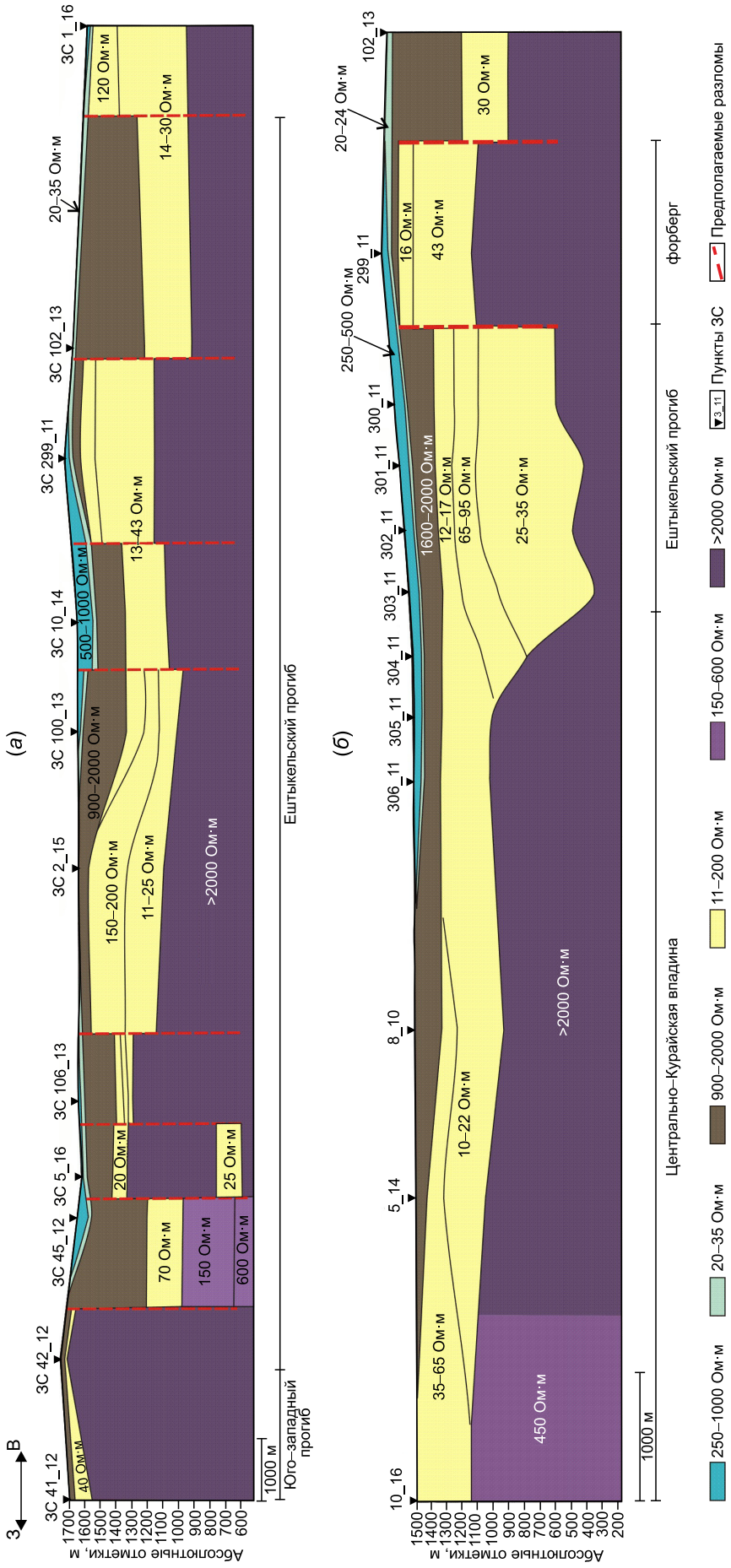

Рис. 9. Геоэлектрические разрезы по профилям 5, 8. (*а*) – профиль 5; (*б*) – профиль 8.

Fig. 9. Geoelectrical cross-sections for profiles 5 (*a*) and 8 (*б*).

