

ГЛУБИННАЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТУНКИНСКОЙ СИСТЕМЫ ВПАДИН БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ ПО ДАННЫМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

И.К. Семинский^{1,✉}, Ф.Р. Куклина², Д.Б. Немцева², А.В. Кувшинов¹

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 126а, Россия

²ООО «СИГМА-ГЕО», 664039, Иркутск, ул. Звездинская, 6, Россия

Поступила в редакцию: 30.09.2024

Принята в печать: 12.02.2025

Опубликована онлайн: 15.02.2025

DOI: [10.15372/GiG2025107](https://doi.org/10.15372/GiG2025107)

EDN: [PNFQEG](https://www.edn.ru/PNFQEG)

Ссылка для цитирования:

Семинский И.К., Куклина Ф.Р., Немцева Д.Б., Кувшинов А.В. (2025).

Глубинная геоэлектрическая модель Тункинской системы впадин Байкальской рифтовой зоны по данным магнитотеллурического зондирования // Геология и геофизика, т. 66, № 7, с. 901–907, DOI: [10.15372/GiG2025107](https://doi.org/10.15372/GiG2025107), EDN: [PNFQEG](https://www.edn.ru/PNFQEG).

© И.К. Семинский, Ф.Р. Куклина, Д.Б. Немцева, А.В. Кувшинов, 2025

✉E-mail: iseminskiy@mail.ru

Представлены результаты глубинной магнитотеллурической съемки, впервые проведенной в пределах Тункинской системы впадин, принадлежащей к юго-западному флангу Байкальской рифтовой зоны. Несмотря на то, что исследования носили региональный характер, были выделены аномалии электропроводности фактически на всех интервалах геоэлектрического разреза, построенного до глубин 70 км. В западной части Тункинского рифта, на уровне нижней литосферы, находится область распространения пород, предположительно разогретых плюмом, который был выделен для территории Северной Монголии по данным предшествовавших исследований. Положение корового электропроводящего слоя, вероятно, минерализованного коллектора планетарного масштаба нетипично: установлены увеличение его мощности и подъем кровли к центральной части Тункинской впадины. В верхней части земной коры выделяются субвертикальные электропроводящие зоны, которые трассируются из корового проводящего слоя к осадочным отложениям и ассоциируются с каналами флюидомиграции геотерм мантийного генезиса. Отмечается связь этих субвертикальных аномалий электропроводности с известными выходами термальных и/или минеральных подземных вод «Нилова Пустынь», «Аршан», «Жемчуг». Кроме того, одна из субвертикальных проводящих зон на востоке Тункинского рифта, ассоциируемых с каналом флюидомиграции, выделяется в осадках (или не доходит до них) в районе пос. Тибельти, где ранее о наличии геотермальных вод известно не было.

Магнитотеллурическое зондирование, коровый электропроводящий слой, геотермальные и минеральные воды, Байкальская рифтовая зона, Тункинский рифт

ВВЕДЕНИЕ

Тункинская долина площадью примерно 11 000 км² субшироко простирается между озерами Байкал на востоке и Хубсугул на западе, с севера долина ограничена хр. Тункинские гольцы, с юга – хр. Хамар-Дабан (рис. 1). Фактически описываемая территория принадлежит к осевой части Байкальской рифтовой зоны в ее юго-западной части и характеризуется повышенной сейсмической и геотермальной активностью.

В геологическом отношении Тункинская долина расположена на территории Хангай-Бельской орогенной зоны и представлена системой кайнозойских рифтовых впадин байкальского типа (Мондинской, Хойтогорской, Туранской, Тункинской, Торской и Быстринской), заполненных осадочными отложениями олигоцен-четвертичного возраста [Ружич и др., 1972; Тектоника..., 1973; Логачев, Флоренсов, 1977; Логачев, 2003] (см. рис. 1). Среднее звено долины – Тункинская впадина (≈ 65 × 32 км), крупнейшая среди прочих, имеет максимальное погружение фундамента (до ≈ 3 км) и является ее своеобразным центром. Рифтовые впадины разделены перемычками, представляющими поднятия кристаллического фун-

дамента (Зуркузунской, Еловской, Ниловской, Туранской, Харадабанской). Динамические условия формирования этих отрицательных и положительных структур по-разному характеризуются их исследователями, которые в целом отмечают высокую степень нарушенности земной коры региона разломами [Аржанникова, Аржанников, 1999; Щетников, Уфимцев, 2004]. Наиболее крупные из них представляют зоны Тункинского и Южно-Тункинского разломов, простирающихся вдоль северного и южного бортов рассматриваемой системы впадин [Флоренсов, 1968; Delvaux et al., 1997; Лунина и др., 2009].

