



СТРОЕНИЕ УЙМОНСКОЙ ВПАДИНЫ ГОРНОГО АЛТАЯ ПО ДАННЫМ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ

А. М. Санчаа¹, Н. Н. Неведрова¹, С. М. Бабушкин²

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия; ²Сейсмологический филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Новосибирск, Россия

Охарактеризовано глубинное строение малоизученной Уймонской впадины Горного Алтая по данным электромагнитного зондирования становлением поля. Исследования актуальны в связи с высокой сейсмической опасностью территории, а также для поисков и разведки прогнозируемых здесь полезных ископаемых. Для построения геоэлектрических моделей привлечены данные за несколько лет измерений, в течение которых выполнено более 60 зондирований. В центральной части впадины по электромагнитным данным пробурена первая глубокая скважина до глубины 400 м, вскрывшая разрез неоген-четвертичных отложений. Разрез скважины хорошо согласуется с геоэлектрическими моделями. На данном этапе интерпретация выполнена с использованием компьютерных систем в рамках горизонтально-слоистой модели. Результаты представлены в виде разрезов и трехмерных визуализаций, наглядно отражающих строение депрессии.

Ключевые слова: Горный Алтай, Уймонская впадина, ЗСБ, геоэлектрические модели, сейсмоопасный район.

THE STRUCTURE OF THE UIMON DEPRESSION OF GORNY ALTAI ACCORDING TO THE DATA OF NON-STATIONARY ELECTROMAGNETIC SOUNDING

A. M. Sanchaa¹, N. N. Nevedrova¹, S. M. Babushkin²

¹Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia; ²Seismological Branch of the Federal Research Center «Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences», Novosibirsk, Russia

The article presents the deep structure of the poorly studied Uimon depression in Gorny Altai according to the data of transient electromagnetic sounding. The studies are relevant due to the high seismic hazard of the area, and are also in demand for prospecting and exploration of minerals predicted there. In order to construct geoelectrical models, data from several years of measurements were used, during which more than sixty soundings were performed. According to the electromagnetic data, the first deep well was drilled to a depth of 400 m in the central part of the depression, which uncovered a Neogene–Quaternary section. The well column is in good agreement with the geoelectrical models. At that stage, the interpretation was performed using computer systems within the framework of a horizontally layered model. The interpretation results are presented in the form of sections and three-dimensional visualizations that clearly reflect the structure of the depression.

Keywords: Gorny Altai, Uimon depression, TEMS, geoelectrical models, earthquake-prone area.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-3-66-76

Комплекс *электромагнитных методов с контролируемым источником* – нестационарное электромагнитное зондирование в нескольких модификациях (ЗСБ), вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электротомография (ЭТ) – успешно используется для выяснения и уточнения строения межгорных впадин в разных регионах России [5–7, 10, 16].

Исследования этим комплексом в Уймонской котловине, начатые в 2011 г., были существенно дополнены в 2012 и 2017 гг. Самый большой объем электроразведочных работ методом электромагнитного зондирования становлением поля с «соосными» установками выполнен в 2019 г., что позволило получить относительно равномерную сеть наблюдений на территории впадины и использовать эти данные для построения ее глубинной модели.

В местах неглубокого залегания фундамента, в частности в зоне перехода от горного обрамле-

ния к осадкам, заполняющим котловину, с целью выявления и характеристики разломных нарушений был привлечен метод ВЭЗ, а также электротомография, имеющая наиболее высокую детальность. Обработка этих данных пока не закончена. В статье представлены результаты интерпретации данных ЗСБ, отражающие глубинное строение впадины. Интерпретация выполнена с использованием программных комплексов моделирования и инверсии в рамках горизонтально-слоистой модели.

Из всех крупных впадин Горного Алтая Уймонская котловина наименее изучена. До выполнения электроразведочных работ не было достоверных сведений о мощности, возрасте, вещественном составе выполняющих ее кайнозойских отложений. Основные задачи нашего исследования – выяснение геоэлектрического строения осадочного чехла и кровли фундамента. Уже имеются данные, полученные на территории Уймонской впадины. На ос-



нове анализа геоэлектрических материалов в 2013 г. практически в центре котловины была пробурена первая глубокая скважина, вскрывшая разрез неоген-четвертичных отложений до глубины 400 м. В нижнем интервале (340–400 м) были идентифицированы алевроито-глинистые образования туерыкской свиты [9]. По данным ЗСБ глубина до фундамента в районе скважины составляет 550 м, при этом мощность проводящего горизонта, залегающего на фундаменте (210 м), частично соотносится с туерыкской свитой. Не вскрытый скважиной нижний низкоомный интервал разреза дает возможность предположить, что заложение впадины произошло, скорее всего, в палеоцене, и, следовательно, история ее осадконакопления сопоставима с другими крупными впадинами Горного Алтая – Чуйской и Курайской. Все полученные ранее сведения привлечены в ходе интерпретации и анализа электромагнитных данных.

Первый этап обработки полевого материала показал, что он отличается высоким качеством, а геоэлектрические модели отражают неоднородное блоковое строение кайнозойских отложений. Мощность осадков в разных отдельных блоках колеблется от 200 до 1000 м и более. Амплитуды межблоковых смещений достигают сотен метров.

Актуальность и важность исследований в Уймонской впадине не вызывает сомнений, так как они необходимы для целого ряда геологических дисциплин: геодинамических построений, сейсмораионирования, сейсmobезопасности, востребованы для поиска полезных ископаемых. В частности, здесь прогнозируется значительная по объему погребенная золотоносная россыпь [1]. Имеются предпосылки для разведки других рудных и нерудных месторождений.

Геолого-геофизические данные

Уймонская котловина приурочена к долине р. Катунь и протягивается вдоль реки более чем на 35 км при относительно небольшой ширине (10–12 км). Впадину ограничивают горные хребты: Теректинский с севера и Катунский с юга. Высотные отметки северного борта впадины составляют 1100–1150 м, в то время как южный борт находится на отметках 800–900 м, поэтому в целом днище котловины погружается в южном направлении.

Структура и многочисленные разломы горного обрамления впадины, безусловно, влияют на ее глубинное строение. Теректинский хребет северо-западного простирания с высотами до 2900 м характеризуется блоковой структурой, пересечен разветвленной речной сетью и неотектоническими разломами с преобладающим северным и северо-восточным простиранием. По геологическим наблюдениям на границе северного горного обрамления выявлены смещения по разрывным нарушениям субширотного и северо-западного простирания, которые свидетельствуют о надвигании Терек-

тинского хребта на Уймонскую котловину. Кроме того, по данным неглубоких скважин (до 80–90 м) у пос. Маргала под метаморфическими сланцами вскрыты неогеновые глины. Характер этих отложений свидетельствует о наличии крутопадающего взброса вдоль подножия Теректинского хребта, отделенного от котловины активным ступенчатым Южно-Теректинским разломом. Блоковая структура южного ограничения впадины также создается разнонаправленными разломами Катунского хребта с высотами от 2800 до 4500 м [8, 14].

