

УДК: 550.372 + 537.87

DOI: 10.26907/rwp29.2025.392-395

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОДСТИЛАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВОСТОКА РОССИИ В НИЗКОЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ РАДИОДИАПАЗОНА

Д.Г. Буянова, Л.Х. Ангархаева, Ю.Б. Башкуев

*Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
E-mail: buddich@mail.ru*

**Аннотация.** Доклад посвящен изучению электрических свойств неоднородной подстилающей среды востока России в низкочастотной области радиодиапазона. С помощью наземных и дистанционных (с борта самолета) методов радиоимпедансного зондирования и профилирования получен и систематизирован значительный объем информации об электрических свойствах различных типов горных пород в СНЧ-СДВ-ДВ-СВ диапазонах радиоволн. Обобщены количественные характеристики модуля и фазы поверхностного импеданса и эффективного сопротивления различных типов горных пород верхней части земной коры. По средним значениям модуля, фазы поверхностного импеданса и эффективного сопротивления проведено решение обратной электродинамической задачи с целью получения среднего обобщенного геоэлектрического разреза для территории востока России.

**Ключевые слова:** электрические свойства; радиоимпедансное зондирование; СНЧ-СДВ-ДВ-СВ; обратная задача

## ELECTRICAL PROPERTIES OF THE UNDERLYING MEDIUM OF THE EAST OF RUSSIA IN THE LOW-FREQUENCY RADIO RANGE

D.G. Buyanova, L.Kh. Angarkhaeva, Yu.B. Bashkuev

**Abstract.** The report is devoted to the study of the electrical properties of the heterogeneous underlying medium of the east of Russia in the low-frequency band of the radio range. A significant amount of information on the electrical properties of various types of rocks in the ELF-VLF-LF-MF radio wave bands has been obtained and systematized using ground-based and remote (from aircraft) radio impedance sounding and profiling methods. Quantitative characteristics of the modulus and phase of the surface impedance and effective resistance of various types of rocks in the upper part of the earth's crust are summarized. Based on the average values of the modulus, the phase of the surface impedance and the effective resistance, the inverse electrodynamic problem was solved in order to obtain an average generalized geoelectric section for the territory of eastern Russia.

**Keywords:** electrical properties; radio impedance sounding; ELF-VLF-LF-MF; inverse problem

### Введение

Рассмотрены результаты исследования электрических свойств, строения и структуры неоднородной подстилающей среды востока России в низкочастотной области радиодиапазона. С помощью наземных и дистанционных (с борта самолета) методов радиоимпедансного зондирования и профилирования [1,2] получен и систематизирован значительный объем информации об электрических свойствах различных типов горных пород в СНЧ-СДВ-ДВ-СВ диапазонах радиоволн.

### Цель работы

Целью работы является обобщение количественных характеристик модуля и фазы поверхностного импеданса и эффективного сопротивления различных типов горных пород верхней части земной коры.

### Решаемые задачи

Описание законов распределения электрических параметров однотипного комплекса горных пород и поверхностного импеданса. Определение среднего обобщенного геоэлектрического разреза для территории востока России.

**Интерпретация экспериментальных результатов и их анализ**

Обобщенные количественные характеристики модуля поверхностного импеданса  $|\delta|$  и его фазы  $\varphi_\delta$ , а также эффективного сопротивления  $\bar{\rho}$  различных типов горных пород верхней части земной коры представлены в табл. 1. Эффективное сопротивление в СНЧ диапазоне в среднем в 10–30 и более раз выше, чем в СДВ-ДВ-СВ диапазонах.

Таблица 1. Статистические характеристики поверхностного импеданса и эффективного сопротивления

$f$ , кГц	$ \delta , 10^{-3}$				$\varphi_\delta$ , град.				$\bar{\rho}$ , кОм·м			$N$
	мин.	макс.	средн.	макс. мин.	мин.	макс.	средн.	$\Delta \arg \delta$	мин.	макс.	средн.	
0.033	0.2	8.9	3	46.8	-61	-14	-34	47	0.02	43	7.8	21
0.044	0.4	9.5	3.4	25	-49	-5	-28	44	0.06	37	7.5	23
0.082	0.6	26.6	7	44.3	-82	-7	-35	75	0.08	155	18.5	86
0.88	0.8	17.7	6.7	22.1	-52	-11	-30	41	0.06	30	6.6	31
17.4	2.3	97	16	42	-76	-24	-54	52	0.005	10	0.3	76
50	9	110	22	12.3	-66	-22	-46	46	0.028	2.5	0.2	50
200	7.6	178	55	23.4	-70	-24	-41	46	0.005	3.3	0.2	116
236	8.8	187	59	21.3	-72	-25	-41	47	0.007	3.3	0.27	104
281	9.7	198	63	20.4	-70	-22	-40	48	0.006	2.5	0.27	181
560	10.8	230	92	21.3	-64	-16	-36	48	0.003	2.5	0.26	126
665	17	240	96	14.1	-53	-21	-36	32	0.021	2	0.25	37