На территории Тункинской долины распространены геотермальные воды с температурой от 35 до 56 °С: азотные, углекислые и азотно-углекислые. Переслаивание различных породных комплексов, нарушенных разноранговыми разрывами, обусловило формирование подземных вод различного состава. Минеральные источники выходят к поверхности на сравнительно больших абсолютных отметках и приурочены в основном к отдельным разломам или линейно вытянутым тектоническим зонам [Хассан и др., 2017].

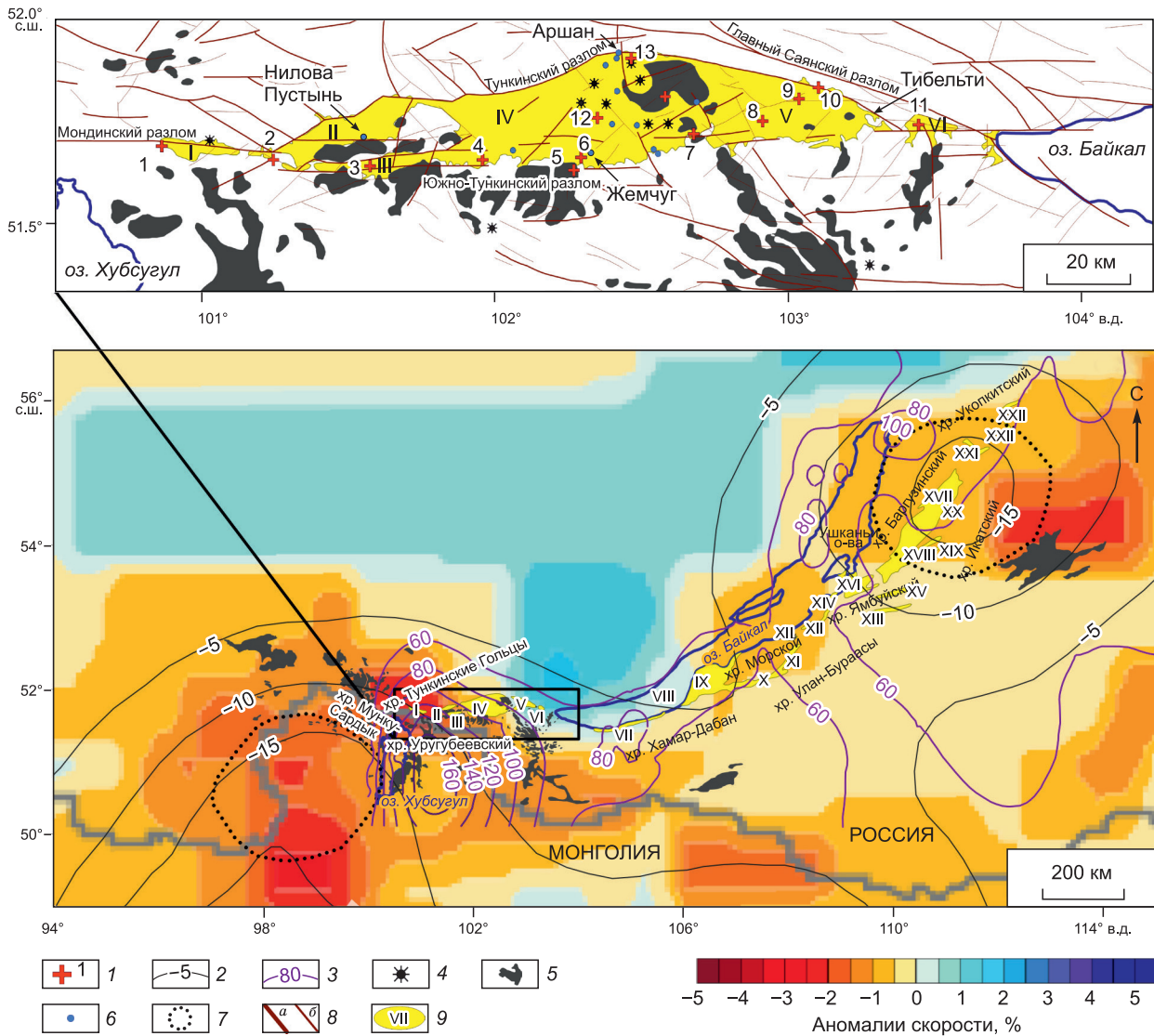


Рис. 1. Схема рифтогенных структур Байкальской зоны, аномалий теплового потока и силы тяжести на карте сейсмических аномалий P -волн по глобальной модели до глубин в 100 км, по [Bijwaard et al., 1998]. 1 – физические наблюдения МТЗ и их номера; 2 – изолинии гравитационного влияния глубинных плотностных неоднородностей, мГал, по [Зорин и др., 2006]; 3 – изолинии поверхностного теплового потока, МВ/м^2 , по [Pollack et al., 1993]; 4 – вулканы, по [Тектоника..., 1973]; 5 – потоки и покровы неоген-четвертичных базальтов, по [Тектоника..., 1973]; 6 – проявления углекислых и метановых вод (родник/скважина/колодец), по [Павлов и др., 2018]; 7 – положение стволочных частей плюмов по данным гравиразведки, по [Зорин и др., 2006]; 8 – тектонические нарушения: а – региональные, б – локальные, по [Лунина и др., 2009]; 9 – рифтовые впадины, по [Ружич и др., 1972]: I – Мондинская, II – Хойтогорская, III – Туранская, IV – Тункинская, V – Торская, VI – Быстринская, VII – Танхойская, VIII – Южно-Байкальская, IX – Усть-Селенгинская, X – Итанцинская, XI – Хамская, XII – Котокельская, XIII – Туркинская, XIV – Максимихинская, XV – Ямбуйская, XVI – Усть-Баргузинская, XVII – Баргузинская, XVIII – Ясская, XIX – Богундинская, XX – Гаргинская, XXI – Амутская, XXII – Турраки, XXIII – Нирокопская.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Считается, что на рассматриваемой территории параллельно существуют две водонапорные системы – инфильтрационная и глубинная, с которыми связываются тепловые и гидрогеохимические аномалии [Павлов и др., 2018]. Углекислые термы поднимаются из фундамента по активным разломам, а повышенное содержание гелия в них косвенно указывает на ман-

тийное происхождение. Мантийный генезис гелия ставится под сомнение рядом исследователей [Иванов и др., 1978], которые полагают, что его концентрация в подземных водах обусловлена гелиеобразованием внутри осадочных толщ, тогда как его поступление из фундамента является незначительным.