Исследуемая территория имеет длительную историю геологического развития. В разрезе присутствуют отложения протерозоя, синия, нижнего и среднего палеозоя, кайнозоя. Основание Уймонской впадины представлено теректинской свитой (метаморфические сланцы, песчаники), перекрытой баратальской свитой (вулканогенные метоморфизованные отложения) предположительно синийского возраста. В западной и центральной частях впадины фрагменты анти- и синклиналей баратальской свиты (S_{nbr}), выходят на дневную поверхность. Кроме того, выявлены голоценовые отложения, а пестро окрашенные глины в районе с. Баштала отнесены к неогену. Район много раз испытывал погружение и воздымание. В течение среднего палеозоя произошло существенное поднятие с образованием серии разломов, связанных с интрузиями гранитоидов и габброидов с полиметаллическим оруденением. Развитие района в мезозое и кайнозое в континентальных условиях привело к нивелированию складчатости к сводово-глыбовым поднятиям. Наибольшее воздымание отмечено на границе неогена и четвертичного периода. На поверхности древнего рельефа развивалась кора выветривания, которая в олигоцене перемывалась и накапливалась в Уймонской впадине. Две эпохи оледенения привели к образованию ледниковых озер. В прибортовых частях котловины обнаружены отложения ледниково-подпрудного озера и гигантского гляциального паводка во время спуска последнего из ледниковых озер [3, 11].

По гидрогеологическим данным Уймонская впадина принадлежит к межгорным артезианским бассейнам с преобладанием пресных вод с небольшой минерализацией, но встречаются и соленые воды, в связи с чем в пониженных местах развиваются лугово-солончаковые почвы. В верхней части разреза характерно наличие островной многолетней мерзлоты, а вдоль долины р. Катунь наблюдаются сквозные талики. Во впадине наблюдаются разнообразные криогенные процессы, особенно солифлюкция и морозобойное растрескивание, а также заболачивание при деградации мерзлых отложений [2].

Район относится к территориям с высокой степенью сейсмической опасности, что обусловлено присутствием сейсмогенерирующих разломов. Согласно современному сейсмическому районированию в юго-восточной и центральной частях Горного

Алтая выделены разломы, с которыми могут быть связаны землетрясения с магнитудами 7,0–7,5. Современная активность в зоне Южно-Теректинского разлома проявляется, например, в наличии цепочек низкодебитных источников, образующих заболоченные западины на склоне Теректинского хребта. Несмотря на то что непосредственно на территории Уймонской впадины за инструментальный период наблюдений значимых землетрясений практически не происходило, в горном обрамлении регулярно регистрируются события 6–7-го энергетического класса. Примером может служить Тюнгурское землетрясение (18.09.1997) с эпицентром в районе г. Белуха с магнитудой 4,5 [12]. Учитывая обнаруженные проявления палеоземлетрясений на рубеже 14–16 тыс. лет назад с $M \geq 7$ в зоне Южно-Теректинского разлома, а также следы еще более древних землетрясений в отложениях этапа спуска позднеплейстоценового ледниково-подпрудного озера (90–100 тыс. лет назад) с магнитудами не менее 5–5,5 [4], в Уймонской впадине не только существует потенциальная угроза разрушительных землетрясений, но и велика вероятность перегоразживания рек с образованием подпрудных озер с неустойчивыми плотинами [11].

Этапы исследования и характеристика полевых данных ЗСБ

Инициативные полевые исследования авторов статьи комплексом электромагнитных методов в Уймонской впадине Горного Алтая выполнялись в несколько этапов: в 2011–2012 и 2017, 2019 гг. Пункты и профили электромагнитных наблюдений за разные годы показаны на рис. 1.

Этап 2011 г. был связан с разработкой проекта буровых работ на территории впадины. Геофизических данных о ее глубинном строении было крайне мало, и первые электроразведочные работы комплексом методов ЗСБ, ВЭЗ, ЭТ были выполнены по двум проектируемым буровым профилям (широтному и меридиональному), которые пересекались примерно в центре впадины. В результате интерпретации полученных полевых данных ЗСБ были получены первые сведения о строении осадочного чехла. На основании данных геоэлектрики был предложен участок, подходящий для бурения глубокой скважины в районе ПК 3 в западной части впадины.

В 2013 г. с целью изучения и расчленения кайнозойских отложений впадины специалистами ОАО «Горно-Алтайская экспедиция» на участке Усть-Коксинской площади на основе анализа материалов электроразведки о строении Уймонской котловины была пробурена скв. 1 [8], устье которой разместили на 200 м восточнее ПК 3. По данным ЗСБ в ПК 3 была получена относительно небольшая мощность осадочного чехла (550 м), а забой пробуренной вблизи скважины достиг 400 м. Из геофизических исследований были проведены ГК, КС, ПС. Впервые вскрыт

разрез неоген-четвертичных отложений впадины. Возраст отложений подтвержден палеонтологическими данными (фауна остракод, споры и пыльца) (см. таблицу).

Опираясь на полученные данные, можно предполагать, что геологическое развитие и осадконакопление в крупных впадинах Горного Алтая – Чуйской, Курайской и Уймонской – происходило практически одновременно [9].

На рис. 2 показаны кривая ПК 3 (2011 г.) и геоэлектрическая модель в результате инверсии полевых данных. Сопоставление скважинных и электромагнитных данных, полученных на небольшом расстоянии от скважины, свидетельствует об их хорошем согласовании.

В разрезе скважины выделяется маломощный (23 м) приповерхностный горизонт. В модели по данным ЗСБ присутствуют два тонких слоя общей мощностью 40 м. Различия толщин приповерхностных слоев разреза, скорее всего, связаны с расстоянием 200 м от скважины до пункта зондирования, поскольку их неоднородный литологический состав и неустойчивая мощность могут существенно влиять на геоэлектрические характеристики. Далее в разрезе скважины присутствуют три слоя с преобладающим содержанием валуников и галечников, галечно-гравийного материала общей мощностью 316 м, что соответствует третьему горизонту геоэлектрической модели с высокими значениями УЭС (2000 Ом·м) и толщиной 305 м. Таким образом, глубина до кровли алевроито-глинистых отложений озерной туерыкской свиты по электроразведочным данным составляет 345 м, а УЭС – 28 Ом·м. Скважиной эти отложения вскрыты на отметке немногим более 339 м, через 60 м скважина была в них остановлена.

Последующие электроразведочные работы 2012, 2017 и особенно 2019 г. позволили создать достаточно плотную сеть наблюдений методом ЗСБ на территории Уймонской впадины. В 2019 г. измерения выполнены в 15 пунктах. На обзорной карте показано размещение пунктов и профилей электротомографии зондирований за все годы полевых работ (см. рис. 1).

Весь объем полученных полевых данных ЗСБ обработан и проинтерпретирован с помощью интерактивных компьютерных систем интерпретации и математического моделирования нестационарных электромагнитных полей в рамках горизонтально-слоистой среды. В ходе работы были использованы две автоматизированные системы: универсальная диалоговая система для работы с данными электроразведки ЭРА и представляющая собой ее развитие и расширение для современных компьютерных средств интерпретационная система EMS [13, 15].

