

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XIV Международный научный конгресс

Международная научная конференция

**«НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ. ГОРНОЕ ДЕЛО. НАПРАВЛЕНИЯ
И ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА, РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
ЭКОНОМИКА. ГЕОЭКОЛОГИЯ»**

Т. 4

Сборник материалов

Новосибирск
СГУГиТ
2018

Ответственные за выпуск:

Доктор геолого-минералогических наук, академик РАН,
главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск
А. Э. Конторович

Доктор технических наук, академик РАН,
главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск
М. И. Энов

Доктор технических наук, директор Института нефтегазовой геологии
и геофизики СО РАН, Новосибирск
И. Н. Ельцов

Кандидат технических наук, директор Института горного дела
им. Н. А. Чинакала СО РАН, Новосибирск
А. С. Кондратенко

Кандидат геолого-минералогических наук, исполнительный директор
Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики
и минерального сырья, г. Новосибирск
М. Ю. Смирнов

Начальник департамента по недропользованию по Сибирскому федеральному округу
Федерального агентства по недропользованию «Роснедра», Новосибирск
А. И. Неволько

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля
2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное
дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторож-
дений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов
в 6 т. Т. 4. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 335 с.

В сборнике опубликованы материалы XIV Международного научного конгресса
«Интерэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Международной научной конференции
«Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разра-
ботки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» (секция «Гео-
логическое, геофизическое и геохимическое обеспечение поиска и разведки полезных
ископаемых. Геотехнологии. Геоэкология»).

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОФИЛЮ П. АКТАШ – ОЗ. ТЕЛЕЦКОЕ

Елена Валентиновна Поспеева

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (953)869-78-88, e-mail: PospeevaEV@ipgg.sbras.ru

Владимир Владимирович Потанов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: PotanovVV@ipgg.sbras.ru

Применение современных магнитотеллурических исследований по профилю п. Акташ – п. Улаган – пер. Кату-Ярык – оз. Телецкое, пересекающему основные структуры Ануйско-Чуйской и Восточно-Алтайской фациальных зон, позволило расширить имеющиеся представления о глубинной структуре земной коры, ее составе и деформации глубинными разломами новейшей эпохи. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о достаточно дробной новейшей блоковой делимости земной коры изученной территории. Построенные по магнитотеллурическим данным разрезы позволяют проследить поведение основных неотектонических нарушений, которые отчетливо видны на магнитотеллурических разрезах за счет аномально низких удельных сопротивлений (менее 1 Ом·м).

Ключевые слова: Горный Алтай, магнитотеллурические зондирования, геоэлектрический разрез, электрическое сопротивление, новейший разлом, земная кора.

THE RESULTS OF MAGNETOTELLURIC STUDIES ON THE PROFILE OF AKTASH – LAKE TELETSKOYE

Elena V. Pospeeva

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Leading Researcher, phone: (953)869-78-88, e-mail: PospeevaEV@ipgg.sbras.ru

Vladimir V. Potanov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, e-mail: PotanovVV@ipgg.sbras.ru

The use of modern magnetotelluric studies on the profile of Aktash village – Ulagan – per. Kату-Yaryk – the lake Teletskoye, which crosses the main structures of the Anuisko-Chui and East-Altaiskiy facies zones, has allowed to expand existing ideas about the deep structure of the earth's crust, its composition and deformation by deep faults of the new era. The results of the conducted studies indicate a rather fractional new block fissility of the earth's crust of the studied territory. The cuts constructed using magnetotelluric data make it possible to trace the behavior of the main neotectonic disturbances, the zones of which are clearly visible on the magnetotelluric sections due to anomalously low resistivity (less than 1 Ohm·m).

Key words: Gorny Altai, magnetotelluric sounding, geoelectric section, electrical resistivity, new fault, earth crust.