Помимо подземной гидросферы, отдельный интерес в связи с рассматриваемой проблемой представляет развивавшийся в позднелавинное время

(наиболее ярко в миоцене) магматизм Тункинской рифтовой долины. В частности, выделяется Восточно-Саянское вулканическое поле, представленное пикритами, толеитами, щелочными базальтами и другими магматическими породами. Примечательно, что это вулканическое поле располагается вне оси рифта.

По данным сейсмической томографии, термометрии и гравиразведки, рядом авторов [Pollack et al., 1993; Bijwaard et al., 1998; Зорин и др., 2006; Яковлев и др., 2007] выделяются геофизические аномалии в западной части Байкальского рифта, ассоциирующиеся с наличием верхнемантийного плюма с глубиной положения кровли ≈ 100 км (см. рис. 1). Этот плюм, генетически связанный с продвижением под континент Тихоокеанской плиты, может рассматриваться в качестве генератора упомянутых выше процессов магматизма. Однако в ряде публикаций рассматриваются альтернативные взгляды относительно макро-неоднородности литосферы в исследуемом регионе. В частности, приводятся аргументы в пользу того, что температурная аномалия недостаточна, чтобы соответствовать глубинному разогреву литосферы [Середкина, 2021]. Также, по данным альтернативной интерпретации результатов сейсмической томографии, надежно выделяется плюм только под Сибирским кратоном. Кроме того, выдвинуто предположение, что плюм под Северной Монголией либо маломощный/очень молодой, либо вовсе отсутствует [Кулаков, 2008]. Кроме отмеченной неопределенности результатов интерпретации, расходятся мнения и о происхождении вулканитов: ранее считалось, что они не могут быть порождены единым источником ввиду отличия в возрасте и петрохимическом составе [Логачев, 1968], однако в появляющихся позднее работах приводятся аргументы в пользу обратного [Harris, 1998].

Общим для представленных на рис. 1 материалов является принципиально схожее положение геофизических аномалий в северо-восточной и юго-западной частях Байкальской рифтовой зоны, которые могут быть связаны с наличием верхнемантийных плюмов. Некоторое отличие в положении аномалий, по нашему мнению, обусловлено спецификой разнотипных съемок, а также особенностями обработки и интерпретации их результатов.

