

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ ПО ДАННЫМ МЕТОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА В РАЙОНЕ БЫСТРОВСКОГО ПОЛИГОНА (БЕРЕГ ВОДОХРАНИЛИЩА В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ)**

### ***Александр Евгеньевич Шалагинов***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доцент, тел. (913)788-91-31, e-mail: ShalaginovAE@ipgg.sbras.ru

### ***Нина Николаевна Неведрова***

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; Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1, доцент, тел. (913)890-26-45, e-mail: NevedrovaNN@ipgg.sbras.ru

### ***Айдиса Михайловна Санчаа***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (913)920-17-48, e-mail: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru

### ***Илья Олегович Шапаренко***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, младший научный сотрудник, тел. (952)926-25-83, e-mail: ShaparenkoIO@ipgg.sbras.ru

### ***Петр Валерьевич Пономарев***

Сейсмологический филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, инженер-геофизик, тел. (913)713-71-83, e-mail: petruss@bk.ru

В статье представлены результаты исследования электрической анизотропии двумя методами постоянного тока (вертикального электрического зондирования и электротомографией) в районе Быстровского полигона, на берегу Новосибирского водохранилища. С учетом априорных скважинных данных определены параметры геоэлектрической модели и анизотропные характеристика разреза. На участке исследования по данным двух методов выявлена электрическая анизотропия опорного геоэлектрического горизонта, представленного глинистыми сланцами. Кроме того, определено основное направление распространения трещин.

**Ключевые слова:** геоэлектрическое строение, вертикальное электрическое зондирование, электротомография, электрическая анизотропия.

## **ELECTRICAL ANISOTROPY ACCORDING TO DC METHODS IN THE BYSTROVKA FIELD AREA (SHORE RESERVOIR IN THE NOVOSIBIRSK REGION)**

### ***Aleksandr E. Shalaginov***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., senior researcher; Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, associate professor, phone: (913)788-91-31, e-mail: ShalaginovAE@ipgg.sbras.ru

### ***Nina N. Nevedrova***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Leading Researcher; Novosibirsk National Research State University, 1, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, Associate Professor, phone: (913)890-26-45, e-mail: NevedrovaNN@ipgg.sbras.ru

### ***Aidisa M. Sanchaa***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Leading Researcher, phone: (913)920-17-48, e-mail: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru

### ***Ilya O. Shaparenko***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Junior Researcher, phone: (952)926-25-83, e-mail: ShaparenkoIO@ipgg.sbras.ru

### ***Petr V. Ponomarev***

Seismological Branch of Federal Research Center «United Geophysical Survey RAS», 3, Prospect Akademik Koptyug, Novosibirsk, 630090, Russia, Geophysicist, phone: (913)713-71-83, e-mail: petruss@bk.ru

The article presents the results of the study of electrical anisotropy by two methods of DC (vertical electrical sounding and electrical tomography) in the area of the Bystrovka field area, on the shore of the Novosibirsk reservoir. Taking into account a priori well data, the parameters of the geoelectric model and the anisotropic characteristics of the section are determined. On the site of the study, according to the data of two methods, electrical anisotropy observed in the reference geoelectric horizon, represented by shale. In addition, the main direction of crack propagation is determined.

**Key words:** geoelectric structure, vertical electric sounding, ERT, electrical anisotropy.

Фундаментальный интерес представляет реакция зон трещиноватости на изменение внешних условий, влияющих на напряженно-деформируемое состояние среды. Наличие системы субвертикальных трещин с преобладающей ориентацией в азимутальном направлении будет порождать эффективную азимутальную анизотропию, которая проявляется в электромагнитных полях [1]. Поскольку участок исследования расположен на берегу водохранилища, то изменение количества флюида в трещинах, связанное с изменением уровня воды в водохранилище или степень их раскрытия должны быть заметны в результатах электромагнитных измерений.

Участок исследования расположен в Искитимском районе Новосибирской области, недалеко от п. Быстровка. Исследование анизотропии в районе Быстровского полигона были выполнены с использованием двух методов постоянного тока: электротомографии (ЭТ) и вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) по методике круговых наблюдений (рис. 1). Комплексирование методов постоянного тока выполнено для более надежного определения параметров геоэлектрической модели и для контроля измерений.



Рис. 1. Участок исследования и схема измерений методами геоэлектрики

На территории восточной части Новосибирской области, включая Быстровский полигон, расположенный на берегу Новосибирского водохранилища, имеются участки с неглубоким залеганием сланцев. Геологический разрез участка восстановлен по данным скважины № 10-913 (табл. 1), которая расположена примерно в 200 м от места измерений ВЭЗ и ЭТ.

Таблица 1

Геологический разрез скважины №10-913

№ пп	Описание пород	Глубина подошвы слоя, м	Мощность слоя, м
1.	Суглинок желтый	1,5	1,5
2.	Глина серая: в интервале 19-20 м песок мелкозернистый. Ниже глина плотная, вязкая	25	23,5
3.	Глинистые сланцы, черные, трещиноватые с признаками выветривания	34	9
4.	Сланцы глинистые, серые, окварцованные (местами окремненные) слабо трещиноватые	114	80

В разрезе по скважине содержится четыре слоя, из которых два верхних до глубины в 25 м представлены осадочными низкоомными породами, третий слой сложен глинистыми трещиноватыми сланцами с признаками выветривания и в подстилающем горизонте находятся более консолидированные окварцованные сланцы [2].