Введение

Алтае-Саянский регион в России, наряду с Байкальской рифтовой зоной, Курило-Камчатской зоной и Кавказом, относится к числу наиболее сейсмоактивных зон и представляет собой фрагмент Алтае-Саянской горной области сложного геологического строения, являющийся одним из районов новейшего горообразования. Молодые горные сооружения, формирование которых интенсивно продолжается, должны иметь повышенную сейсмичность. Тем не менее долгое время считалось, что в пределах Горного Алтая современные движения находят отражение в сейсмической активности относительно невысокого уровня, что подтверждалось инструментальными и историческими данными. Отношение к Горному Алтаю как к слабосейсмичному региону было пересмотрено в результате сеймотектонических исследований, проведенных в сопряженных с ним районах Монголии и Китая [8, 9, 11]. Экстраполяция результатов этих исследований привела к выводам о высоком сейсмическом потенциале Горного Алтая с максимально возможной магнитудой землетрясений $7,5 \pm 0,2$. Алтайское землетрясение 27.09.2003–28.09.2003 г. подтвердило этот вывод. Оно привлекло внимание и активизировало изучение динамических процессов в земной коре. Выявление закономерностей проявления землетрясений в связи с геолого-тектоническими особенностями и неотектоникой стало основанием для проведения на территории Горного Алтая магнитотеллурических исследований.

Результаты исследований

Территория Горного Алтая соответствует западной части Алтае-Саянской складчатой области, образованной в результате палеозойской аккреционно-коллизийной тектоники. Это сложная высокоподнятая область, в которой развиты надвиги, крутые взбросы, а также сдвиги и нормальные сбросы. На основании геометрии разломов, а также механизма очагов землетрясений был сделан вывод [13, 15] о примерно субмеридиональном максимальном горизонтальном напряжении сжатия в Алтайском регионе с преобладающим режимом сдвиговой деформации (при горизонтальном положении главных максимальной и минимальной осей напряжений). В таких геодинамических условиях, когда преобладали горизонтальные силы сжатия и активными были сдвиговые зоны, в разной тектонической позиции сформировались кайнозойские депрессии – Чуйская и Курайская тектонические впадины.

В настоящее время сжимающее усилие в пределах Горного Алтая имеет северное направление, а Западно-Сибирский и Джунгарский блоки, которые он разделяет, сближаются со скоростью около 4 мм/год [14, 17], вызывая как реактивацию уже существовавших к началу текущей активизации дизъюнктивов, так и формирование новых разломов. Активные в кайнозойские разломы образуют блоковую систему со значительными (сотни и тысячи метров) амплитудами смещения за позднекайнозойское время и формируют основу современной орографической структуры (крупных форм рельефа ранга хребтов и межгорных

впадин). Соответственно, система новейших разломов надежно реконструируется геоморфологическими методами [6].

Работы МТЗ выполнялись аппаратурой пятого поколения канадской фирмы «Phoenix Geophysics Ltd» в диапазоне периодов 0,003–10 000 с. Использовались измерительные модули MTU-5, позволяющие регистрировать пять компонент (E_x , E_y , H_x , H_y , H_z) магнитотеллурического поля (МТ-поля). Применялась крестообразная установка с длиной электрических диполей 100 м. Запись компонент МТ-поля осуществлялась в течение 22–24 часов. Для обработки полевых данных использовалось программное обеспечение «Phoenix Geophysics», 1D- и 2D-инверсия экспериментальных данных осуществлялась с помощью программного комплекса «WinGLink» [6].

Профиль МТЗ с юга на север пересекает две крупные тектонические единицы – Горно-Алтайскую и Телецкую, ограниченные региональными тектоническими швами Телецко-Башкаусского, Северо-Саянского и других разломов (рис. 1). Горно-Алтайская тектоническая единица представлена вендско-раннекембрийскими офиолитами и кремнисто-терригенными породами, позднепериферийскими лавами и осадками, а также раннесреднекембрийскими эффузивно-туфогенными, терригенными и карбонатными породами, Телецкая – позднесилурийским Алтынтаусским массивом двуслюдяных гранитоидов и раннепалеозойскими зелеными сланцами [2].

Южный отрезок профиля располагается в пределах Ануйско-Чуйской структурно-фациальной зоны, полностью принадлежит Горно-Алтайской тектонической единице и характеризует особенности состава и тектонической структуры северо-западного обрамления Курайской впадины (рис. 2, рис. 3, б). Курайская впадина представляет собой крупную межгорную депрессию, ограниченную с юга и северо-востока Северо-Чуйским и Курайским хребтами. С северо-запада ее замыкают Эстулинский, Айгулакский и Кубадринский горные массивы. Впадина имеет ромбовидную форму, характерную для впадин со взбросо-сдвиговыми тектоническими границами. В ее западной части палеозойский фундамент выходит на поверхность, а восточная часть представляет собой бассейн кайнозойской седиментации.