Иными словами, для Байкальской рифтовой зоны природа современного вулканизма, температурных, гравитационных, скоростных и прочих аномалий земной коры и верхней мантии остается неоднозначной и дискуссионной. Вместе с тем для ответа на вопрос о связи описанных явлений с плюмами и конвективными течениями в мантии, а также углубленного понимания специфики байкальского рифтогенеза и сопутствующих процессов использованы не все современные инструменты геофизики. В частности, дополнить глубинную геофизическую модель

региона помогло бы не проводившееся ранее в Тункинской долине магнитотеллурическое зондирование (МТЗ), считающееся эффективным методом геофизики при изучении флюидонасыщенных толщ. Отметим, что ранее МТЗ в его современной модификации уже показало свою результативность при исследовании глубинного геоэлектрического строения Байкальского региона и его отдельных рифтогенных структур [Мороз, Мороз, 2012; Эпов и др., 2012; Семинский и др., 2013, 2023].

МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Магнитотеллурическая съемка выполнялась в Тункинской долине в 2022 г. с помощью канадских цифровых станций Phoenix Geophysics MTU-5A. Магнитотеллурические зондирования были выполнены в 14 пунктах, в среднем расстояние между пунктами составляло около 20 км (см. рис. 1). В каждой точке выполнялись записи (с оцифровкой от 150 до 2400 Гц) двух горизонтальных компонент теллурического (E_x , E_y) поля и трех компонент магнитного (H_x , H_y , H_z) поля. Для измерений теллурического поля применялась крестообразная установка с ориентацией электрических линий на геомагнитный север/восток и длиной линий в 50 м в каждом направлении.

Средняя продолжительность наблюдений составляла 60 ч (2.5 сут), что позволило оценить передаточные функции (ПФ): элементы тензора импеданса, кажущиеся сопротивления и т. д. до периодов в несколько часов.

Обработка полевых записей и расчет ПФ проводились в программных комплексах SSMT-2000 (Phoenix Geophysics Ltd) и ЭПИ-КИТ (ООО «Северо-Запад»). Анализ полученных импедансных диаграмм показал, что в первом приближении возможна поточечная одномерная инверсия кривых МТЗ при условии, что инвертируются квазипродольные (по отношению к гипотетическим субдолготным геоэлектрическим неоднородностям) кривые МТЗ. Коррекция гальванических искажений выполнялась путем нормализации кривых полиномом заданного порядка.

Инверсия выполнялась с использованием программного комплекса LineInterMT (разработка А.В. Поспеева, А.С. Кочнева). Для оценки влияния региональных неоднородностей применялась программа двумерного моделирования Zond2DMT (разработка А.Е. Каминского).

Распределение электропроводности подбиралось до глубин в 70 км. При инверсии распределение электропроводности в осадочном чехле предполагалось известным и опиралось на результаты интерпретации данных вертикального электрического зондирования (до глубин в 1.5–2.0 км), произведенного в Тункинской долине в 50-е годы XX в. [Лунина и др., 2009]. В результате одномерной инверсии были по-

