

Секция №3, устный  
УДК 550.37

## ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И МОНИТОРИНГ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧУЙСКОЙ ВПАДИНЫ ПО ДАННЫМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Неведрова Н. Н., Пономарев П.В.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

В работе рассмотрены результаты исследований методами вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), электротомографии, выполненных в западной части Чуйской впадины Горного Алтая. Работы проведены в области наиболее близкой к эпицентру разрушительного Чуйского землетрясения (27.09.2003  $M=7,3$ ) в долине реки Чаган, в устье которой расположен поселок Бельтир, наиболее пострадавший от последствий землетрясения. Построены детальные геоэлектрические модели участка. Измерения ВЭЗ были начаты в 2004 г. и продолжаются в настоящее время. Каждый год выполняются новые измерения методами ВЭЗ для уточнения строения. Кроме того, существует целый ряд режимных пунктов, измерения в которых повторяются ежегодно.

**Ключевые слова:** вертикальное электрическое зондирование, электротомография, Чуйское землетрясение, геоэлектрическое строение.

Целью данной работы является определение строения участка в зоне главного сейсморазрыва Чуйского землетрясения, а также анализ вариаций электропроводности и электрической анизотропии для оценки процессов консолидации геологического массива горных пород после сильного сейсмического воздействия. Обоснована методика проведения полевых наблюдений для изучения анизотропии геологического объекта методами постоянного тока.

Расположение пунктов зондирования указано на рисунке 1.

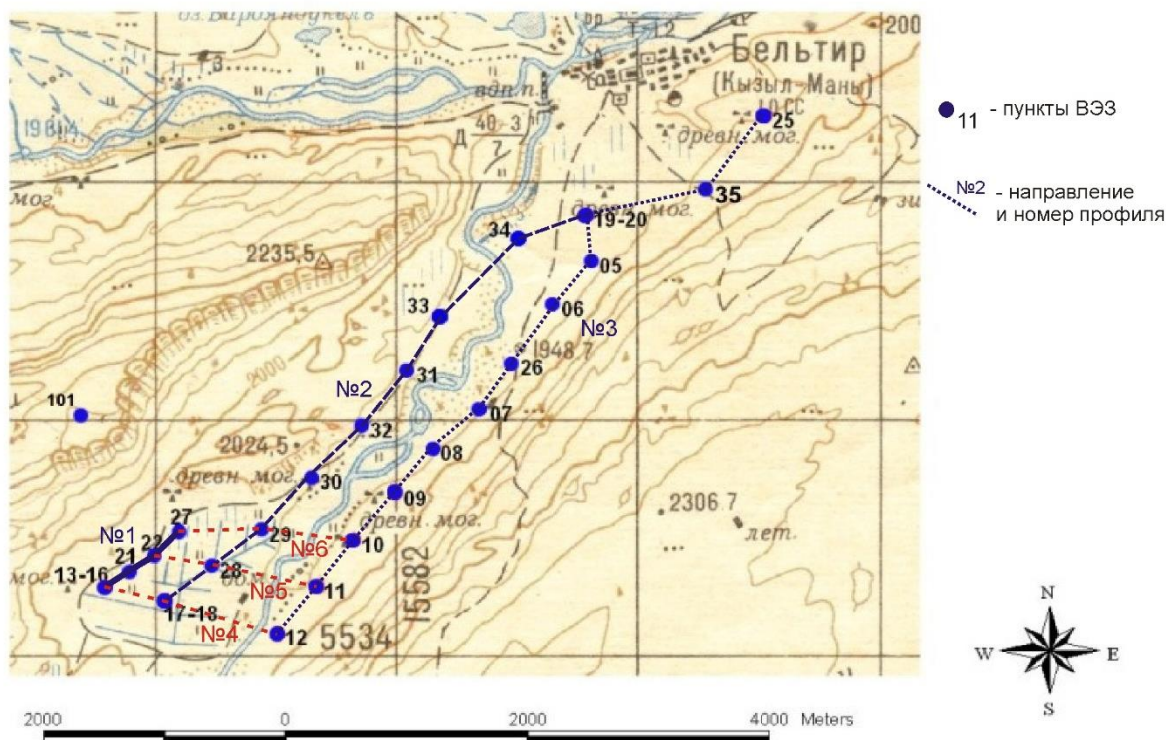


Рис. 1. Схема расположения пунктов ВЭЗ на полигоне «Бельтир».