Из табл. 1 следует, что фаза импеданса  $\varphi_\delta$  попадает в индуктивную область, а модуль импеданса  $|\delta|$  и эффективное сопротивление  $\bar{\rho}$  изменяются в очень широких пределах, например, эффективное сопротивление  $\bar{\rho}$  от 20 Ом·м до 155 кОм·м. Максимальные значения эффективного сопротивления  $\bar{\rho}$  установлены в СНЧ и СДВ диапазонах. Они в 10-20 и более раз выше, чем в ДВ-СВ диапазонах. Существенное различие определяется толщиной скин-слоя. В СНЧ диапазоне его толщина достигает 5-15 км в зависимости от свойств земной коры. Для кристаллических горных пород с высоким эффективным сопротивлением  $\bar{\rho}$  скин-слой существенно больше, чем для более проводящих осадочных пород.

На большом фактическом материале показано, что статистические распределения удельного электрического сопротивления  $\rho_i$  и толщины  $h_i$  однотипного комплекса горных пород хорошо описываются логнормальным законом. Также для однотипного комплекса пород установлено, что в СНЧ-СДВ-ДВ-СВ диапазонах распределения хорошо аппроксимируются логнормальным законом для величин модуля импеданса  $|\delta|$ , его действительной  $\text{Re}\delta$  и мнимой  $\text{Im}\delta$  частей, эффективного сопротивления  $\rho$  и нормальным законом для фазы импеданса  $\varphi_\delta$ . Установлено, что действие различных природных факторов и изменение частоты приводит к изменению параметров статистических моделей с сохранением закона распределения. На рис. 1 для наглядного и более понятного восприятия результатов измерений (табл. 1) представлены частотные зависимости модуля (а), фазы (б) поверхностного импеданса и эффективного сопротивления (в) для территории востока России.

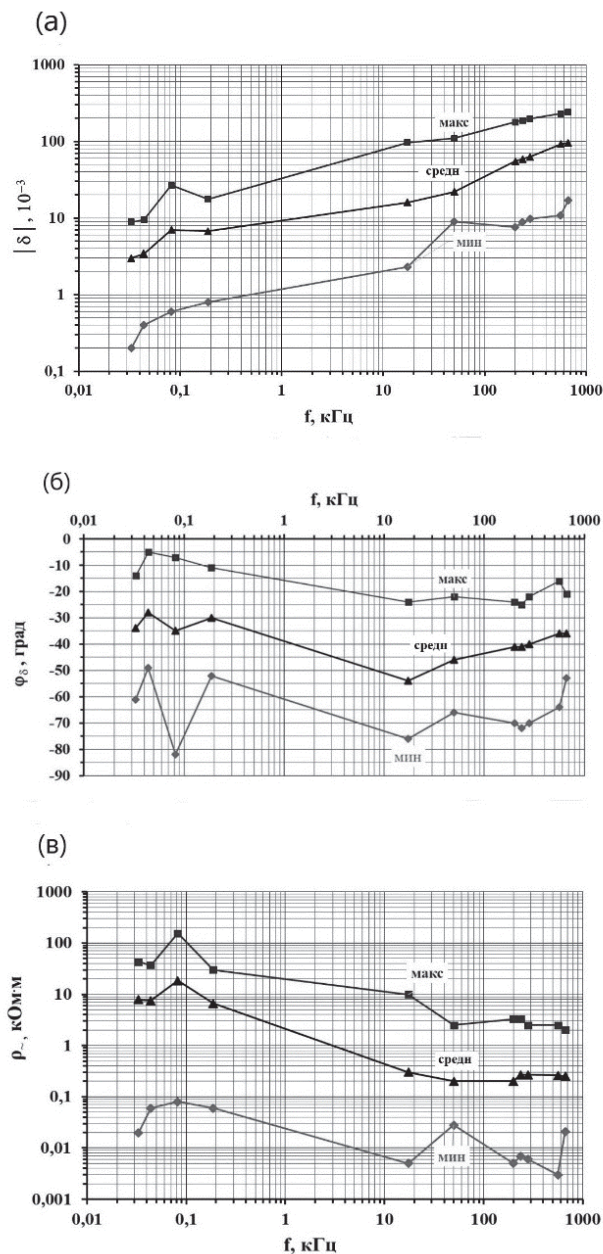


Рис. 1. Частотные зависимости модуля (а), фазы (б) приведенного поверхностного импеданса и эффективного сопротивления (в) для территории востока России