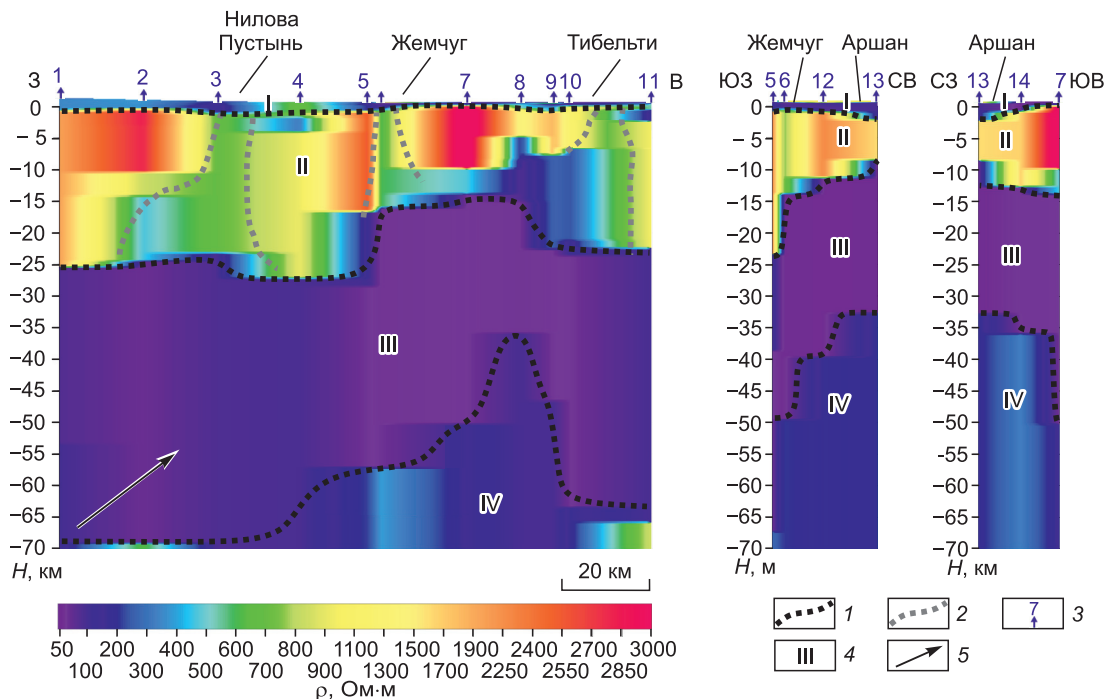


Рис. 2. Геоэлектрические разрезы по данным МТЗ. 1 – границы основных геоэлектрических слоев; 2 – границы зон, ассоциируемых с каналами флюидомиграции; 3 – физические наблюдения МТЗ и их номера; 4 – индексы геоэлектрических слоев; 5 – направление разогревающего воздействия от верхнемантийного плюма.

лучены геоэлектрические разрезы (рис. 2) вдоль трех субпрофилей исследуемого района – одного субгоризонтального и двух субвертикальных (см. рис. 1).

На разрезах, представленных до глубин в 70 км, прослеживается переслаивание основных геоэлектрических структур, ассоциируемых авторами с осадочным заполнением рифтовых впадин (I), кристаллическими породами фундамента (II), коровым проводящим слоем (III) и частично расплавленными породами земной коры и верхней мантии (IV). Рассмотрим подробнее предлагаемую геоэлектрическую модель.

I. Осадочный чехол. Осадочное наполнение рифтовых впадин представлено в основном породами палеоген-четвертичного возраста и имеет мощность, которая варьируется от первых сотен метров в Мондинской впадине до ≈ 3 км в центральной и северной частях Тункинской впадины. Детально изучить переслаивание осадочных пород представлялось трудновыполнимым ввиду регионального масштаба съемки и разрешающей способности метода МТЗ в приповерхностной части разреза. Отметим, что магнитотеллурические измерения в Тункинской долине были выполнены в период минимума солнечной активности, что снизило отношение сигнал/помеха в измеренных данных, отразившееся на качестве полученных переходных функций.

Вместе с тем в осадочном чехле выделяются проводящие слои с удельным электрическим сопротив-

лением (УЭС) от 50 до 150 Ом·м на фоне вмещающих пород с УЭС 300–400 Ом·м (см. рис. 2). Природа этих проводников неизвестна (в частности, из-за отсутствия информации о данных бурения), но их подъем к поверхности в районе выходов термальных вод наталкивает на мысль о флюидном насыщении этих слоев. Так, в районе известного курорта с минеральными водами «Аршан» (северная часть Тункинской впадины) наблюдается проводящий слой в осадках на пикетах 12–14, также прослеживающийся на пикетах 5–7. Хорошо заметно утолщение этого слоя с юга на север от первых сотен метров до 2 км в геоэлектрических разрезах на субвертикальных профилях (т. е. профилях, располагающихся вкрест Тункинской впадины). Ввиду того, что наблюдения по профилю, идущему вдоль Тункинской впадины, производились преимущественно в южной части ансамбля рифтовых впадин, проводящий слой, предположительно минерализованный пласт-коллектор, разгружающийся в северной части Тункинской впадины, замечен на пикетах 5 и 6. Однако прослеживаются еще две небольшие области с аномальной проводимостью среди вмещающих пород: на пикете 3, расположенном в районе радонового курорта «Нилова Пустынь», и пикете 11 в районе д. Тибельти, где выходы термальных вод ранее не обнаруживались.

II. Кристаллический фундамент. Мощность геоэлектрического слоя, ассоциируемого с породами кристаллического фундамента, вероятно, породами

докембрия, представленными кристаллическими сланцами, амфиболитами, гнейсами и др., варьируется в среднем от 12 до 25 км (см. рис. 2). Удельное электрическое сопротивление упомянутого слоя является типичным и для платформенных областей, составляя первые тысячи Ом·м [Мороз, Мороз, 2012]. Однако нетипичным для платформенных областей является наличие в подобном слое вертикальных проводящих зон с УЭС ≈ 600 Ом·м.