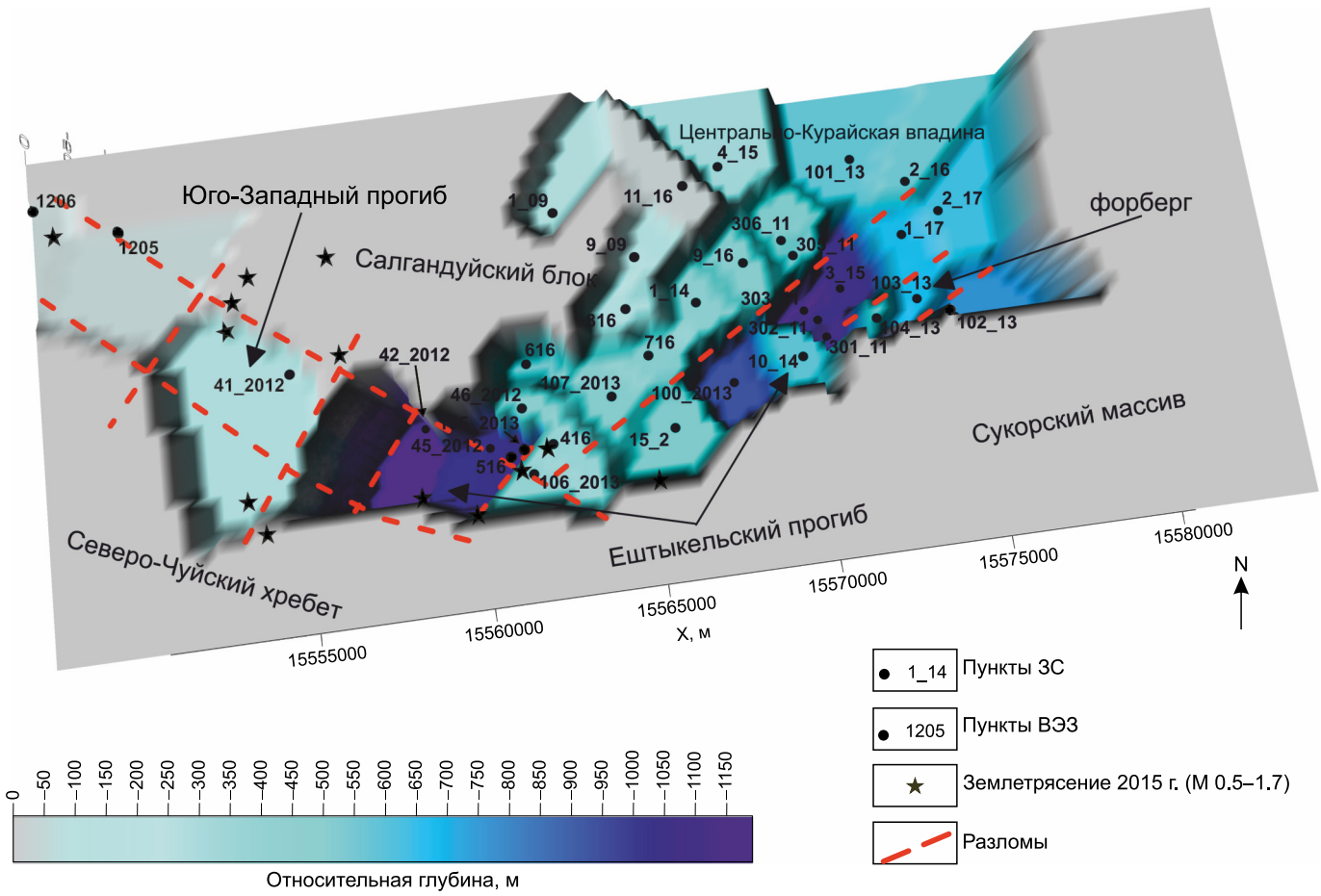

Рис. 10. Блоковая модель фундамента южной части Курайской впадины.

Fig. 10. Block model for the basement of the southern Kurai Basin.

apart" [*Vetrov et al., 2016; Nevedrova et al., 2014; De Grave et al., 2007; Glorie et al., 2012*].

