

Я. О. Бондарчук¹✉

Неотектоника и сейсмическая активность Горного Алтая на примере Чуйской и Курайской впадин по данным магнитотеллурических исследований

¹Новосибирский государственный университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: y.bondarchuk@g.nsu.ru

Аннотация. Горный Алтай относится к числу наиболее сейсмически и тектонически активных территорий. Для регионов с повышенным уровнем сейсмичности является актуальным изучение новейших структур и геодинамических процессов с помощью геофизических методов, которые позволяют получить знания о глубинного геологическом строении, новейших тектонических движениях и флюидном режиме территории. В результате интерпретации данных магнитотеллурических исследований на территории Чуйской и Курайской впадин Горного Алтая установлено мелкоблоковое строение земной коры. На полученных разрезах прослеженные до глубины 12 км зоны неотектонических нарушений маркируются областями с аномально низкими значениями удельного электрического сопротивления – менее 5 Ом·м. На глубинах 8-10 км зоны новейших разрывных нарушений достигают уровня корового проводящего слоя. Подъем кровли проводящего слоя характерен для территорий, имеющих высокий потенциал тектонической и сейсмической активности. Очаги землетрясений локализуются преимущественно над его верхней кромкой или в его верхних частях.

Ключевые слова: магнитотеллурические зондирования, Горный Алтай, неотектоника, сейсмичность, геоэлектрические неоднородности, Чуйско-Курайская система впадин

Y. O. Bondarchuk¹✉

Neotectonics and seismic activity of the Altai Mountains on the example of the Chuya and Kurai depressions based on magnetotelluric studies

¹Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: y.bondarchuk@g.nsu.ru

Abstract. The Altai Mountains are among the most seismically and tectonically active territories. For regions with an increased level of seismicity it is relevant to study the latest structures and geodynamic processes by geophysical methods, which allow to obtain knowledge about the deep geological structure, the latest tectonic movements and fluid regime of the territory. As a result of interpretation of magnetotelluric studies in the Chuya and Kurai depressions of the Altai Mountains, the shallow block structure of the Earth's crust was established. On the obtained sections traced to a depth of 12 km zones of neotectonic disturbances are marked by areas with anomalously low values of electrical resistivity - less than 5 Ohm-m. At depths of 8-10 km, the zones of the latest discontinuities reach the level of the crustal conductive layer. Rise of the conductive layer roof is characteristic for the territories with high potential of tectonic and seismic activity. Earthquake sources are localised mainly above its upper edge or in its upper parts.

Keywords: magnetotelluric sounding, Gorny Altai, neotectonics, seismicity, geoelectric inhomogeneities, Chuisko-Kurai depression system

Введение

Высокий уровень сейсмической активности обусловлен взаимодействием крупных литосферных плит, на окраинах которых формируются складчатые пояса. Эти пояса представляют собой неоднородные участки земной коры, которые состоят из различных по природе и возрасту геоблоков и характеризуются высокой тектонической активностью. В настоящее время продолжается процесс коллизии Индостанской и Евроазиатской плит, что вызывает активизацию тектонических движений на территории Горного Алтая, являющегося частью Алтае-Саянского складчатого пояса.

Горный Алтай относится к числу наиболее сейсмически и тектонически активных территорий. Локализация очагов землетрясения зависит от характера неоднородностей земной коры. Причиной возникновения сейсмических толчков является образование новых или возобновление старых тектонических разрывов, поэтому изучение геологического строения, установление и прослеживание разрывных нарушений в земной коре является важным этапом в изучении землетрясений. Неотектонические нарушения в период своей активизации представляют собой флюидопроводники, которые играют важную роль в подготовке очага землетрясения. В сейсмоактивных районах очаги землетрясений располагаются преимущественно над коровым проводящим слоем, формирование которого, согласно современным представлениям, обусловлено присутствием в нем надкритических флюидов [1-7]. Поднятие кровли проводящего корового проводящего слоя до глубин 8-10 км и увеличение его проводимости отмечается под многими известными очаговыми зонами землетрясений, что согласуется с флюидометаморфогенной моделью сейсмогенеза И.Г. Киссина, в которой важную роль в подготовке очага землетрясения играет флюид [5, 6].

Целью исследования является изучение особенностей геоэлектрического строения земной коры в пределах крупных впадин Горного Алтая, и их связь с сейсмическими и неотектоническими процессами.