Предшествующий анализ данных ЗСБ за 2011–2012 гг. (сопоставление кривых для соосной и разнесенной установок) показал возможность использования горизонтально-слоистой модели для

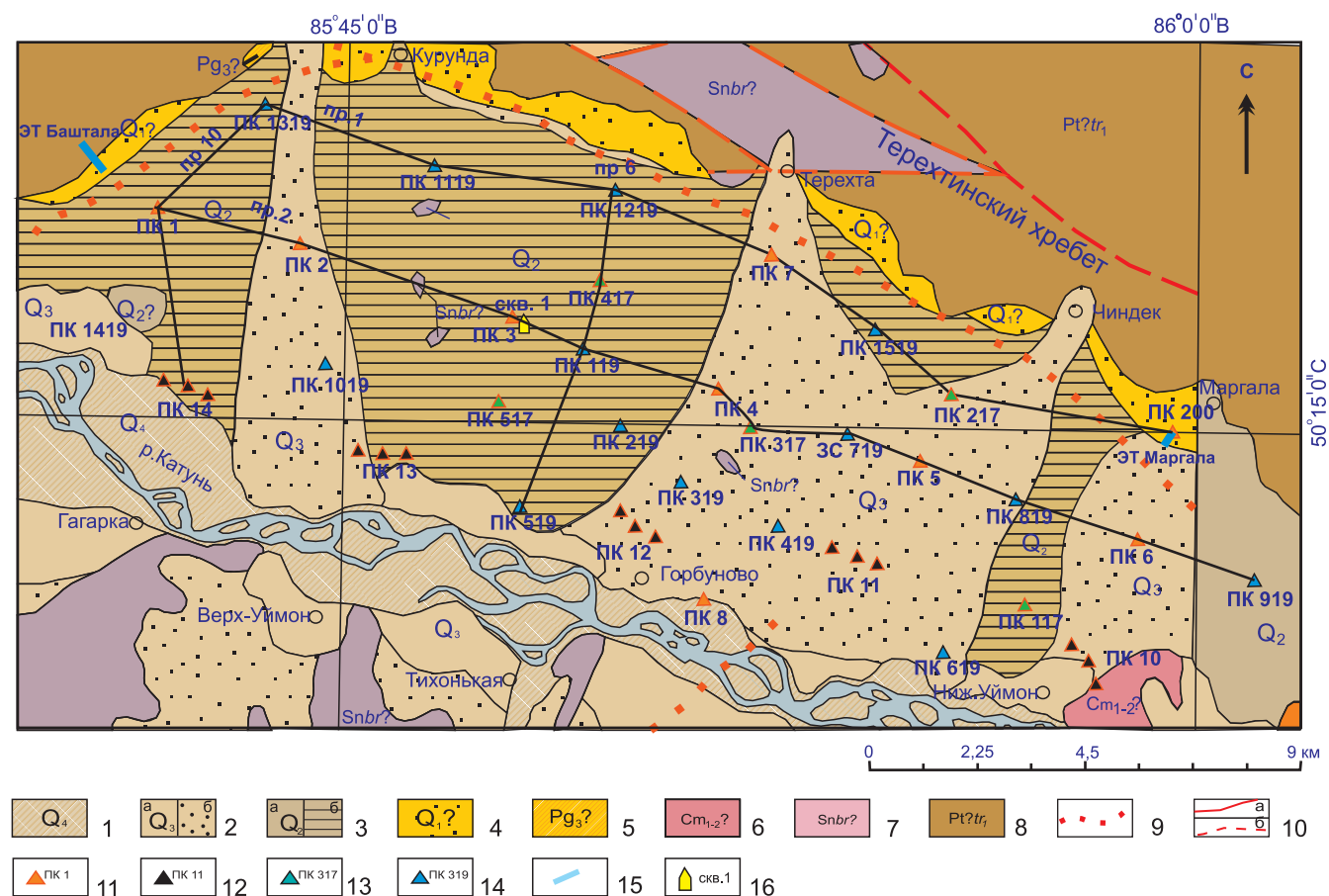


Рис. 1. Пункты измерения ЗСБ и профили ЭГ на геологической карте Уймонской впадины Горного Алтая

1–4 – четвертичная система: 1 – современный отдел (аллювиальные галечники и пески), 2 – верхний отдел (ледниковые валунники и суглинки, водно-ледниковые галечники, аллювиальные галечники и пески, пролювиальные галечники, озерные галечники и гравийные суглинки: а – речные, б – делювиально-пролювиальные), 3 – средний отдел (ледниковые валунники, водно-ледниковые галечники и глины, аллювиальные галечники, пески и глины, озерные галечники, суглинки, пески: а – речные б – озерно-болотные), 4 – нижний отдел (?) (делювиально-пролювиальные суглинки, глины, пески); 5 – палеогеновая система, олигоцен (?) (глины); 6 – кембрийская система, нижний – средний отделы (?) (метаморфизованные порфириды, диабазовые порфириды, вариолиты и их туфы, филлиты, алевриты, песчаники, кремнисто-глинистые сланцы); 7 – синийский комплекс, баратальская (?) свита (метаморфизованные диабазы, порфириды и их туфы, кварц-полевошпатовые породы, метаморфизованные песчаники, метаморфизованные сланцы, мраморы, кварциты); 8 – протерозойская группа (?), терехтинская свита, нижняя подсвита (метаморфизованные сланцы, сильно метаморфизованные песчаники, мраморы); 9 – линии тектонического контакта, предполагаемые под кайнозойскими отложениями; 10 – тектонические контакты: а – достоверные; б – предполагаемые; 11–14 – пункты измерений ЗСБ: 11 – 2011 г., 12 – 2012 г., 13 – 2017 г., 14 – 2019 г.; 15 – профили электротомографии; 16 – скважина

Геологический разрез скв. 1

Описание пород	Индекс	Глубина подошвы слоя, м	Мощность слоя, м
Озерно-ледниковые (?) отложения (переслаивание глин, галечников, песков)	IgQ _{III}	23	23
Ледниковые, флювиогляциальные и аллювиальные (?) отложения нерасчлененные (переслаивание валунного галечника, гравия, валунника, песка)	g, f, aQ _{II}	207	184
Аллювиальные и пролювиальные (?) отложения башкауской свиты (переслаивание гравия, валунника, валунного галечника, песка, галечника)	a, pQ _I bs	297	90
Озерно-аллювиальные (?) отложения бекенской свиты: (переслаивание глины, галечника, песка галечно-гравийного)	IaQ _b bk	339	42
Озерные отложения туерьской свиты (алеврит, глина)	N ₁₋₂ tr	400	61