С целью исследования проблемных сложнопостроенных зон Курайской впадины в 2012–2016 гг. был получен значительный объем полевых данных наиболее глубинным методом ЗС, а также были выполнены измерения с помощью методов ВЭЗ и ЭТ. Использованный комплекс методов дает возможность выбора оптимальных моделей, увеличивает достоверность и информативность исследования. По результатам интерпретации согласованных данных ЗС и ВЭЗ не только представлено глубинное строение Ештыкельского прогиба, но и существенно уточнена его структура на юго-востоке, где он отделяется от Северо-Чуйского хребта форберговым поднятием и малоамплитудным предгорным прогибом. По данным новых ВЭЗ получено строение Юго-Западного прогиба, который ранее геофизическими методами не исследовался. Предполагаемые в этом прогибе разломы подтверждаются данными электротомографии.

Для анализа использованы как сейсмологические данные из опубликованных каталогов [*Malovichko, 2017*], так и детальные данные временных станций, которые размещаются в летний период в Чуйско-Курайской зоне в течение 15 лет после Чуйского землетрясения и приведены в публикации [*Emanov et al., 2017*]. Сопоставление полученных результатов геоэлектрики с сейсмологическими данными за 2015 год показало, что часть эпицентров землетрясений приурочены к разрывным нарушениям субмеридионального простирания в Юго-Западном прогибе и широтного в Ештыкельском.

Большинство эпицентров значимых сейсмических событий в настоящее время сосредоточены в Юго-Западном прогибе и характеризуют активность разломных структур, разделяющих разноглубинные блоки. Это может свидетельствовать о новом этапе развития впадины на юго-западе или является просто эпизодом ее длительной кайнозойской истории.

Совместный анализ сейсмологических и электромагнитных данных будет продолжен для прослеживания разломов через центральную часть впадины. Для этой же цели будут рассмотрены дополнительные геологические данные об исторических землетрясениях.

5. Благодарности

Авторы признательны к.г.-м.н. Е.В. Дееву за консультации по геологическим данным. Исследование выполнено при частичной поддержке РФФИ (проекты № 17-05-00654 и 18-05-00389) и проекта ФНИ № 0331-2019-0015 «Реалистичные теоретические модели и программно-методическое обеспечение геоэлектрики гетерогенных геологических сред».

6. Литература / References

Bataleva E.A., Batalev V.Y., 2015. Reflection of fault structures in electromagnetic parameters (for the Central Tien Shan). *Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University* 15 (9), 160–164 (in Russian) [*Баталева Е.А., Баталев В.Ю.* Проявление разломных структур в электромагнитных параметрах (для территории Центрального Тянь-Шаня) // *Вестник Кыргызско-Российского славянского университета*. 2015. Т. 15. № 9. С. 160–164].

De Grave J., Buslov M.M., Van den haute P., Dehandschutter B., Delvaux D., 2007. Meso-Cenozoic evolution of mountain range – intramontane basin systems in the Southern Siberian Altai mountains by apatite fission-track thermochronology. In: O. Lacombe, J. Lavé, F. Roure, J. Vergés (Eds.), Thrust belts and foreland basins. Berlin, Heidelberg, Springer, p. 457–470. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69426-7_24.

Deev E.V., Turova I.V., Borodovskiy A.P., Zolnikov I.D., Oleszczak L., 2017. Unknown large ancient earthquakes along the Kurai fault zone (Gorny Altai): new results of palaeoseismological and archaeoseismological studies. *International Geology Review* 59 (3), 293–310. https://doi.org/10.1080/00206814.2016.1258675.

Deev E.V., Zolnikov I.D., Goltsova S.V., Rusanov G.G., Emanov A.A., 2013. Traces of paleoearthquakes in the Quaternary deposits of intermontane basins in central Gorny Altai. *Russian Geology and Geophysics* 54 (3), 312–323. https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.02.006.

Delvaux D., Cloetingh S., Beekman F., Sokoutis D., Burov E., Buslov M.M., Abdrakhmatov K.E., 2013. Basin evolution in a folding lithosphere: Altai–Sayan and Tien Shan belts in Central Asia. *Tectonophysics* 602, 194–222. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.01.010.