Измерения обоими методами выполнены с центром в одной и той же точке. Зондирования методом электротомографии (ЭТ) выполнены с использованием аппаратуры «Скала-48». Измерения выполнялись установкой «Шлюмберже» с расстоянием между электродами 5 м, с максимальным разномом АВ 235 м. Интерпретация полученных данных выполнялась в программном комплексе ZONDRes2D [3]. По полученным данным электротомографии построены контурные диаграммы распределения  $\rho_k$  (рис. 2). Принцип построения контурных диаграмм состоял в том, что все измеренные значения  $\rho_k$  были снесены на выбранную координатную сетку, где координаты X и Y привязаны к размерам разноса АВ/2 либо кругового измерения ВЭЗ, либо электротомографии [4].

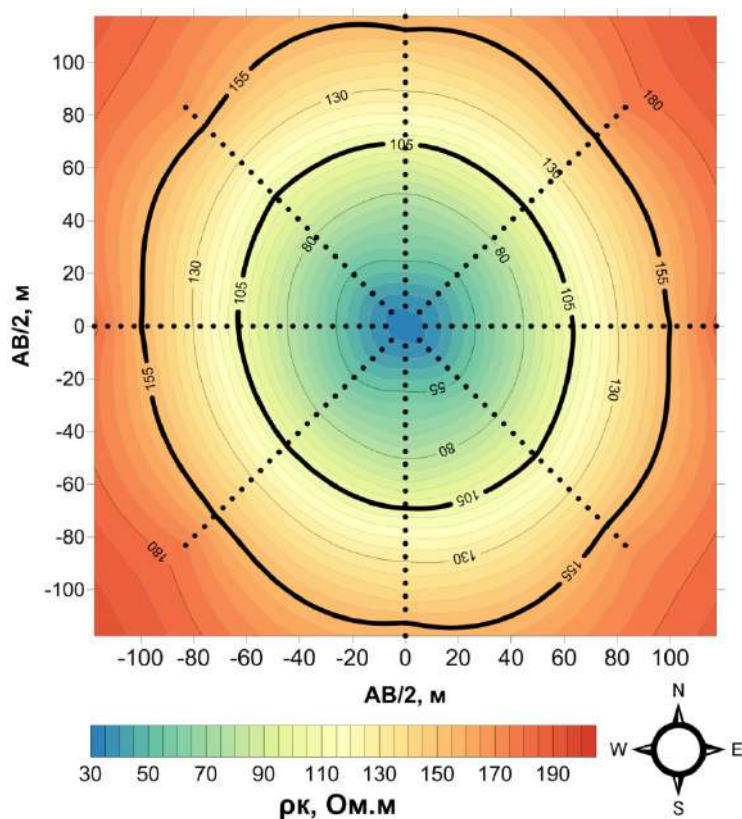


Рис. 2 . Контурная диаграмма по данным круговых наблюдений методом ЭТ

Для однородного изотропного полупространства картина распределения  $\rho_k$  центральносимметричная, а форма изолиний соответствует концентрическим окружностям, для реальной геологической среды эта форма может нарушаться и превращается в эллипс из-за присутствия анизотропии.

Коэффициенты электрической анизотропии ( $\lambda$ ) кругового измерения ЭТ были рассчитаны по разным азимутам для каждого слоя геоэлектрической модели в отдельности и всего разреза в целом ( $\lambda_{\Sigma}$ ) как отношение суммарной продольной проводимости разреза вдоль и поперек выбранного направления (табл. 2).

Таблица 2

Геоэлектрические модели и коэффициенты анизотропии по данным ЭТ

Азимут		0°	90°		45°	135°		
№ слоя	h, м	$\rho$ , Ом.м	$\rho$ , Ом.м	$\lambda$ 0-90	$\rho$ , Ом.м	$\rho$ , Ом.м	$\lambda$ 45-135	
1	2	28	27	0.98	27	25	0.96	
2	17	40	40	1.00	40	40	1.00	
3	25	240	485	1.42	285	300	1.03	
4		640	800	1.12	625	700	1.06	
				$\lambda_{\Sigma} = 1.04$				$\lambda_{\Sigma} = 1.00$

Пункт вертикального электрического зондирования был расположен в тех же координатах, что и измерения ЭТ. Измерения выполнены аппаратурой SGD-ASTRA и SGD-MERY24, с максимальным разносом АВ/2 220 м. Для примера показаны полевые кривые ВЭЗ по двум азимутам (0° и 90°) (рис. 3). Видно, что кривые по разным азимутам различаются, причем на малых разносах это может быть связано с присутствием приповерхностных неоднородностей, а для восходящей ветви, руководствуясь информацией по скважине, влияет присутствие анизотропии горных пород.