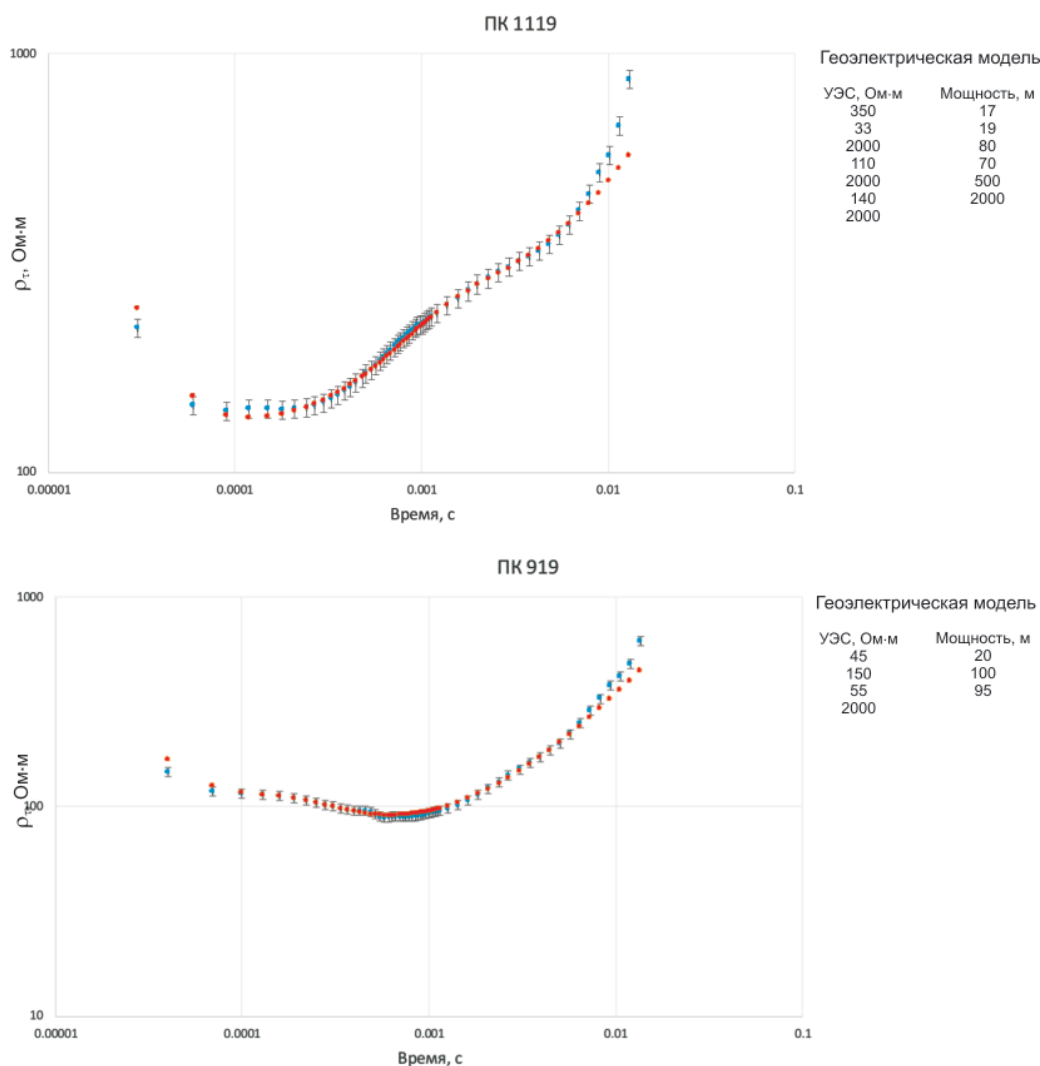
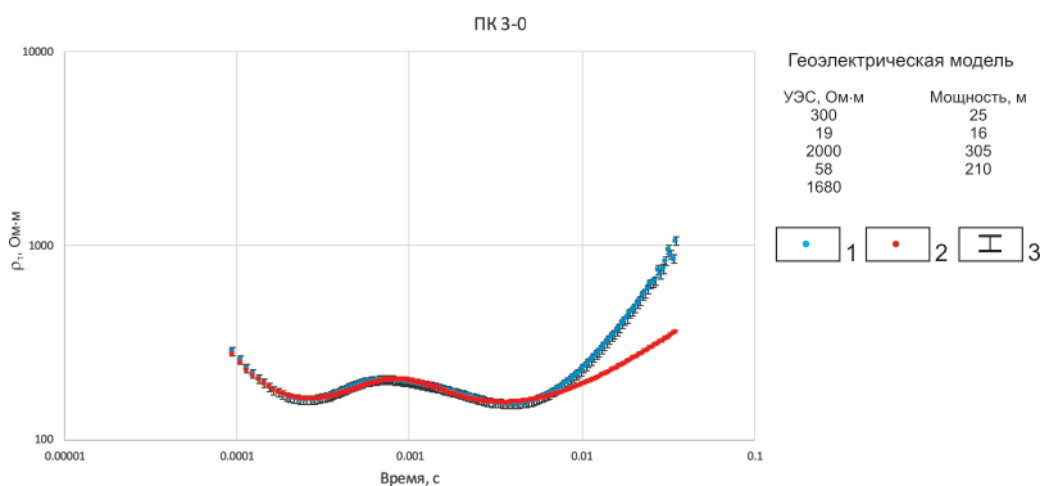


Рис. 3. Кривые ЗСБ и геоэлектрические модели (2019 г.) для Уймонской впадины

Усл. обозн. см. на рис. 2

интерпретации. Кроме того, установлено, что для построения реалистичных геоэлектрических моделей Уймонской депрессии предпочтение следует отдавать данным с соосными петлями, так как они наименее искажены из-за высокой локальности выбранной установки. В 2017 и 2019 гг. зондирования выполнены с использованием только соосных установок. Размеры генераторного и измерительного контуров составляли 200×200 м и 100×100 м соответственно, что позволило определить глубины до

фундамента впадины практически для всех зондирований.

Получено несколько типов кривых ЗСБ, интерпретация которых отражает крайне сложное строение Уймонской депрессии. Вначале рассмотрим характерные кривые 2019 г., модели для которых практически соответствуют горизонтально-слоистой среде. На рис. 3 показаны ворота 5%-ной погрешности полевых измерений. Полевые данные только на самых поздних временах не совпадают