Методы и материалы

При изучении строения Чуйской и Курайской впадин Горного Алтая для реализации метода магнитотеллурического зондирования применялась аппаратура канадской компании «Phoenix Geophysics Ltd». При помощи измерительных модулей MTU-5 регистрировались четыре компонента магнитотеллурического поля (E_x , E_y , H_x , H_y) в диапазоне периодов 0,003 – 1000 с. Шаг по профилю в среднем составлял 4 – 5 км со сгущением до 1 км в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения. Использовалась крестообразная установка, ориентированная на север – ось X, на восток – ось Y, длина приемных электрических линий составляла 100 м. Пространственная и высотная привязка пунктов зондирования осуществлялась с помощью встроенной системы GPS. Запись на каждой точке наблюдения длилась в среднем 19 – 22 ч. Полевые данные были обработаны с помощью программного обеспечения SSMT-2000 компании «Phoenix Geophysics Ltd». Для дальнейшего редактирования кривых, 1D и 2D инверсий использовался про-

граммный комплекс «WinGLink». Методика качественной и количественной интерпретация подробно рассмотрена в [8-10].

Результаты

Исследуемый профиль располагается в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения 2003 года между Южно-Чуйским и Курайским хребтами, обрамляющими Чуйскую впадину, и протягивается с юго-запада на северо-восток.

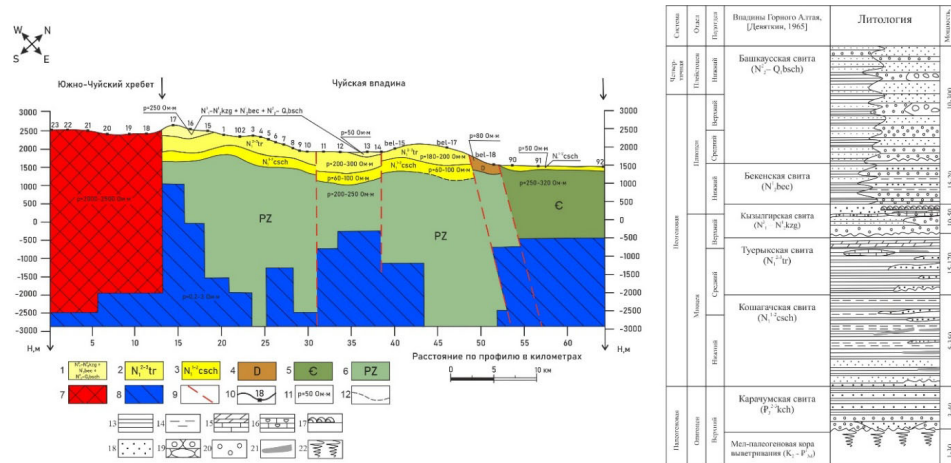


Рис. 1. Геоэлектрический разрез осадочного чехла Чуйской впадины и сводная литологическая колонка Девяткина, 1965 [11]. 1 - отложения башкаусской свиты средне-верхнего плиоцена и нижнего плейстоцена + отложения бекенской свиты нижнего плиоцена + отложения кызылгирской свиты верхнего миоцена и нижнего плиоцена; 2 - отложения туерьской свиты среднего-верхнего миоцена; 3 - отложения кошагачской свиты нижнего-среднего миоцена; 4 - нерасчлененные отложения девона; 5 - нерасчлененные отложения кембрия; 6 - нерасчлененные отложения палеозоя; 7 - области аномально высоких значений удельного сопротивления; 8 - области аномально низких значений удельного сопротивления; 9 - разрывные нарушения, выявленные по данным МТЗ; 10 - пункты МТ-зондирования; 11 - значение удельного электрического сопротивления в Ом·м; 12 - предполагаемая граница; 13 - глины; 14 - алевролиты; 15 - мергели и известняки; 16 - ракушечники; 17 - строматолитовые известняки; 18 - пески; 19 - галечники и конгломераты; 20 - валунники; 21 - бурые угли; 22 - коры выветривания.

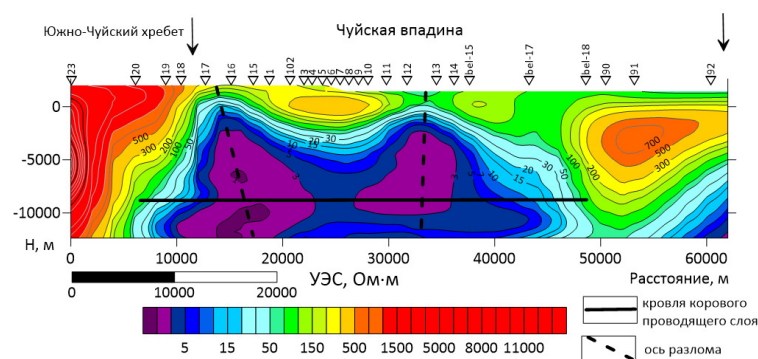


Рис. 2. Глубинный геоэлектрический разрез Чуйской впадины по результатам инверсии данных МТЗ

Второй профиль располагается между Северо-Чуйским и Курайским хребтами, обрамляющими Курайскую впадину, и протягивается с юга на север.