Утолщение до 25 км описываемого геоэлектрического слоя отмечается в западной части изучаемого региона под горной системой Большого Саяна, что соответствует общим представлениям о глубинном строении территории на основе данных геофизики [Середкина, 2021].

III. Коровый проводящий слой. Слой повышенной электропроводности (≈ 20 – 50 Ом·м) на рассматриваемом участке меняет свое положение в диапазоне глубин от 15 до 70 км (см. рис. 2), тогда как для Сибирской платформы его положение в среднем составляет от 20 (кровля) до 30 (подошва) км, поднимаясь в рифтовой зоне до глубин ≈ 12 км. Отмечаются существенное утолщение слоя в западной части (≈ 45 км) и подъем кровли с 25 до 15 км к центральной части Тункинской долины (в районе зоны выхода геотермальных вод). Возможно, называть всю описываемую аномалию электропроводности коровым проводящим слоем не вполне корректно – скорее всего, аномалия представлена коровым проводящим слоем в верхней части (от 15 до 25 км) и нижележащими «влажными» разогретыми породами литосферы (областью дегидратации и частичного плавления).

IV. Породы нижней части литосферы. Кровля геоэлектрического слоя с УЭС 400–600 Ом·м, ассоциируемого с породами нижней части литосферы, выделяется на глубинах приблизительно 50 км в центральной и восточной частях Тункинской долины (см. рис. 2). Отмечается неравномерное распределение удельной электропроводности описываемого слоя в пределах изученной магнитотеллурической съемкой территории. В западной части долины глубинность исследования не позволяет зафиксировать кровлю рассматриваемого слоя.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Интерпретация магнитотеллурических наблюдений, выполненных по редкой сети в недостаточно изученном методами геофизики районе со сложным геологическим строением, неизбежно содержит определенные элементы субъективизма. Однако общие черты с известными ранее особенностями глубинного строения территории все же явно прослеживаются. Рассмотрим их более детально.

Неравномерность геоэлектрических свойств нижней части литосферы, прослеживаемая с запада на восток (см. рис. 2), может объясняться разной степе-

нью ее дегидратации вследствие разогрева и частичного плавления, источником которого является плюм, располагающийся под территорией северной Монголии (см. рис. 1).

Под действием влияния плюма и, вероятно, тектонических сил, связанных с Индо-Азиатской коллизией, нарушается и залегание корового проводящего слоя (вероятно, флюидонасыщенного коллектора планетарного масштаба [Поспеева, 2021]). В западной части территории значения УЭС верхней мантии и нижней коры без резкого скачка, имеющего место на восток рассматриваемой площади, переходят в значения УЭС корового проводящего слоя, что может указывать на его подпитку мантийным флюидом.

Далее, в центральной и северной частях Тункинской впадины, коровый проводящий слой поднимается и соединяется, вероятно, вследствие существования крупных разломных зон, служащих каналами флюидомиграции, с осадочным наполнением рифтовых впадин. В районе выявленных проводников отмечается разгрузка термальных и/или минеральных вод (курорты «Нилова Пустынь», «Аршан», «Жемчуг»). Известно, что воды упомянутых курортов характеризуются высоким содержанием радона («Нилова Пустынь» ≤ 180 Бк/л, «Жемчуг» ≤ 80 Бк/л, «Аршан» ≤ 30 Бк/л при среднем значении радона в прочих водопроявлениях Тункинской долины ≤ 15 Бк/л) [Seminsky, Seminsky, 2019], что может подтверждать наличие нарушенных зон, являющихся каналами миграции флюида.

У проведенного исследования имеется определенный прикладной аспект, связанный с актуальной для Южного Прибайкалья проблемой поиска термальных вод. Так, на базе анализа полученных геоэлектрических моделей в районе д. Тибельти прогнозируется неизвестная ранее, перспективная на наличие геотермальных вод, область, в пользу чего свидетельствует субвертикальная аномалия электропроводности, соединяющая коровый проводящий слой и осадочный чехол. Вместе с тем разрешающая способность метода МТЗ не позволяет достоверно утверждать, что проводящая аномалия соединяется с осадочным чехлом рифтовой впадины.