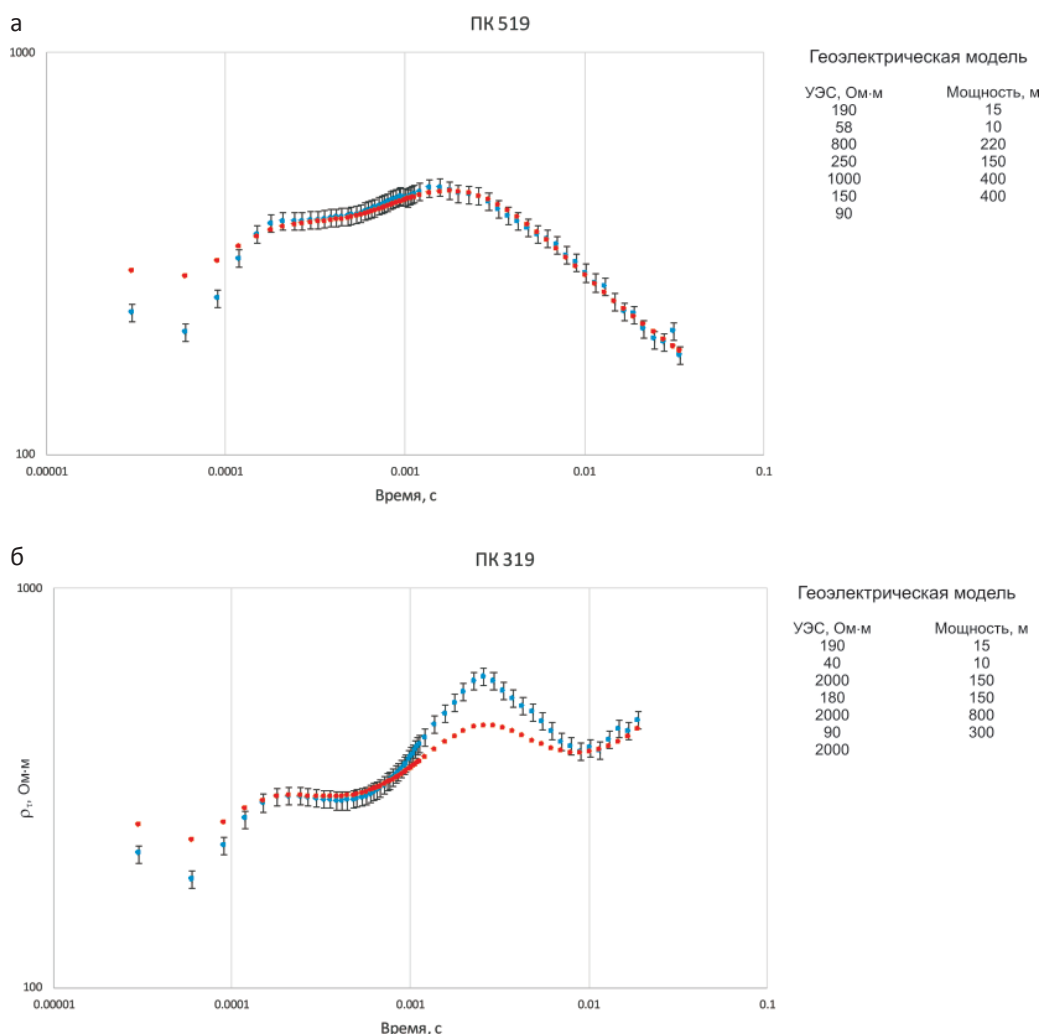


Рис. 4. Кривые ЗСБ и геoeлектрические модели за 2019 г. в Уймонской впадине

Усл. обозн. см. на рис. 2

с теоретическими кривыми и позволяют определить все геoeлектрические параметры разреза. Пункты зондирования расположены в разных структурных элементах впадины. Геoeлектрические модели получены в результате одномерной инверсии полевых данных.

Модель ПК 1119 характеризует строение одного из погруженных блоков со значительной мощностью осадочной толщи (900 м). Пункт зондирования расположен на северо-западе впадины в 2,5 км от Южно-Теректинской разломной зоны. По данным ПК 919 мощность осадков составляет всего около 200 м, так как этот пункт находится в восточном замыкании впадины, примерно в 1 км от выходов коренных пород в приподнятом блоке фундамента.

Обратимся к кривым зондирования, при интерпретации которых возникают проблемы с использованием горизонтально-слоистой модели (рис. 4, а, б). По данным ПК 519 суммарную мощность осадочных слоев оценить не удастся, поскольку кривая зондирования имеет ниспадающую правую ветвь, характеризующую пониженное сопротивление основания данного разреза (см. рис. 4, а). Пункт 519 расположен в южной части впадины, предположительно в зоне влияния крупного субмеридионального разлома, отделяющего наиболее

погруженные восточные блоки от западной части впадины с меньшими глубинами до фундамента.

Полевая кривая для ПК 319 достаточно сильно искажена в области максимума, поскольку пикет расположен восточнее ПК 519 также в зоне влияния упомянутого разлома над наиболее погруженным блоком фундамента. Мощность осадков с переслаиванием нескольких проводящих и высокоомных горизонтов в этом блоке оценивается в 1400 м. Подобные искажения могут быть связаны, скорее всего, с присутствием многолетнемерзлых пород в высокоомных горизонтах в виде линз неправильной формы.

Обсуждение результатов интерпретации данных ЗСБ

Вначале рассмотрим геoeлектрические разрезы по данным ЗСБ, построенные по разным направлениям на территории Уймонской впадины в результате геолого-геофизической интерпретации. В ходе работы использованы все имеющиеся полевые данные за разные годы, а также геологические материалы, в том числе сведения по глубокой скв. 1. Полученный четырехслойный разрез с высокоомным основанием (фундаментом) содержит три осадочных горизонта. Верхний, крайне неоднородный

по литологическому составу горизонт, содержащий один-два тонких слоя, включает верхнечетвертичные отложения. Во второй мощный горизонт входят горные породы четвертичной системы, башкауской и бекенской свит с преобладанием гравийно-галечного материала. Он может содержать несколько слоев с разным сопротивлением. Толщина этого высокоомного горизонта существенно изменяется по простиранию профиля. Третий горизонт в целом имеет меньшую мощность по сравнению со вторым и представлен песчано-глинистыми палеоген-неогеновыми отложениями с наиболее низким УЭС.

Сложную структуру впадины наглядно отражают разрезы по субширотным профилям. Профиль 1 проходит вдоль северного борта впадины на рас-

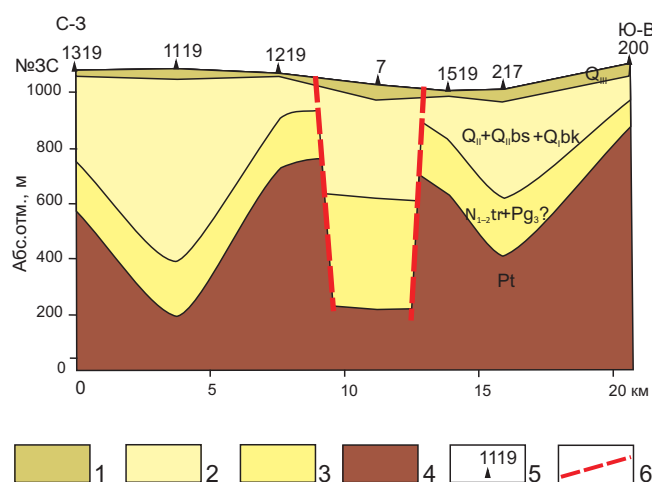


Рис. 5. Геоэлектрический разрез по субширотному профилю 1 вдоль северного борта Уймонской впадины
1 – ВЧР (верхнечетвертичные отложения); 2–4 – УЭС: 2 – 680–2000 Ом·м, четвертичные (гравийно-галечниковые) отложения, башкауская, бекенская свиты; 3 – 20–220 Ом·м, палеоген-неогеновые (песчано-глинистые) отложения, 4 – больше 2000 Ом·м, протерозойский фундамент; 5 – пункты ЗСБ; 6 – предполагаемые разломы

стоянии примерно 2 км от Теректинского хребта (рис. 5). На разрезе наблюдается чередование поруженных и приподнятых блоков, показаны предполагаемые разломы.

Профиль 2 пересекает центральную часть впадины с северо-запада на юго-восток и проходит через глубокую скв. 1. Разрез отражает наиболее сложные структурные элементы (рис. 6). Между пунктами 2 и 3 на дневной поверхности наблюдается выход эффузивных пород предположительно синийского комплекса баратальской свиты. На данном этапе исследования, учитывая достаточно большое расстояние между пунктами, невозможно определить углы падения этой свиты и достоверно оконтурить ее конфигурацию. Для определения

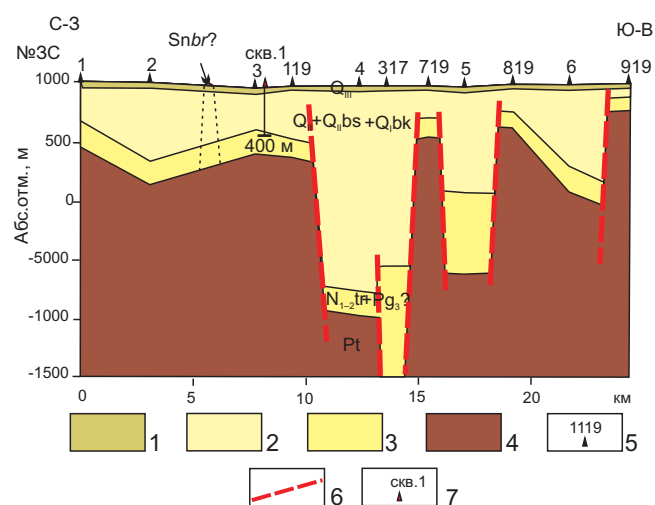


Рис. 6. Субширотный разрез по профилю 2 через центральную часть Уймонской впадины