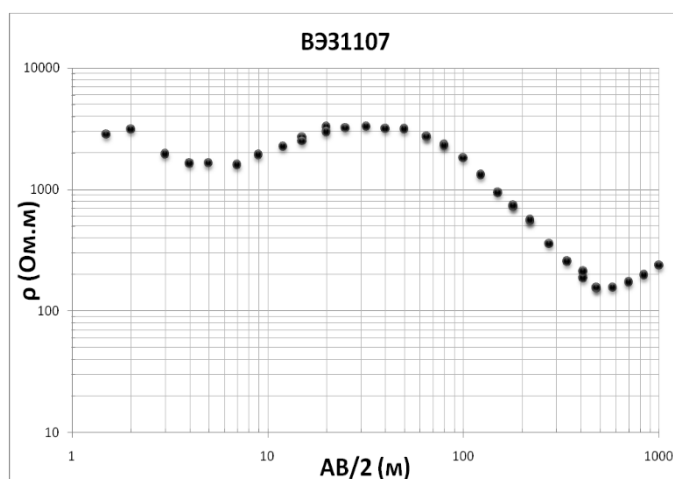
## Методика работ и интерпретация данных

Участок полевых наблюдений ВЭЗ расположен в 20 км от эпицентра Чуйского землетрясения. В верховьях реки Чаган после землетрясения образовалась система трещин, ориентированных преимущественно с северо-запада на юго-восток. Сейсмические дислокации наблюдались на поверхности долины в виде протяженных и глубоких трещин вспарывания длиной более 300 м, с расстоянием между бортами около 3 м. В 5 км от зоны трещиноватости в этой же долине находится протяженный участок, в пределах которого разрывных нарушений, видимых на поверхности, не обнаружено. Пункты зондирования были размещены в двух различных областях проявления последствий землетрясения. В трещиноватой зоне выполнены круговое и крестовое вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ 13-16, 17-18). Здесь же были проведены профильные измерения с шагом 250 метров (профиль 1) и с шагом 500 метров (профиль 2). Во второй области с отсутствием трещин размещено крестовое ВЭЗ 19-20. Круговое и крестовые ВЭЗ выполнены для исследования анизотропных характеристик разреза и повторяются ежегодно. Кроме того, повторяется часть пунктов наиболее протяженного профиля 3, выполненного на правом берегу р. Чаган.

Измерения ВЭЗ проводились симметричной градиентной четырехэлектродной установкой Шлюмберже. Размеры генераторной линии АВ/2 находятся в интервале от 1.5 до 1000 м. Полевые данные ВЭЗ проинтерпретированы с использованием программных комплексов моделирования и инверсии СОНЕТ, ZondIP в рамках горизонтально-слоистой модели среды [8]. Электротомография выполнена в долине р. Чаган впервые в 2012 году с использованием станции «Скала-48М», предназначенной для работы методом сопротивлений в различных модификациях [7]. Измерения проведены 48-электродной установкой Шлюмберже с расстоянием 5 метров между электродами. Двумерная инверсия выполнена при помощи программ Res2Dinv [9] и ZondRes2D [8].

## Результаты

По результатам одномерной интерпретации в комплексе СОНЕТ получена пятислойная модель среды. Характерная полевая кривая ВЭЗ и соответствующая ей геоэлектрическая модель приведена на рис 2.



	$\rho$ , (Ом· м)	H, (м)
1	200	1
2	120	0.5
3	3400	25
4	80	165
5	2000	

Рис. 2. Характерная полевая кривая ВЭЗ.

Два верхних маломощных слоя крайне неоднородны по удельному сопротивлению (УЭС), так как сложены речными отложениями различного состава: от мелкозернистых алевролитов до валунно-галечников. УЭС третьего слоя аномально высоко – от 5000 до 12000 Ом·м, что в соответствии с априорной информацией свидетельствует о присутствии многолетней мерзлоты.