В северной части рассматриваемого отрезка профиля картируется крупный массив, сложенный кристаллическими породами, устойчивыми к денудации. С запада он ограничен новейшими глубинными разломами с большими амплитудами перемещения, которые образуют также и естественную западную границу впадины. Рассматриваемый массив представляет собой выход на поверхность палеозойского фундамента Курайской впадины, своеобразно изогнутого и отделенного с севера и юга от хребтов относительно небольшими прогибами. В геоэлектрическом разрезе в верхней части земной коры массив выражен образованиями с достаточно высокими значениями удельного электрического сопротивления (более 1 500 Ом·м), отвечающими кристаллическим породам (рис. 3, б).

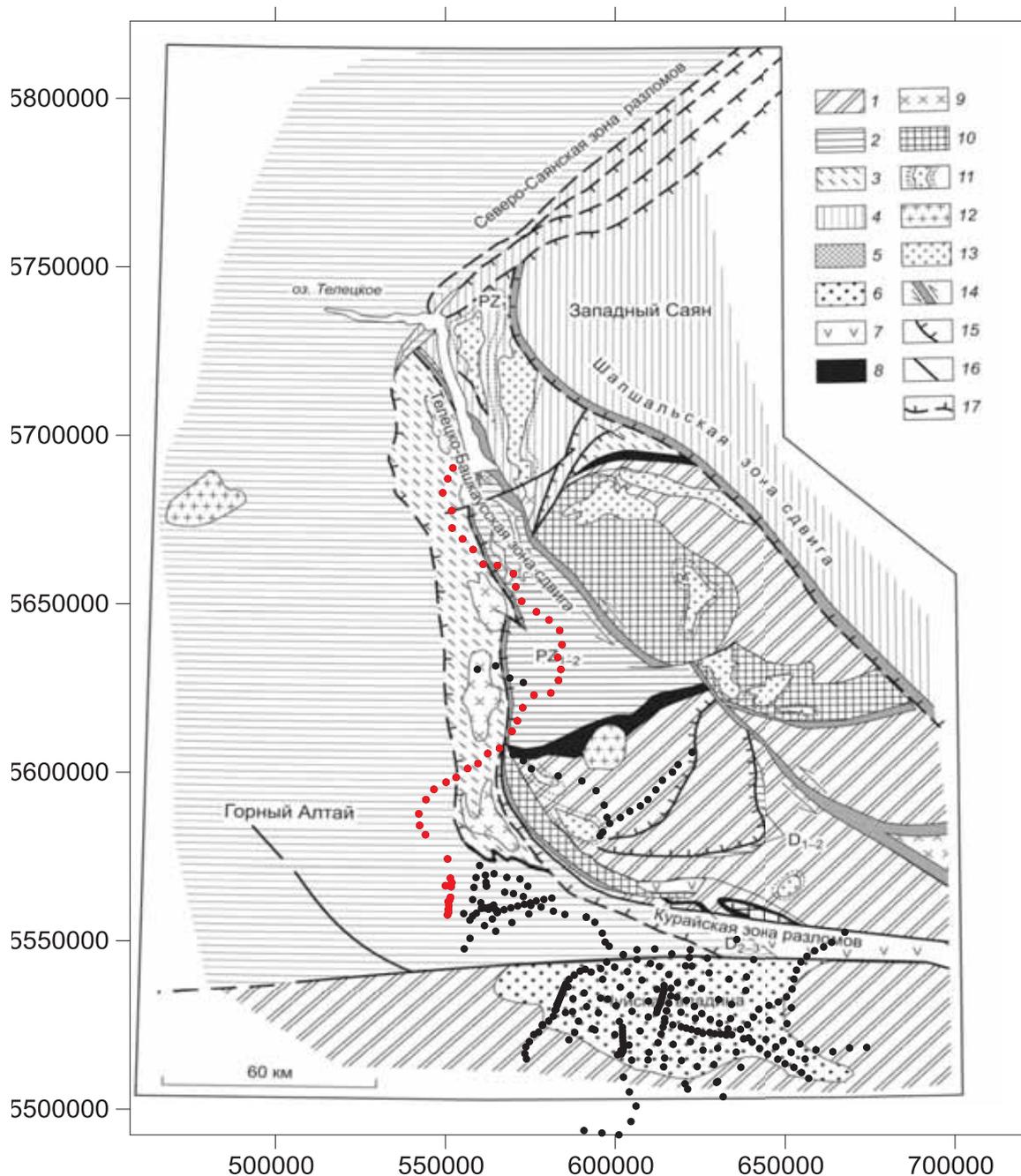


Рис. 1. Структурная схема восточной части Горного Алтая [10] с положением профиля МТЗ:

1 – Алтае-Монгольский террейн гондванской группы; 2–4 – тектонические единицы окраины Сибирского континента: 2 – Горно-Алтайская, 3 – Телецкая, 4 – Западно-Саянская; 5 – пермская континентальная моласса; 6 – раннесреднеюрская континентальная моласса; 7 – девонские вулканогенно-осадочные породы; 8 – Улаганский сегмент Чарышско-Теректинско-Улаганско-Саянской сутурно-сдвиговой зоны; 9 – среднепалеозойские гранитоиды; 10 – позднесилурийско-раннедевонские зональные метаморфические комплексы; 11 – позднедевонско-раннекарбоновые гранито-гнейсовые купола; 12 – раннетриасовые гранитоиды; 13 – позднедевонско-раннекарбоновые граниты; 14 – позднедевонско-раннекарбоновые зоны сдвигов; 15 – позднедевонско-раннекарбоновые надвиги; 16 – пермско-триасовые сдвиги; 17 – позднекардоново-пермские надвиги и сдвигонадвиги

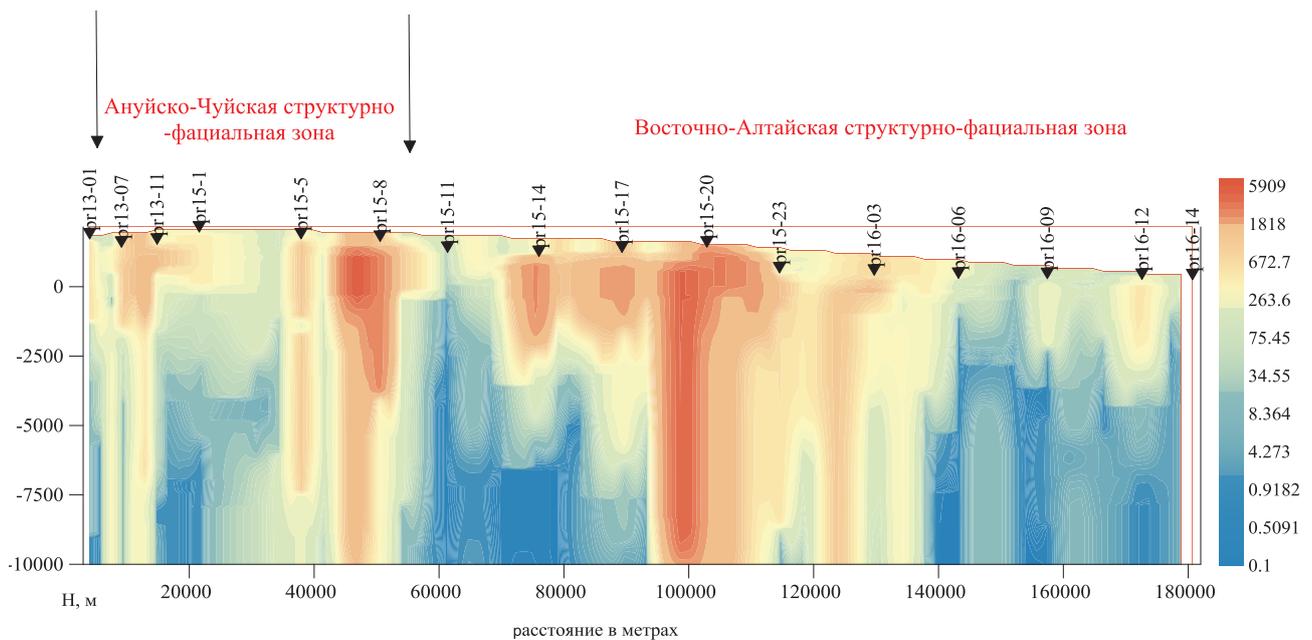


Рис. 2. Глубинный геоэлектрический разрез по профилю «Западное обрамление Курайской впадины – оз. Телецкое»