1 – ВЧР (верхнечетвертичные отложения), 2–4 – УЭС: 2 – 680–2000 Ом·м, четвертичные (гравийно-галечниковые) отложения, башкауская, бекенская свиты, 3 – 20–220 Ом·м, палеоген-неогеновые (песчано-глинистые) отложения, 4 – больше 2000 Ом·м, протерозойский фундамент; 5 – пункты ЗСБ; 6 – предполагаемые разломы; 7 – скважина, ее номер и глубина

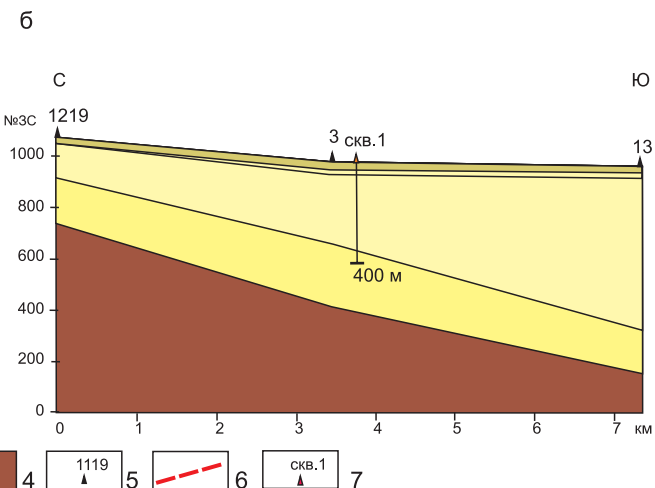
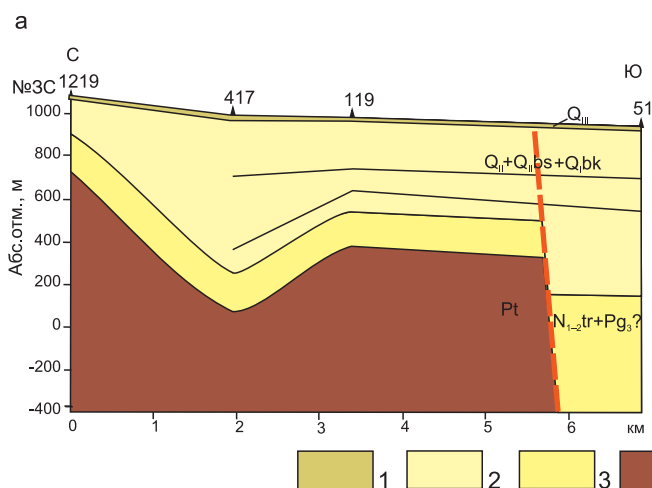


Рис. 7. Геоэлектрические разрезы Уймонской впадины по меридиональным профилям 6 (а) и 8 (б)
Усл. обозн. см. на рис. 6

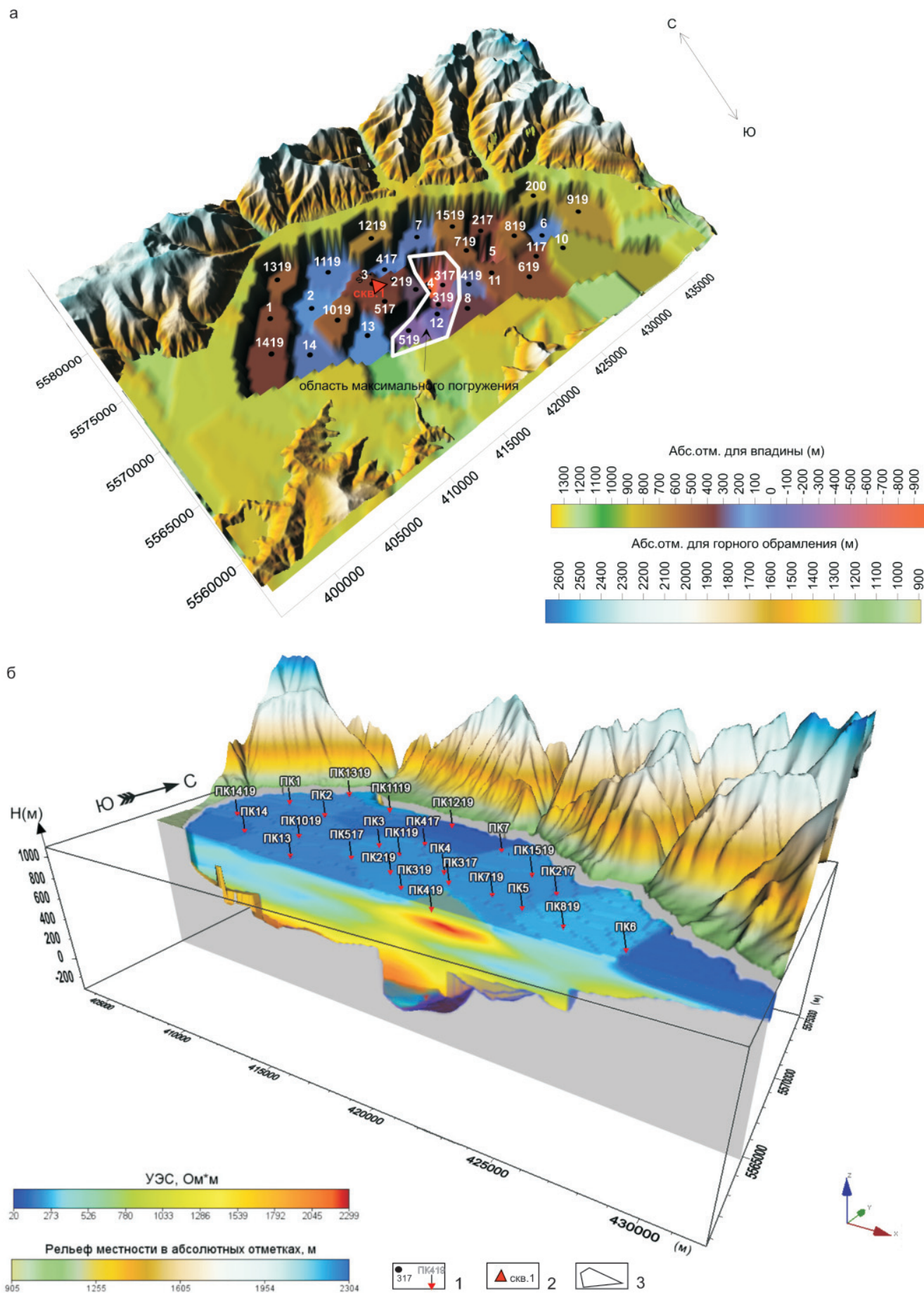


Рис. 8. Трехмерные модели Уймонской впадины: а – блоковая модель поверхности фундамента, б – вертикальный срез осадочного заполнения впадины в широтном направлении

1 – пункты ЗСБ; 2 – скважина; 3 – область максимального погружения фундамента

приповерхностного строения в этом районе предполагается выполнить несколько профилей электротомографии в зоне перехода от выходов баратальской свиты к осадочным породам.