На рис. 3 показан геоэлектрический разрез по профилю 3, который отражает блоковое строение участка, наличие разломов, а также особенности осадконакопления присущие всей Чуйской впадине с наличием на фундаменте мощного проводящего горизонта, сложенного тонкослоистыми песчано-глинистыми породами, на котором залегает высокоомные, неоднородные по составу породы.

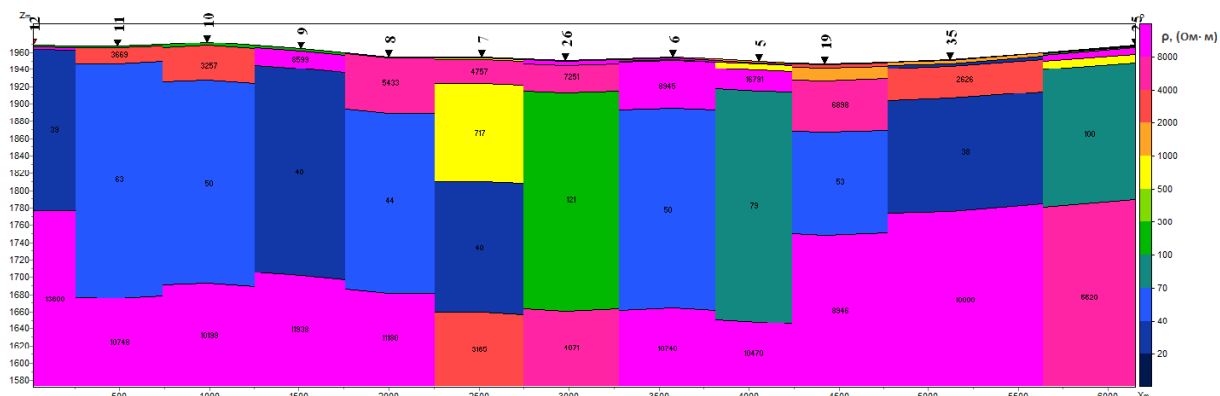


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по профилю №3 на правом борту р. Чаган по результатам одномерной инверсии в программе ZondIP

Математическое моделирование показало, что разрыв сплошности горных пород и образование в них трещин приводит к значительному изменению эффективной электропроводности даже при появлении их незначительного количества [5]. Это обстоятельство и является теоретическим обоснованием методики прогноза развития трещиноватости в среде на основе классических методов электроразведки. Для анализа выбраны кривые ВЭЗ, соответствующие различному направлению линии зондирования: для трещиноватой зоны одно направление выбрано параллельно простиранию трещин, выходящих на поверхность, другое — перпендикулярно. Для района без видимых нарушений азимуты разносов соответствовали параллельному и перпендикулярному направлениям электрического профиля. Рассматривая кривые крестового и кругового ВЭЗ в зоне трещин, можно заметить расхождение значений кажущегося сопротивления зондирований для различных азимут разносов. Максимальные величины кажущегося УЭС соответствуют линии зондирования, ориентированной в крест простирания трещин, а для зондирования вдоль трещин эти значения минимальны. На основе решения обратной задачи для крестовых и кругового ВЭЗ, как в зонах развития трещин, так и в зоне их отсутствия, получена количественная оценка электрической анизотропии разреза за годы наблюдений. Коэффициенты электрической анизотропии  $\Lambda$  рассчитаны для крестовых ВЭЗ как отношения суммарных продольных проводимостей вдоль и поперек выбранного направления.

В таблицах 1-3 приведены значения  $\Lambda$  за все годы измерений. Анализ данных табл. 1 свидетельствует о том, что в районе пункта ВЭЗ 13-16, расположенного в зоне развития трещин, со временем происходит уменьшение коэффициента электрической анизотропии. Вне зоны трещин (табл. 2)  $\Lambda$  имеет стабильное значение близкое к единице, таким образом, анизотропия и её вариации здесь фактически отсутствуют.