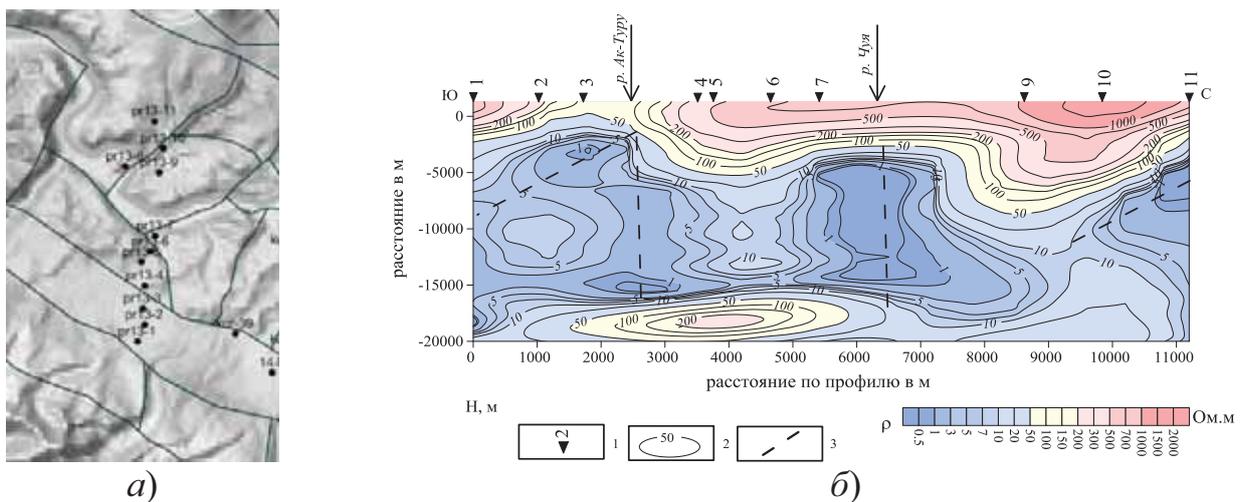


Рис. 3. Южный участок профиля п. Актас – оз. Телецкое:

а) положение разломов, выделенных по данным морфотектонических исследований [8]; б) глубинный геоэлектрический разрез; 1 – пункты МТ-зондирований; 2 – изолинии удельного электрического сопротивления; 3 – проводящие зоны, приуроченные к узлам пересечения активных разломов

Южная часть профиля (п.п. 1–7) характеризует склон Северо-Чуйского хребта, сложенного метаморфизованными породами кембрия и ордовика, в южной части перекрытого четвертичными отложениями (п.п. 1–3). Интервал разреза 5–20 км характеризуется аномально низкими значениями удельного электрического сопротивления, обусловленными сильной раздробленностью

земной коры. Нарушенные, высокопроницаемые участки земной коры обуславливают ее насыщение флюидами и газами, что в свою очередь приводит к формированию области высокой электропроводности. В ее пределах обособляются субвертикальные зоны с минимальными значениями сопротивления ($< 5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), которые маркируют узлы пересечения зон новейших и активизированных частей палеозойских разломов (см. рис. 3). Узлы пересечения активизированных разломов отражаются в магнитотеллурическом поле субвертикальными проводящими зонами с явно выраженным наклоном одной из боковых границ, хорошо видимым на геоэлектрическом разрезе (см. рис. 3, б), что можно интерпретировать как сочетание взбросовых и сдвиговых перемещений по отдельным зонам новейших разломов [7].

Границей между Ануйско-Чуйской и Восточно-Алтайской структурно-фациальными зонами служит позднекарбонново-пермская надвиго-сдвиговая зона (см. рис. 3), которой на геоэлектрическом разрезе соответствует сложнопостроенная проводящая геоэлектрическая неоднородность (п.п. 11–13, см. рис. 2, 4). В пределах Восточно-Алтайской фациальной зоны профиль пересекает две тектонические единицы – Горно-Алтайскую и Телецкую (см. рис. 1, 2, 4). Здесь геоэлектрический разрез условно можно разделить на три части: восточную, центральную и западную. Центральная часть профиля (п.п. 14–5) располагается в пределах Горно-Алтайской тектонической единицы, а западная и восточная – в пределах Телецкой. Центральная часть представляет собой блок земной коры с высокими значениями удельного электрического сопротивления (см. рис. 2, 4), которые изменяются от 500 до 2 500 Ом·м.