Dobretsov N.L., Buslov M.M., Vasilevsky A.N., Vetrov E.V., Nevedrova N.N., 2016. Cenozoic history of topography in southeastern Gorny Altai: thermochronology and resistivity and gravity records. *Russian Geology and Geophysics* 57 (11), 1525–1534. https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.10.001.

Emanov A.F., Emanov A.A., Leskova E.V., Fateev A.V., 2017. On the change of seismic regime in the Chuya-Kuray zone of the Gorny Altai in 1963–2016. In: GEO-Siberia-2017: The XIII International Scientific Congress. Vol. 3. Siberian State University of Geosystem and Technologies, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Novosibirsk, p. 41–45 (in Russian) [*Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В.* Об изменении сейсмического режима в Чуйско-Курайской зоне Горного Алтая в 1963–2016 гг. // ГЕО-Сибирь-2017: XIII Международный научный конгресс. Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука, 2017. Т. 3. С. 41–45].

Epov V.I., Nevedrova N.N., Antonov E.Yu., 2006. A method of typical distortions of field curves account by the formation of the electromagnetic field obtained in seismically active areas. *Geofizicheskii Vestnik* (6), 8–14 (in Russian) [*Эпов М.И., Неведрова Н.Н., Антонов Е.Ю.* Способ учета характерных искажений полевых кривых становлением электромагнитного поля, полученных в сейсмоактивных районах // *Геофизический вестник*. 2006. № 6. С. 8–14].

Gélis C., Noble M., Cabrera J., Penz S., Chauris H., Cushing E.M., 2016. Ability of high-resolution resistivity tomography to detect fault and fracture zones: application to the Tournemire experimental platform, France. *Pure and Applied Geophysics* 173 (2), 573–589. https://doi.org/10.1007/s00024-015-1110-1.

Glorie S., De Grave J., Buslov M.M., Zhimulev F.I., Elburg M.A., Van den haute P., 2012. Structural control on Meso-Cenozoic tectonic reactivation and denudation in the Siberian Altai: Insights from multi-method thermochronometry. *Tectonophysics* 544–545, 75–92. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.03.035.

Hennig T., Weller A., Moller M., 2008. Object orientated focussing of geoelectrical multielectrode measurements. *Journal of Applied Geophysics* 65 (2), 57–64. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2008.04.007.

Kaminsky A.E., 2001. Zond Software. Available from: http://www.zond-geo.com.

Khabinov O.G., Chalov I.A., Vlasov A.A., Antonov E.Yu., 2009. The system for interpretation of EMS transient electromagnetic sounding data. In: GEO-Siberia – 2009. The V International Scientific Congress. Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, p. 108–113 (in Russian) [*Хабинов О.Г., Чалов И.А., Власов А.А., Антонов Е.Ю.* Система интерпретации данных зондирований методом переходных процессов EMS // ГЕО-Сибирь – 2009: V Международный научный конгресс. Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2009. С. 108–113].

Loke M.H., 2015. Geotomo Software Pty Ltd. Available from: http://www.geotomosoft.com.

Lunina O.V., Gladkov A.S., Novikov I.S., Agatova A.R., Vysotskii E.M., Emanov A.A., 2008. Geometry of the fault zone of the 2003 Ms=7.5 Chuya earthquake and associated stress fields, Gorny Altai. *Tectonophysics* 453 (1–4), 276–294. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.10.010.

Malovichko A.A. (Ed.), 2017. Earthquakes of Russia in 2015. FRC GS RAS, Obninsk, 212 p (in Russian) [Землетрясения России в 2015 г. / Ред. А.А. Маловичко. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. 212 с.].

Morelli G., LaBrecque D.J., 1996. Advances in ERT inverse modeling. *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics* 1 (2), 171–186.

Nevedrova N.N., Deev E.V., Ponomarev P.V., 2017. Fault structures and their geoelectric parameters in the epicentral zone of the 27 September 2003 Chuya earthquake (Gorny Altai) from resistivity data. *Russian Geology and Geophysics* 58 (1), 123–132. https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.01.021.