ВЫВОДЫ

Результаты МТЗ, впервые использованного на территории Тункинской впадины для изучения особенностей глубинного строения западного сегмента Байкальской рифтовой зоны, позволяют сделать некоторые предварительные выводы.

Во-первых, авторами впервые предложена предварительная геоэлектрическая модель Тункинской системы впадин до глубин 70 км, характеризующаяся четырьмя основными слоями, ассоциируемыми с осадочным заполнением рифтовых впадин, кристаллическими породами фундамента, коровым проводя-

щим слоем и частично расплавленными породами земной коры и верхней мантии.

Во-вторых, аномалии электропроводности нижней литосферы в западной части долины косвенно подтверждают наличие глубинного источника тепла (верхнемантийного плюма) под Северной Монголией, изменившего состояние пород мантии и, как следствие, их геоэлектрические свойства.

В-третьих, подтверждается предположение о геотермальном насыщении литосферного проводника и его отношении к подземной гидросфере Земли. Предложена гипотеза транспортировки вод из верхней мантии к поверхности Земли, в которой коровый проводящий слой и система проницаемых тектонических зон играют ключевую роль.

В-четвертых, на основании интерпретации данных МТЗ, а также сопоставления результатов ее применения в районах проявления термальных и/или минеральных вод («Аршан», «Жемчуг», «Нилова Пустынь») может быть рекомендована постановка поисково-разведочных работ на минеральные/геотермальные подземные воды в районе пос. Тибельти на востоке Тункинской долины. Отмечается, что перспектива выделения новой области на наличие геотермального флюида может иметь положительное экономическое значение для исследуемого региона, выражающееся в привлечении средств для развития туристической и лечебной инфраструктуры Южного Прибайкалья.

Отмечается высокая эффективность современных технологий МТЗ для изучения глубинного строения Земли и, в частности, его подземной гидросферы. Авторами рекомендуется их применение для изучения на новом уровне строения и динамики других структур в Байкальской рифтовой зоне.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (субсидия № 075-ГЗ/Ц3569/278).

ЛИТЕРАТУРА

- Аржанникова А.В., Аржанников С.Г. (1999). Сейсмотектонические деформации в западной части Тункинских гольцов и современная экзогеодинамика // Геология и геофизика, т. 40, № 2, с. 231–234.
- Зорин Ю.А., Турутанов Е.Х., Кожевников В.М., Рассказов С.В., Иванов А.В. (2006). О природе кайнозойских верхнемантийных плюмов в Восточной Сибири (Россия) и Центральной Монголии // Геология и геофизика, т. 47, № 10, с. 1060–1074.
- Иванов В.В., Медовый В.И., Добровольская В.И. (1978). Поля концентраций гелия в осадочных толщах // Советская геология, т. 2, с. 31–40.
- Кулаков И.Ю. (2008). Структура верхней мантии под Южной Сибирью и Монголией по данным региональной сейсмотомографии // Геология и геофизика, т. 49, № 3, с. 248–261, EDN: ISDLOP.