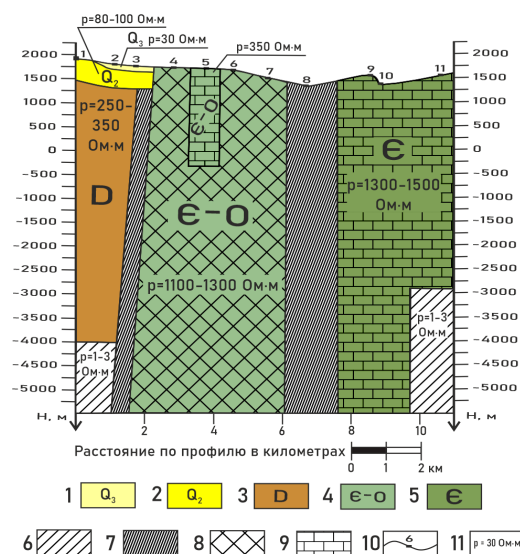


Рис. 3. Геоэлектрический разрез осадочного чехла Курайской впадины. 1 – отложения верхнего отдела четвертичной системы; 2 – отложения среднего отдела четвертичной системы; 3 – нерасчлененные отложения девонской системы; 4 – нерасчлененные отложения верхнего кембрия – нижнего ордовика; 5 – нерасчлененные отложения нижнего кембрия; 6 – области аномально низких значений удельного сопротивления; 7 – области распространения зон дробления; 8 – области аномально высоких значений удельного сопротивления; 9 – мраморизованные известняки; 10 – пункты МТ-зондирований; 11 – значения удельного электрического сопротивления в Ом·м.

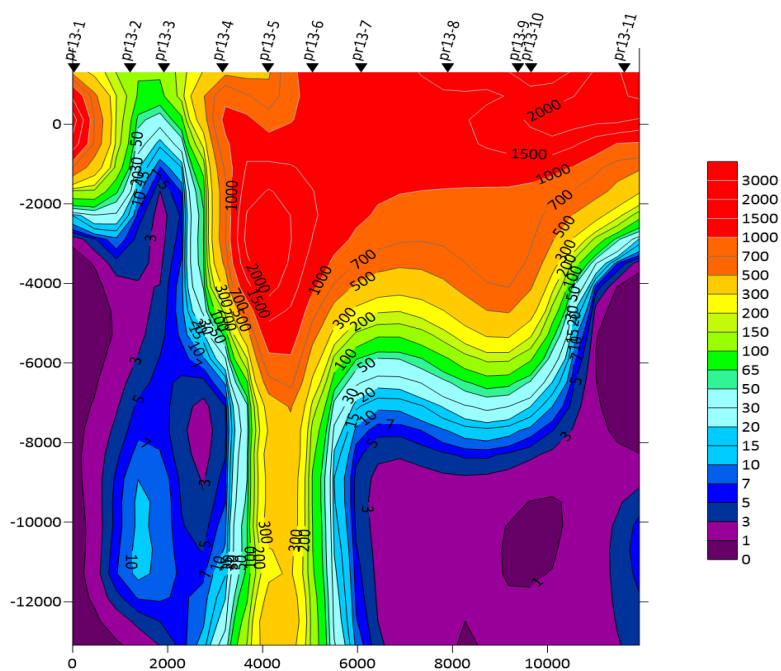


Рис. 4. Глубинный геоэлектрический разрез Курайской впадины по результатам инверсии данных МТЗ.

Обсуждение

Чуйская впадина. При построении геоэлектрического разреза осадочной толщи (рис. 1) было выделено три геоэлектрических горизонта в соответствии с априорными геологическими данными, а также установлены разрывные нарушения, проводящая область и высокоомный блок на юго-западе профиля, соответствующий Южно-Чуйскому хребту.

По результатам инверсии магнитотеллурических данных глубинный разрез земной коры (рис. 2) характеризуется двухслойным строением. Нижней части разреза, до глубин порядка 10 км, соответствует область пониженных значений удельного электрического сопротивлений ($3 - 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$). Вверх по разрезу, до глубин порядка 3 км, преобладают высокие значения удельного электрического сопротивления – более $300 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, которые в латеральном направлении нарушаются проводящими зонами. На глубине 10 км выделяется субгоризонтальный коровый проводящий слой, который может свидетельствовать о возможной флюидизации земной коры в этом интервале глубин. Коровый слой осложнен серией разрывных нарушений.