Nevedrova N.N., Deev E.V., Sanchaa A.M., 2014. Deep composition and characteristics of the marginal structures of the Kurai basin (Gorny Altai), from data of geoelectric studies with a controlled source. *Russian Geology and Geophysics* 55 (1), 98–107. https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.12.008.

Nevedrova N.N., Epov M.I., Antonov E.Yu., Dashevskiy Yu.A., Duchkov A.D., 2001. Deep structure of the Chuya basin (Gorniy Altai), as imaged by TEM soundings. *Geologiya i Geofizika* (*Russian Geology and Geophysics*) 42 (9), 1399–1416.

Nevedrova N.N., Sanchaa A.M., Surodina I.V., 2014. Characteristics of fault structures according to electrical sounding data. Fault modeling. *Geofizicheskie Issledovaniya* 15 (3), 83–94 (in Russian) [*Неведрова Н.Н., Санчаа А.М., Суродина И.В.* Характеристики разломных структур по данным электрических зондирований. Моделирование разломов // *Геофизические исследования.* 2014. Т. 15. № 3. С. 83–94].

Novikov I.S., Emanov A.A., Leskova E.V., Batalev V.Yu., Rybin A.K., Bataleva E.A., 2008. The system of neotectonic faults in southeastern Altai: orientations and geometry of motion. *Russian Geology and Geophysics* 49 (11), 859–867. https://doi.org/10.1016/j.rgg.2008.04.005.

Novikov I.S., Mamedov G.M., Cherkas O.V., Dyad'kov P.G., Kozlova M.P., Mikheeva A.V., 2014. Recent tectonics and seismicity of the western Altai-Sayan mountainous region, Junggar basin, and Chinese Tien Shan. *Russian Geology and Geophysics* 55 (12), 1441–1451. https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.11.008.

Novikov I.S., Pospeeva E.V., 2017. Neotectonics of eastern Gorny Altai: Evidence from magnetotelluric data. *Russian Geology and Geophysics* 58 (7), 769–777. https://doi.org/10.1016/j.rgg.2017.06.001.

Perrone A., Lapenna V., Piscitelli S., 2014. Electrical resistivity tomography technique for landslide investigation: a review. *Earth-Science Reviews* 135, 65–82. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.04.002.

Rusanov G.G., Vazhov S.V., 2014. Reference Cross-Sections of the Quaternary Deposits of Gorny Altai (Bele, Kubadru, and Chagan). Altai State Academy of Education, Biysk, 163 p. (in Russian) [*Русанов Г.Г., Важов С.В.* Опорные разрезы четвертичных отложений Горного Алтая (Беле, Кубадру, Чаган). Бийск: Алтайская государственная академия образования, 2014. 163 с.].

Vetrov E.V., Buslov M.M., De Grave J., 2016. Evolution of tectonic events and topography in southeastern Gorny Altai in the Late Mesozoic-Cenozoic (data from apatite fission track thermochronology). *Russian Geology and Geophysics* 57 (1), 95–110. https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.01.007.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT AUTHORS

Айдиса Михайловна Санчаа
канд. геол.-мин. наук, в.н.с., зав. лабораторией

Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН
630090, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, Россия

e-mail: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru
https://orcid.org/0000-0002-4523-6661

Aydisa M. Sanchaa
Candidate of Geology and Mineralogy,
Lead Researcher, Head of Laboratory

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics,
Siberian Branch of RAS
3 Academician Koptug ave., Novosibirsk 630090, Russia

Нина Николаевна Неведрова
докт. геол.-мин. наук, г.н.с.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН
630090, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, Россия

e-mail: NevedrovaNN@ipgg.nsc.ru
https://orcid.org/0000-0003-3210-5248

Nina N. Nevedrova
Doctor of Geology and Mineralogy, Chief Researcher

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics,
Siberian Branch of RAS
3 Academician Koptug ave., Novosibirsk 630090, Russia

Петр Валерьевич Пономарев
инженер

Сейсмологический филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН»
630090, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, Россия

e-mail: petruss@bk.ru
http://orcid.org/0000-0003-4715-2004

Petr V. Ponomarev
Engineer

Seismological Branch of Federal Research Center 'Geophysical Survey of RAS'
3 Academician Koptug ave., Novosibirsk 630090, Russia