- Логачев Н.А. (1968). Осадочные и вулканогенные формации Байкальской рифтовой зоны // Байкальский рифт / Ред. Н.А. Флоренсов. М., Наука, с. 72–101.
- Логачев Н.А. (2003). История и геодинамика Байкальского рифта // Геология и геофизика, т. 44, № 5, с. 391–406.
- Логачев Н.А., Флоренсов Н.А. (1977). Байкальская система рифтовых долин // Роль рифтогенеза в геологической истории Земли. Новосибирск, Наука, с. 19–29.
- Лунина О.В., Гладков А.С., Неведрова Н.Н. (2009). Рифтовые впадины Прибайкалья: тектоническое строение и история развития. Новосибирск, Академическое изд-во «Гео», 316 с.
- Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А. (2012). Глубинный геоэлектрический разрез Байкальского рифта // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, т. 2, № 20, с. 114–126.
- Павлов С.Х., Чудненко К.В., Голубев В.А., Оргильянов А.И., Бадминов П.С., Крюкова И.Г. (2018). Геологические факторы и физико-химические процессы формирования подземных вод Тункинской впадины // Геодинамика и тектонофизика, т. 9, № 1, с. 221–248, DOI: [10.5800/GT-2018-9-1-0346](https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-1-0346).
- Поспеева Е.В. (2021). Природа глубинной электропроводности и связь коровых аномалий с месторождениями полезных ископаемых // VIII Всероссийская школа-семинар по электромагнитным зондированиям Земли имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна (ЭМЗ-2021) (Москва, 4–9 октября 2021 г.). Тезисы докладов. М., с. 1–6.
- Ружич В.В., Шерман С.И., Тарасевич С.И. (1972). Новые данные о надвигах в юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны // Докл. АН СССР, т. 205, № 4, с. 920–923.
- Семинский К.Ж., Кожевников Н.О., Черемных А.В., Поспеева Е.В., Бобров А.А., Оленченко В.В., Тугарина М.А., Потапов В.В., Зарипов Р.М., Черемных А.С. (2013). Межблоковые зоны в земной коре юга Восточной Сибири: тектонофизическая интерпретация геолого-геофизических данных // Геодинамика и тектонофизика, т. 4, № 3, с. 203–278, DOI: [10.5800/GT-2013-4-3-0099](https://doi.org/10.5800/GT-2013-4-3-0099).
- Семинский И.К., Семинский А.К., Поспеев А.В., Рустамова Ф.Р. (2023). Комплекс геофизических методов для изучения глубинного строения Ангарского разлома – крупнейшего разрывного нарушения Байкальского рифта // Геология и геофизика, т. 64, № 9, с. 1357–1365, DOI: [10.15372/GIG2023127](https://doi.org/10.15372/GIG2023127).
- Середкина А.И. (2021). Современное состояние исследований глубинного строения земной коры и мантии Байкальского рифта по сейсмологическим данным // Физика Земли, № 2, с. 46–70, DOI: [10.31857/S0002333721020113](https://doi.org/10.31857/S0002333721020113).
- Тектоника и вулканизм юго-западной части Байкальской рифтовой зоны. (1973). Ред. Н.А. Флоренсов. Новосибирск, Наука, 136 с.
- Флоренсов Н.А. (1968). Байкальская рифтовая зона и некоторые задачи ее изучения // Байкальский рифт. М., Наука, с. 40–56.
- Хассан А., Рассказов С.В., Чувашова И.С., Аль-хамуд А. (2017). Структурное развитие центральной части Байкальской рифтовой системы: сходство и отличие Баргузинской и Тункинской долин // Геология и окружающая среда, т. 1, № 1, с. 58–77, DOI: [10.26516/2541-9641.2021.1.59](https://doi.org/10.26516/2541-9641.2021.1.59).
- Щетников А.А., Уфимцев Г.Ф. (2004). Структура рельефа и новейшая тектоника Тункинского рифта (Юго-Западное Прибайкалье). М., Научный Мир, 160 с.
- Эпов М.И., Поспеева Е.В., Витте Л.В. (2012). Особенности состава и строения земной коры краевой части Сибирского кратона (в зоне влияния рифтогенных процессов) по данным магнитотеллурических зондирований // Геология и геофизика, т. 53, № 3, с. 380–398, EDN: OUNTDV.
- Яковлев А.В., Кулаков И.Ю., Тычков С.А. (2007). Глубина Мохо и трехмерная структура сейсмических аномалий земной коры и верхов мантии в Байкальском регионе по данным локальной томографии // Геология и геофизика, т. 48, № 2, с. 261–282.

- Bijwaard H., Spakman W., Engdahl E.R. (1998).** Closing the gap between regional and global travel time tomography // *J. Geophys. Res.*, v. 103 (B12), p. 30055–30078, DOI: [10.1029/98JB02467](https://doi.org/10.1029/98JB02467).
- Delvaux D., Moeyss R., Stapel G., Petit C., Levi K.G., Miroshnichenko A.A., Ruzhich V.V., San'kov V.A. (1997).** Paleostress reconstructions and geodynamics of the Baikal region, Central Asia, Part 2. Cenozoic rifting // *Tectonophysics*, v. 282 (1–4), p. 1–38, DOI: [10.1016/S0040-1951\(97\)00210-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(97)00210-2).
- Harris N.R. (1998).** Isotopic, Geochemical, and Geochronological Constraints on the Origin and Evolution of Cenozoic Volcanism, Baikal Rift Zone, Siberia. PhD Thesis. Massachusetts Institute of Technology.
- Pollack H.N., Hurter S.J., Johnson J.R. (1993).** Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set // *Rev. Geophys.*, v. 31 (3), p. 267–280, DOI: [10.1029/93RG01249](https://doi.org/10.1029/93RG01249).
- Seminsky K.Z., Seminsky A.K. (2019).** Radon concentration in groundwater sources of the Baikal region (East Siberia, Russia) // *Appl. Geochemistry*, v. 111, 104446, DOI: [10.1016/j.apgeochem.2019.104446](https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104446).