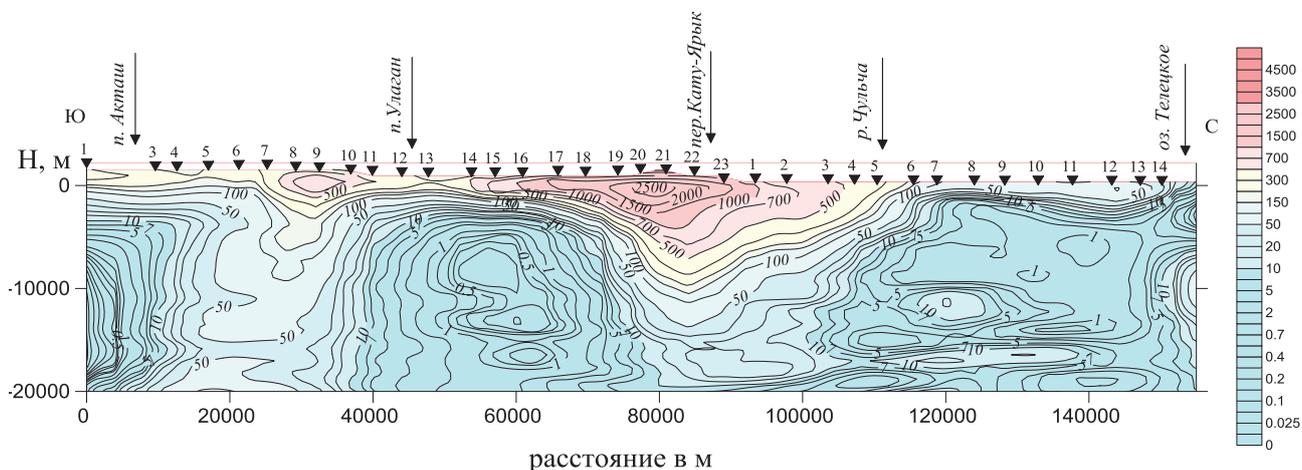


Рис. 4. Глубинный геоэлектрический разрез по профилю п. Акташ – оз. Телецкое

Западная и восточная части профиля охватывают Телецкую тектоническую единицу (п.п. 8–11 и 5–14). Западная часть, представленная раннепалеозойскими зелеными сланцами [2], характеризуется относительно высокими значениями удельного электрического сопротивления (более $500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Восточная

часть находится в зоне динамического влияния Телецко-Башкаусской зоны сдвига и представляет собой широкую проводящую неоднородность с минимальными значениями удельного электрического сопротивления. Восточной и западной границей центрального блока (Горно-Алтайской и Телецкой тектонических единиц соответственно) является Телецко-Башкаусская сдвиговая зона (см. рис. 1, 2, 4). На геоэлектрическом разрезе она маркируется сложнопостроенной проводящей неоднородностью с явно выраженным наклоном боковых границ под центральный высокоомный блок.

Наличие глубоко проникающих разломов, служащих в период своего активного существования флюидопроводниками, является одной из характерных черт литосферы. Выявление и изучение зон активных разломов помогает решить проблемы современной геодинамики, является важнейшим элементом проведения сейсмического районирования и оценки сейсмической опасности. Большая часть существующих сегодня моделей очага землетрясения вышла из взглядов Рэйда на стадию подготовки землетрясения [16], в рамках которой разломы являются ослабленными участками земной коры, вдоль которых происходит регулярный сброс накопленной упругой энергии, и именно они являются источником сейсмогенных процессов, что было установлено М. В. Гзовским [3] в середине прошлого века. Развитие разломных зон сопровождается сейсмичностью и сопряжено с деформациями коры и литосферы, которые отражаются в неотектонических движениях [12] и выделяются в рельефе земной поверхности. При этом сейсмически активными являются разломы с длительной геологической историей развития, скрытые разломы фундамента, линейменты и узлы их пересечения [4, 5]. Сильнейшие землетрясения практически всегда приурочены к активным разломам. Это подтверждается экспериментальными данными, свидетельствующими, что внезапный подъем флюидов в разломных зонах инициирует землетрясение [1].