Далее рассмотрим разрезы по субмеридиональным профилям от северного горного обрамления Уймонской впадины к южным отрогам Катунского хребта (рис. 7).

На разрезах по профилям 6 и 8 наблюдается погружение опорного горизонта (палеозойского фундамента) в южном направлении, что в целом соответствует геологическим данным. Но погружение кровли фундамента нельзя назвать плавным, что хорошо видно на разрезе по профилю 6 (см. рис. 7, а). Осадочную толщу всех крупных впадин Горного Алтая (Чуйской, Курайской, Уймонской) в целом можно разделить на верхний высокоомный комплекс и нижний проводящий [5, 7]. Вместе с тем для целого ряда зондирований в Уймонской впадине получены более сложные модели. Это отражено на меридиональных разрезах. Некоторые модели характеризуются переслаиванием нескольких проводящих и высокоомных горизонтов, например зондирования 417, 119, 519 на профиле 6 и 1319, 1419 на профиле 8. Такая особенность наблюдается только в Уймонской впадине. Максимальная глубина до фундамента получена в центральной и южной части депрессии.

Для того чтобы отобразить общую структуру Уймонской котловины выполнено несколько трехмерных визуализаций (рис. 8). Построена блоковая модель поверхности фундамента с использованием всех полученных данных ЗСБ с соосными установками (см. рис. 8, а). Хорошо выделяются приподнятые блоки фундамента, отмеченные коричневым цветом, и погруженные блоки (синие оттенки), отражено сложное строение центральной части впадины. Скорее всего, крупная разломная зона разделяет впадину на две части (западную и восточную); она прослежена на Теректинском хребте [4], а по нашим данным ее можно проследить и в фундаменте впадины. Она в целом соответствует области максимального погружения фундамента, которая выделена белым контуром на рис. 8, а (пункты 4, 12, 317, 319, 519). Для определения более детального строения разломной структуры необходимы дополнительные измерения.

На рис. 8, б показан вертикальный срез, выполненный по простиранию впадины. На нем хорошо видна зона максимальной мощности осадков в районе пунктов 4, 317. Также можно судить о распределении удельного электрического сопротивления горных пород в разных частях впадины. Отложения, которые по геологическим данным отнесены к туерыкской и, возможно, к кош-агачской свитам, имеют наиболее низкие значения УЭС, но можно отметить, что УЭС в них изменяется в более широком интервале – от 20 до 220 Ом·м по сравнению, например, с Чуйской впадиной. Используя данные глубокой

скв. 1, можно судить о стратиграфической привязке верхнего высокоомного комплекса; глубже впервые вскрыты и подтверждены палеонтологическими данными 60 м миоцен-плиоценовых озерных образований туерыкской свиты. Литологический состав и возраст более глубоких проводящих отложений пока достоверно неизвестен.

Выводы

Электроразведочные исследования в Уймонской впадине Горного Алтая позволили впервые представить ее глубинное строение. Проведена количественная интерпретация полевых данных метода ЗСБ с использованием программных средств одномерной интерпретации. В результате удалось не только получить мощности и интервалы удельных электрических сопротивлений отдельных литологических комплексов, но с привлечением геологических данных выполнить стратиграфическую привязку части выделенных геоэлектрических горизонтов.

Следует отметить, что значительная часть показанных на разрезах внутривпадинных разломных нарушений, учитывая блоковую модель поверхности фундамента, имеет субмеридиональное простирание в отличие от Чуйской и Курайской депрессий, в которых крупные разломы, совпадают с простиранием хребтов, окаймляющих впадины. В связи с этим можно сделать вывод, что заложение и геологическое развитие Уймонской котловины может отличаться от других подобных структур Горного Алтая.

Рассмотрение геологических данных о палеоземлетрясениях с магнитудами более 7 в периоды около 16 и 6 тыс. лет назад [4] позволяет предложить гипотезу образования зоны наиболее погруженных блоков фундамента Уймонской котловины. Можно предполагать, что она связана с этими катастрофическими сейсмическими событиями, приведшими к усилению тектонических подвижек отдельных блоков, их опусканию и спуску ледникового подпрудного озера.

Авторы планируют продолжить совместную геолого-геофизическую интерпретацию полученных данных геоэлектрики для обоснования истории развития этой территории, включая современный этап.

Работа выполнена в рамках проекта ФНИ № 0331-2019-0015.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутвиловский В. В., Аввакумов А. Е., Гутаков О. Я. Россыпная золотоносность гор юга Западной Сибири: историко-геологический обзор и оценка возможностей. – Новокузнецк: КузГПА, 2011. – 241 с.
2. **Геологическая** карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Горно-Алтайская. Лист М-45–XIV. Горно-Алтайск: объяснительная записка / Е. С. Левицкий, С. Н. Баженова, А. В. Борцова и др. – М.: Недра, 1964. – 79 с.



3. **Государственная** геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Алтай-Саянская. Лист М-45. Горно-Алтайск: объяснительная записка / С. И. Федак, Ю. А. Туркин, А. И. Гусев и др. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 567 с.

4. **Деев Е. В.** Зоны концентрации древних и исторических землетрясений Горного Алтая // *Физика Земли*. – 2019. – № 3. – С. 71–96.

5. **Неведрова Н. Н., Деев Е. В., Пономарев П. В.** Выявление разломных структур и их геоэлектрических характеристик по данным метода сопротивлений в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения 2003 г. (Горный Алтай) // *Геология и геофизика*. – 2017. – Т. 58, № 1. – С. 146–156.

6. **Неведрова Н. Н., Деев Е. В., Санчаа А. М.** Глубинное строение и характеристики краевых структур Курайской впадины (Горный Алтай) по данным геоэлектрики с контролируемым источником // *Геология и геофизика*. – 2014. – Т. 55, № 1. – С. 119–132.

7. **Неотектоническое** строение межгорных впадин Горного Алтая по электромагнитным и геологическим данным / Н. Н. Неведрова, А. М. Санчаа, Е. В. Деев, С. М. Бабушкин // *Geodynamics and Tectonophysics = Геодинамика и тектонофизика: электронный журнал*. – 2013. – Т. 4, № 3. – С. 301–312. – Точка доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/neotektonicheskoe-stroenie-mezhgornyh-vpadin-gornogo-altaya-po-elektromagnitnym-i-geologicheskim-dannym/viewer>.

8. **Новые** данные о строении Уймонской межгорной впадины (Горный Алтай) / Е. В. Деев, Н. Н. Неведрова, Г. Г. Русанов и др. // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*. – 2012. – № 1 (9). – С. 15–23.

9. **Опорный** разрез неоген-четвертичных отложений в Уймонской впадине (Горный Алтай) / Г. Г. Русанов, Е. В. Деев, И. Д. Зольников и др. // *Геология и геофизика*. – 2017. – Т. 58, № 8. – С. 1220–1233.

10. **Санчаа А. М., Неведрова Н. Н., Пономарев П. В.** Блоковое строение южной части Курайской впадины Горного Алтая по данным геоэлектрики в сопоставлении с распределением эпицентров землетрясений // *Geodynamics and Tectonophysics = Геодинамика и тектонофизика: электронный журнал*. – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 167–180. – Точка доступа: <https://www.gt-crust.ru/jour/article/view/775/430>.