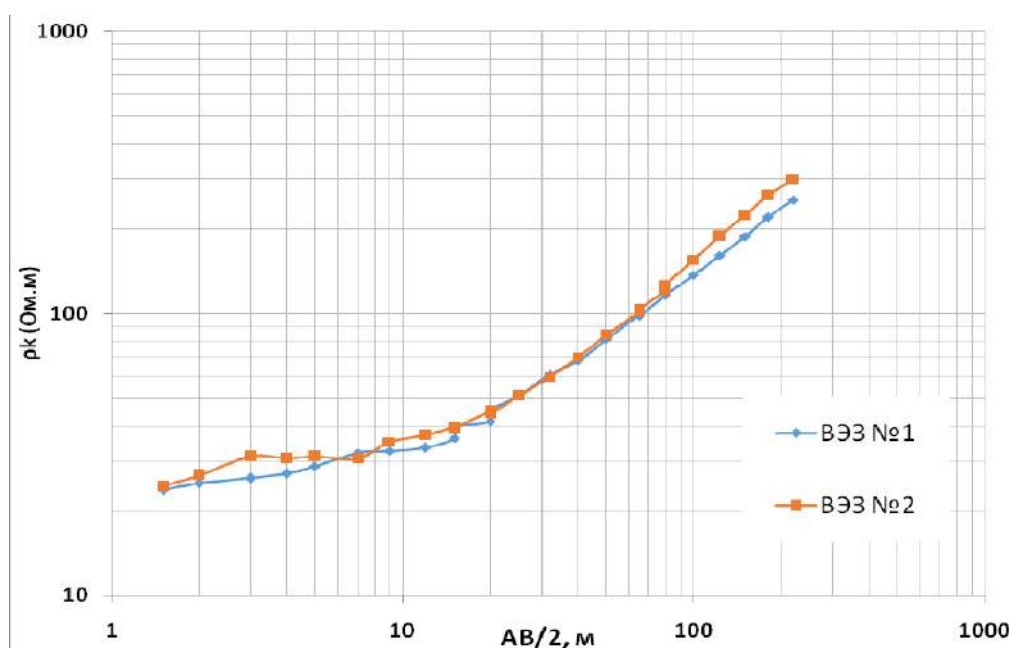


Рис 3. Полевые кривые ВЭЗ №1 (азимут 0°) и ВЭЗ №2 (азимут 90°)

Интерпретация данных ВЭЗ выполнена с использованием программы ZondIP [5]. В табл. 3 приведены геоэлектрические модели и коэффициенты анизотропии, полученные по результатам решения обратной задачи. Коэффициенты электрической анизотропии по данным ВЭЗ также были рассчитаны для каждого слоя в отдельности и как отношение суммарной продольной проводимости разреза вдоль и поперек выбранного направления ( $\lambda_{\Sigma}$ ) по формуле:

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_i^{\parallel}}{\sum_{i=1}^n S_i^{\perp}}}$$

где  $S_i = \frac{h_i}{\rho_i}$ ,  $n$  – количество слоев.

Таблица 3

Геоэлектрические модели и коэффициенты анизотропии по данным ВЭЗ №1 и №2

№ слоя	ВЭЗ №1		ВЭЗ №2		$\lambda$
	$\rho$ , Ом.м	$h$ , м	$\rho$ , Ом.м	$h$ , м	
1	23	2	25	2	1
2	39	17	38	17	1
3	245	25	485	25	1.3
4	750		1300		1.4
$\lambda_{\Sigma} = 1.04$					

Из сопоставления значений коэффициентов анизотропии по данным ВЭЗ и ЭТ для азимутов  $0^{\circ}$  и  $90^{\circ}$ , видно, что они практически совпадают. Максимальные значения коэффициентов анизотропии получены для двух нижних слоев разреза (глинистые сланцы и трещиноватые кристаллические сланцы).

#### Выводы

По результатам выполненного исследования определено геоэлектрическое строение и анизотропные характеристики геологического разреза в районе Быстровского полигона. Выявлено, что максимальные значения коэффициента электрической анизотропии наблюдаются в направлении север-юг, что соответствует ориентации направления основных трещин с запада на восток.

Побережье Новосибирского водохранилища является перспективной площадкой для исследования реакции трещиноватых зон на внешние воздействия, например такие, как обводненность трещин в разные климатические сезоны.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мониторинг динамики разуплотнения горных пород методами электроразведки / В.П. Губатенко, В.А. Огаджанов, А.А. Назаров // Физика земли. – 2000. – № 9. – С. 103– 109.
2. Новиков И. С. Геолого-геоморфологическое строение Новосибирского Приобья, Новосибирск: НГУ, 1993. 36 с.

3. Каминский, А. Е. Программа ZondRes2D. URL: <http://zond-geo.com>.
4. Сейсмическая и электрическая анизотропия как индикатор напряженного состояния трещиноватого массива горных пород / Ю.А Дашевский, В.А. Куликов, Н.Н. Неведрова и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2006.- № 4. - С. 31-46.
5. Каминский, А. Е. Программа ZondIP. URL: <http://zond-geo.com>.

*© А. Е. Шалагинов, Н. Н. Неведрова, А. М. Санчаа,  
И. О. Шапаренко, П. В. Пономарев, 2019*