Заключение

Результаты исследований, проведенных по профилю п. Акташ – п. Улаган – пер. Катунь-Ярык – оз. Телецкое, свидетельствуют о достаточно дробной новейшей блоковой делимости земной коры изученной территории. Неотектонических нарушения, прослеженные до глубин более 20 км, на геоэлектрическом разрезе маркируются областями с аномально низкими значениями удельного электрического сопротивления (менее 5 Ом·м). Установлено, что для сбросов и сдвигов характерно вертикальное падение плоскостей сместителей, а для взбросов и надвигов – наклонные, что в целом подтверждает кинематические характеристики разломов, определенных по морфотектоническим и геологическим данным. Выполненные исследования представляют интерес для понимания глубинных тектонических процессов, контролирующей сейсмическую активность региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аптикаев С. Ф. Структура микромасштабного сейсмического поля : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 1995. – 22 с.
2. Буслов М. М. Тектоника и геодинамика Центрально-Азиатского складчатого пояса: роль позднепалеозойских крупноамплитудных сдвигов // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 1. – С. 66–90.
3. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. – М. : Наука, 1975. – 535 с.
4. Калинина Л. Ю. Роль разломов и глубинной структуры в пространственном контроле землетрясений на Северо-Востоке России : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Магадан, 2005. – 34 с.
5. Калягин А. Н., Абрамов В. А. Основы трансструктурной геологии. – Владивосток : Дальнаука, 2003. – 348 с.
6. Новиков И. С. Кайнозойская сдвиговая структура Алтая // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 9. – С. 1377–1388.
7. Новиков И. С., Поспеева Е. В. Неотектоника восточной части Горного Алтая по данным магнитотеллурического зондирования // Геология и геофизика. – 2017. – № 7. – С. 959–971.
8. Опыт выделения и прослеживания сейсмогенерирующих зон методами геолого-тектонического анализа на территории Западной Монголии и Зайсано-Алтайской складчатой области / Е. А. Рогожин, Б. М. Богачкин, Л. И. Иогансон и др. // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – 1995. – № 2–3. – С. 132–152.
9. Рейснер Г. И., Иогансон Л. И. Оценка сейсмического потенциала Алтая с применением внерегионального сеймотектонического метода // Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений: инф.-анал. бюл. – М., 1996. – № 1–2. – С. 90–95.
10. Роль сдвигов в позднепалеозойско-раннемезозойской тектонике и геодинамике Алтае-Саянской и Восточно-Казахстанской складчатых областей / М. М. Буслов, Т. Ватанабе, Л. В. Смирнова и др. // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44 (1–2). – С. 49–75.
11. Типизация земной коры и современные геологические процессы / Г. И. Рейснер, Л. И. Иогансон, М. Г. Рейснер, Ю. Е. Баранов. – М. : ОИФЗ РАН, 1993. – 209 с.
12. Шерман С. И., Семинский К. Ж. Тектонофизические исследования в институте Земной коры СО РАН: принципиальные достижения и актуальные задачи // Геодинамика и тектонофизика. – 2010. – Т. 1, № 1. – С. 4–15.
13. Davy P., Cobbald P. R. Indentation tectonics in nature and experiments: 1. Experiments scaled for gravity // Bulletin of the Geological Institution of the University of Uppsala. – 1988. – Vol. 14. – P. 129–141.
14. England P., Molnar P. The field of crustal velocity in Asia calculated from Quaternary rates of slip on faults // Geophysics Journal International. – 1997. – Vol. 130. – P. 551–582.
15. Molnar P., Tapponnier T. Cenozoic tectonics of Asia: effects on a continental collision // Science. – 1975. – Vol. 189. – P. 419–426.
16. Reid H. F. The mechanics of the earthquake. California earthquake of April 18, 1906. Rep. of the state investigation commiss. – Washington: Carnegie Inst. Of Washington, 1910. – Vol. 2. – 192 p.
17. Yang S. M., Wang Q., You X.-Z. Numerical analysis of contemporary horizontal tectonic deformation fields in China from GPS data // Acta Seismologica Sinica. – 2005. – Vol. 18, N 2. – P. 135–146.