Курайская впадина. При построении геоэлектрического разреза осадочной толщи (рис. 3) в южной части профиля были выделены два геоэлектрических горизонта, соответствующие отложениям среднего ($\rho = 80 - 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) и верхнего ($\rho = 30 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) отделов четвертичной системы, которые перекрывают отложения девонской системы ($\rho = 250 - 350 \text{ Ом} \cdot \text{м}$). В центральной части профиля распространены отложения верхнего кембрия – нижнего ордовика ($\rho = 1100 - 1300 \text{ Ом} \cdot \text{м}$), а в северной части – отложения нижнего кембрия ($\rho = 1300 - 1500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$). Фрагментарно проявляется область аномально низких значений удельного сопротивления ($\rho = 1 - 3 \text{ Ом} \cdot \text{м}$), глубина залегания верхней кромки которой составляет – 3000 м и – 4000 м. Эти области аномально низких значений сопротивлений продолжают вниз по разрезу, глубина залегания верхней кромки погружается до – 7000 м.

По результатам инверсии магнитотеллурических данных глубинный разрез земной коры в пределах Курайской впадины (рис. 4) так же характеризуется двухслойным строением. Субвертикальные проводящие зоны маркируют новейшие разломы, а также узлы их пересечения с разломами более раннего этапа заложения (палеозойскими и мезозойскими). Согласно [12] установлены кинематические характеристики разломов: для сбросов и сдвигов – вертикальные падения плоскостей сместителей, для взбросов – наклонные. На профиле наблюдается взбросовая южная граница Курайской впадины.

Заключение

Полученные результаты интерпретации магнитотеллурических данных позволяют сделать вывод о том, что крупные впадины Алтая, такие как Чуйская и Курайская, являются не отдельным погруженным жестким блоком, а имеют мелкоблоковое строение, характеризующееся различными геоэлектрическими типами осадочного чехла и консолидированной коры.

Также установлена кровля корового проводящего слоя на глубине 10 км, а его удельное электрическое сопротивление составляет менее 10 Ом·м. Такой подъем кровли и снижение удельного электрического сопротивления субгоризонтального проводящего слоя обуславливает высокий уровень тектонической и сейсмической активности данной территории. Основные неотектонические нарушения, прослеженные до глубины 12 км на геоэлектрическом разрезе, маркируются областями с аномально низкими УЭС (менее 5 Ом·м) на магнитотеллурических разрезах.

Благодарности

Работа выполнялась под руководством д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника Поспеевой Елены Валентиновны с использованием материалов предоставленных лабораторией геоэлектрики ИНГГ СО РАН в рамках проекта FWZZ-2022-0024.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поспеев В.И., Михалевский В.И. Электромагнитные данные об астеносфере в районах Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 1981. – № 1. – С. 153-157.
2. Klemperer S.L. and BIRS group. Reflectivity of the crystalline crust: Hypotheses and tests // Geophysical Journal International. – 1987. – Vol. 89. – № 1. – P. 217-222.
3. Adam A. Are there two types of conductivity anomaly (CA) caused by fluid in the crust? // Physics of the earth and planetary interiors. – 1987. – Vol. 45. – № 2. – P. 209-215.
4. Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Ильичев П.В., Щелочков Г.Г. Магнитотеллурические и магнитовариационные исследования Киргизского Тянь-Шаня: Геология и геофизика. – 2001. – № 10. – С. 1566-1573.
5. Киссин И.Г. Метаморфогенная модель сейсмоактивного слоя континентальной земной коры // Вулканология и сейсмология. – 2001. – № 2. – С. 53-59.
6. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре. Геофизические и тектонические аспекты. – М.: Наука, 2009. – 327 с.
7. Баталев В.Ю., Баталева Е.В., Матюков В.Е., Рыбин А.К. Глубинное строение западной части зоны Таласо-Ферганского разлома по результатам магнитотеллурических зондирований // Литосфера. – 2013. – № 4. – С. 136-145.
8. Неведрова Н.Н., Поспеева Е.В., Санчаа А.М. Интерпретация данных комплексных электромагнитных методов в сейсмоактивных районах (на примере Чуйской впадины Горного Алтая) // Физика Земли. – 2011. – № 11. – С. 63-75.
9. Поспеева Е.В., Витте Л.В., Потапов В.В., Сахарова М.А. Магнитотеллурические исследования в районах новейшей тектоники и сейсмической активности (на примере Горного Алтая) // Геофизика. – 2014. – № 4. – С. 8-16.
10. Эпов М.И., Поспеева Е.В., Витте Л.В. Особенности состава и строения земной коры краевой части Сибирского кратона (в зоне влияния рифтогенных процессов) по данным магнитотеллурических зондирований // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53. – №3. – С. 380-398.
11. Новиков И.С. Морфотектоника Алтая. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2004. – 312 с.
12. Новиков И.С., Поспеева Е.В. Неотектоника восточной части Горного Алтая по данным магнитотеллурического зондирования // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – №7. – С. 959-971.

© Я. О. Бондарчук, 2025