Табл. 1. Коэффициенты анизотропии для кругового ВЭЗ 13-16 в зоне трещин.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
$\Lambda_{13-14}$	4.87	1.19	0.79	0.74	0.78	0.86	0.67	0.60	0.80	0.67
$\Lambda_{15-16}$	2.04	1.05	0.90	0.94	1.06	0.90	0.81	0.96	0.86	1.00

Табл. 2. Коэффициенты анизотропии для крестового ВЭЗ 17-18 в зоне трещин.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
$\Lambda_{17-18}$	1.84	1.36	1.20	1.62	1.50	1.36	1.40	1.35	1.33	1.27

Табл. 3. Коэффициенты анизотропии для крестового ВЭЗ 19-20 вне зоны трещин.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
$\Lambda_{19-20}$	0.99	1	1.02	1.02	1.05	1.01	1.02	1.04	1.03	1.02

Пункт крестового ВЭЗ 17-18 расположен в зоне новых сейсмодислокаций афтершокового периода, поэтому значения  $\Lambda$  значительны и на протяжении 2004-2013 гг. изменяется в интервале от 1.8 до 1.2 (табл. 2).

Рассмотрение вариаций геоэлектрических параметров разреза за десять лет свидетельствует о том, что для участка кругового ВЭЗ происходит процесс консолидации геологического массива. Залечивание тектонических трещин наблюдается, на дневной поверхности, в ряде шурфов трещиноватого участка, полости заполняются мелкообломочным и илистым материалом. Можно отметить, что максимальные изменения коэффициента анизотропии произошли в течение первых двух лет наблюдений, а затем его значения изменяются в пределах 10-15 %, что вероятно отражает влияние происходящих геодинамических и гидрогеологических процессов, связанных с афтершоковыми воздействиями на среду. Можно считать, что установленное по полевым данным ВЭЗ уменьшение со временем параметров электрической анизотропии геологического массива в зоне трещин, образовавшихся после разрушительного события, характеризует процесс эволюции массива горных пород.

### **Заключение**

По результатам интерпретации данных ВЭЗ с использованием программ одномерной и двумерной инверсии уточнено геоэлектрическое строение на полигоне «Бельтир». Получены глубины до фундамента практически для всего участка исследований. В северо-восточной части участка между пунктами 5 и 19 на разрезах выявлен субвертикальный разлом, установлена его вертикальная амплитуда достигающая 50-70 метров.

На основе анализа вариаций электропроводности и коэффициента анизотропии в течение десяти лет наблюдений можно судить о процессе консолидации геологического массива, нарушенного сильным сейсмическим событием. Экспериментально доказана возможность применения параметра электрической анизотропии для мониторинга напряженного состояния среды.

По данным электротомографии уточнено строение верхней части разреза до глубин в 40-50 м, выявлены дислокации, связанные с современной сейсмической активностью.

### **Литература**

1. Девяткин Е.В. [1965] Кайнозойские отложения и неотектоника юго-восточного Алтая. Москва: Наука.
2. Неведрова Н.Н., Эпов М.И., Антонов Е.Ю. [2001] Реконструкция глубинного строения Чуйской Впадины Горного Алтая по данным электромагнитных зондирований. Геология и геофизика, т. 42, № 9, 1399-1416.
3. Неведрова Н.Н., Пономарев П.В., Деев Е.В. [2010] Геоэлектрические исследования Чуйской впадины Горного Алтая для уточнения ее строения и четвертичной истории. Иркутск, Первая международная научно – практическая конференция по электромагнитным методам исследования «Геобайкал 2010».
4. Эпов М.И., Дашевский Ю.А., Ельцов И.Н. [1990] Автоматизированная система интерпретации электромагнитных зондирований. Новосибирск, из-во Института геологии и геофизики СО АН.
5. В.П. Губатенко, В.А. Огаджанов, А.А. Назаров. [2000] Мониторинг динамики разуплотнения горных пород методами электроразведки. «Физика земли, №9, 103-109.
6. Б.Н. Лузгин, Г.Г. Русанов. [1992] Особенности формирования неогеновых отложений юго-востока Горного Алтая. «Геология и геофизика» т.4, 23-27.
7. <http://nemfis.ru/>
8. <http://zond-geo.ru/>
9. <http://www.geotomosoft.com/>