11. **Сравнительный** анализ суперпаводковых отложений аллювия долин рек Чуя и Катунь / И. Д. Зольников, Е. В. Деев, Д. В. Назаров, С. А. Котлер // *Геология и геофизика*. – 2015. – Т. 56, № 8. – С. 1483–1495.

12. **Филина А. Г., Подкорытова В. Г., Подлипская Л. А.** Тунгурское землетрясение 18 сентября 1997 г. с $M_s=4.4$, $I_0=6$ (Горный Алтай) // *Землетрясения Северной Евразии в 1997 г.* – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 236–239.

13. **Хабинов О. Г., Власов А. А., Антонов Е. Ю.** Система интерпретации данных площадных электромагнитных зондирований // *ГЕО-Сибирь-2010. Недропользование. Горное дело. Новые направления и технология поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: матер. VI Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2010»*. Т. 2, ч. 1. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 164–168.

14. **Шмидт Г. А.** К вопросу о происхождении уступов на южном склоне Теректинского хребта в Центральном Алтае // *Бюл. Комиссии по изучению четвертичного периода*. – 1963. – № 28. – С. 161–164.

15. **Эпов М. И., Дашевский Ю. А., Ельцов И. Н.** Автоматизированная интерпретация электромагнитных зондирований. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1990. – 29 с. – (Препринт № 3).

16. **Lunina O. V., Nevedrova N. N., Gladkov A. S.** Tectonic and geoelectric structures of rift basins in the Baikal region // *Comptes Rendus Geoscience*. – 2012. – Vol. 344, no. 3–4. – P. 149–158.

REFERENCES

1. Butvilovskiy V.V., Avvakumov A.E., Gutak O.Ya. *Rossyppnaya zolotonosnost gor yuga Zapadnoy Sibiri: istoriko-geologicheskii obzor i otsenka vozmozhnostey* [Placer gold content in the mountains of the south of West Siberia: historical and geological review and assessment of opportunities]. Novokuznetsk, KuzGPA Publ., 2011. 241 p. (In Russ.).

2. Levitskiy E.S., Bazhenova S.N., Bortsova A.V. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Gorno-Altayskaya. List M-45-XIV. Gorno-Altaysk: Obyasnitelnaya zapiska* [Geological map of the USSR on a scale of 1:200,000. Series Gorny Altai. Sheet M-45-XIV. Gorno-Altaysk: Explanatory notes]. Moscow, Nedra Publ., 1964. 79 p. (In Russ.).

3. Fedak S.I., Turkin Yu.A., Gusev A.I., et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:1 000 000 (tret'ye pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List M-45. Gorno-Altaysk: Obyasnitelnaya zapiska* [State geological map of the Russian Federation at a scale of 1:1,000,000 (third generation). Altai-Sayan series. Sheet M-45. Gorno-Altaysk: Explanatory notes]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2011. 567 p. (In Russ.).

4. Deev E.V. [Localization zones of ancient and historical earthquakes in Gorny Altai]. *Physics of solid Earth*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 451–470.

5. Nevedrova N.N., Deev E.V., Ponomarev P.V. Fault structures and their geoelectric parameters in the epicentral zone of the 27 september 2003 Chuya earthquake (Gorny Altai) from the resistivity data. *Russian Geology and Geophysics*, 2017, vol. 58, no. 1, pp. 123–132.

6. Nevedrova N.N., Deev E.V., Saancha A.M. Deep structure and margins of the Kurai basin (Gorny Altai), from controlled-source resistivity data. *Russian Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, no. 1, pp. 98–107.

7. Nevedrova N.N., Saancha A.M., Deev E.V., Babushkin S.M. [The neotectonic structure of intermountain basin of Mountainous Altai according to electromagnetic and geological data]. *Geodinamika i tektonofizika – Geodynamics and Tectonophysics*, 2013, vol. 4, no. 3, pp. 301–312. Available at: <https://www.gt-crust.ru/jour/article/view/64>. (In Russ.).
8. Deev E.V., Nevedrova N.N., Rusanov G.G., et al. [New data on structure of Uimon intermountain basin (Gorny Altai)]. *Geologiya i mineralno-syryevye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2012, no. 1 (9), pp. 15–23. (In Russ.).
9. Rusanov G.G., Deev E.V., Zolnikov I.D., et al. Reference section of Neogene-Quaternary deposits in the Uimon Basin (Gorny Altai). *Russian Geology and Geophysics*, 2017, vol. 58, no. 8, pp. 973–983.
10. Sanchaa A.M., Nevedrova N.N., Ponomarev P.V. *Blokovoe stroenie yuzhnoy chasti Kurayskoy vpadiny Gornogo Altaya po dannym geoelektriki v sopostavlenii s raspredeleniem epitsentrov zemletryaseniy* [Block structure of the southern Kurai Basin of Gorny Altai according to geoelectric data compared to the distribution of earthquake epicenters]. *Geodinamika i tektonofizika – Geodynamics and Tectonophysics*, 2019, vol. 10, no. 1, pp. 167–180. Available at: <https://www.gt-crust.ru/jour/article/view/775/430>. (In Russ.).
11. Zolnikov I.D., Deev E.V., Nazarov D.V., Kotler S.A. Comparative analysis of megaflood deposits and alluvium of the Chuya and Katun river valleys (Gorny Altai). *Russian Geology and Geophysics*, 2015, vol. 56, no. 8, pp. 1162–1172.
12. Filina A.G., Podkorytova V.G., Podlipskaya L.A. [The 18 September 1997 Tungur earthquake ($M_c = 4.4$, $I_0 = 6$) (Gorny Altai)]. *Zemletryaseniya Severnoy Evrazii v 1997 g. GS RAN* [Earthquakes in Northern Eurasia in 1997. GS RAN]. Obninsk, 2003, pp. 236–239. (In Russ.).
13. Khabinov O.G., Vlasov A.A., Antonov E.Yu. [System for interpreting data of areal electromagnetic sounding]. *GEO-Sibir-2010. Nedropolzovanie. Gornoe delo. Novye napravleniya i tekhnologiya poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh: materialy VI Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa «GEO-Sibir-2010»* [GEO-Siberia-2010. Subsoil use. Mining engineering. New directions and technology of prospecting, exploration and development of mineral deposits: Proceedings of the VI International Scientific Congress «GEO-Siberia-2010»]. Novosibirsk, SGGa Publ., 2010, vol. 1, pp. 164–168. (In Russ.).
14. Shmidt G.A. [On the origin of benches on the southern slope of the Terekta Ridge in Central Altai]. *Byul. Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda* [Bul. Commission for the Study of Quarter period]. 1963, no. 28, pp. 161–164. (In Russ.).
15. Epov M.I., Dashevskiy Yu.A., Eltsov I.N. *Avtomatizirovannaya interpretatsiya elektromagnitnykh zondirovaniy* [Automated interpretation of electromagnetic soundings]. Novosibirsk, IGIG AS USSR Publ., 1990. 29 p. (Preprint no. 3). (In Russ.).
16. Lunina O.V., Nevedrova N.N., Gladkov A.S. Tectonic and geoelectric structures of rift basins in the Baikal region. *Comptes Rendus Geoscience*, 2012, vol. 344, no. 3–4, pp. 149–158.

© А. М. Санчаа, Н. Н. Неведрова, С. М. Бабушкин, 2020