REFERENCES

1. Aptikaev S. F. Struktura mikromasshtabnogo sejsmicheskogo polja : avtoref. dis. ... kand. fiz.-mat. nauk. – M., 1995. – 22 s.

2. Buslov M. M. Tektonika i geodinamika Central'no-Aziatskogo skladchatogo pojasa: rol' pozdnepaleozojskih krupnoamplitudnyh sdvigov // *Geologija i geofizika*. – 2011. – T. 52, № 1. – S. 66–90.
3. Gzovskij M. V. Osnovy tektonofiziki. – M. : Nauka, 1975. – 535 s.
4. Kalinina L. Ju. Rol' razlomov i glubinnoj struktury v prostranstvennom kontrole zemletrjasenij na Severo-Vostoke Rossii : avtoref. dis. ... kand. geol.-min. nauk. – Magadan, 2005. – 34 s.
5. Kaljagin A. N., Abramov V. A. Osnovy transstrukturnoj geologii. – Vladivostok : Dal'nauka, 2003. – 348 s.
6. Novikov I. S. Kajnozojskaja sdvigovaja struktura Altaja // *Geologija i geofizika*. – 2001. – T. 42, № 9. – S. 1377–1388.
7. Novikov I. S., Pospeeva E. V. Neotektonika vostochnoj chasti Gornogo Altaja po dannym magnitotelluricheskogo zondirovanija // *Geologija i geofizika*. – 2017. – № 7. – S. 959–971.
8. Opyt vydelenija i proslezhivaniya sejsmogenerirujushhijh zon metodami geologo-tektonicheskogo analiza na territorii Zapadnoj Mongolii i Zajsano-Altajskoj skladchatoj oblasti / E. A. Rogozhin, B. M. Bogachkin, L. I. Ioganson i dr. // *Sejsmichnost' i sejsmicheskoe rajonirovanie Severnoj Evrazii*. – 1995. – № 2–3. – S. 132–152.
9. Rejsner G. I., Ioganson L. I. Ocenka sejsmicheskogo potentsiala Altaja s primeneniem vneregional'nogo sejsmotektonicheskogo metoda // *Federal'naja sistema sejsmologicheskijh nabljudenij i prognoza zemletrjasenij: inf.-anal. bjul.* – M., 1996. – № 1–2. – S. 90–95.
10. Rol' sdvigov v pozdnepaleozojsko-rannemezozojskoj tektonike i geodinamike Altae-Sajanskoj i Vostochno-Kazahstanskoj skladchatyh oblastej / M. M. Buslov, T. Vatanabe, L. V. Smirnova i dr. // *Geologija i geofizika*. – 2003. – T. 44 (1–2). – S. 49–75.
11. Tipizacija zemnoj kory i sovremennye geologicheskie processy / G. I. Rejsner, L. I. Ioganson, M. G. Rejsner, Ju. E. Baranov. – M. : OIFZ RAN, 1993. – 209 s.
12. Sherman S. I., Seminskij K. Zh. Tektonofizicheskie issledovanija v institute Zemnoj kory SO RAN: principial'nye dostizhenija i aktual'nye zadachi // *Geodinamika i tektonofizika*. – 2010. – T. 1, № 1. – S. 4–15.
13. Davy P., Cobbald P. R. Indentation tectonics in nature and experiments: 1. Experiments scaled for gravity // *Bulletin of the Geological Institution of the University of Uppsala*. – 1988. – Vol. 14. – P. 129–141.
14. England P., Molnar P. The field of crustal velocity in Asia calculated from Quaternary rates of slip on faults // *Geophysics Journal International*. – 1997. – Vol. 130. – P. 551–582.
15. Molnar P., Tapponnier T. Cenozoic tectonics of Asia: effects on a continental collision // *Science*. – 1975. – Vol. 189. – P. 419–426.
16. Reid H. F. The mechanics of the earthquake. California earthquake of April 18, 1906. Rep. of the state investigation commiss. – Washington: Carnegie Inst. Of Washington, 1910. – Vol. 2. – 192 p.
17. Yang S. M., Wang Q., You X.-Z. Numerical analysis of contemporary horizontal tectonic deformation fields in China from GPS data // *Acta Seismologica Sinica*. – 2005. – Vol. 18, N 2. – P. 135–146.

© E. B. Поспеева, B. B. Поганов, 2018