### Обобщенный геоэлектрический разрез

По средним значениям модуля  $|\delta|$ , фазы  $\varphi_\delta$  поверхностного импеданса и эффективного сопротивления  $\rho_-$  проведено решение обратной электродинамической задачи в СНЧ-СДВ-ДВ-СВ диапазонах радиоволн с целью получения среднего обобщенного геоэлектрического разреза для территории востока России. На рис. 2 представлены результаты решения обратной задачи для пятислойного геоэлектрического разреза.

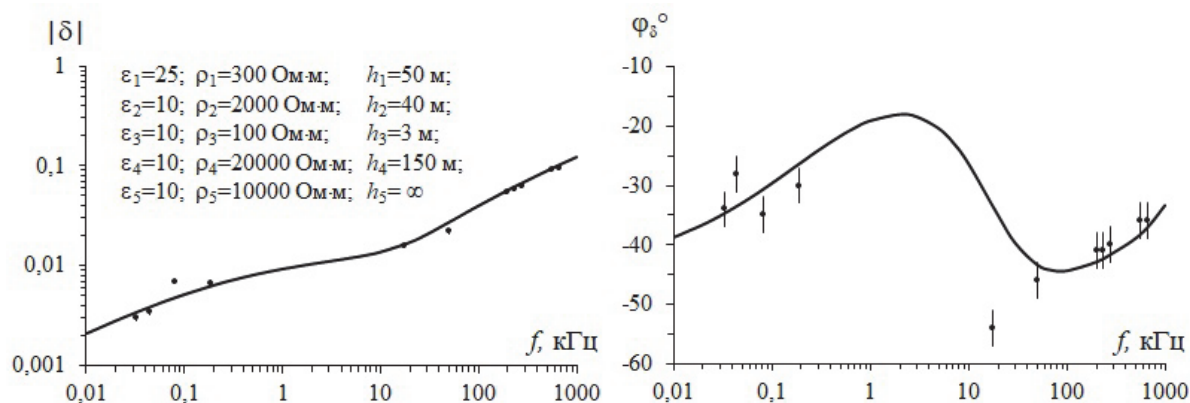


Рис. 2. Результаты решения обратной задачи для пятислойного геоэлектрического разреза

Анализ данного разреза показывает, что верхние три слоя разреза характеризуют вулканогенно-осадочные горные породы толщиной 93 метра. Они залегают на плохо проводящем кристаллическом фундаменте с удельным электрическим сопротивлением 20000 и 10000 Ом·м. Обращаем внимание на то, что решение обратной электродинамической задачи в СНЧ-СДВ-ДВ-СВ диапазонах радиоволн проведено для среднего обобщенного геоэлектрического разреза территории востока России. Результаты реальных зондирований могут в действительности отличаться от данной модельной интерпретации.

### Заключение

По средним значениям модуля  $|\delta|$ , фазы  $\varphi_\delta$  приведенного поверхностного импеданса и эффективного сопротивления  $\rho$  решена обратная электродинамическая задача в СНЧ-СДВ-ДВ-СВ диапазонах радиоволн. Получен средний обобщенный геоэлектрический разрез территории востока России.

Результаты исследования электрических свойств слоистых сред востока России вносят вклад в понимание физических процессов взаимодействия СНЧ-СДВ-ДВ-СВ электромагнитных волн с природными средами в части возбуждения и распространения радиоволн вблизи импедансных границ раздела.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФМ СО РАН (тема № 0270-2024-0008 «Развитие радиофизических методов исследования динамики поверхности суши, водоемов и атмосферы Земли в СНЧ-СДВ-ДВ-СВ и СВЧ диапазонах радиоволн»).

### Список литературы

1. Цыдыпов Ч.Ц., Цыденов В.Д., Башкуев Ю.Б. Исследование электрических свойств подстилающей среды. – Новосибирск: Наука, 1979. – 176 с.
2. Башкуев Ю.Б., Буянова Д.Г. Электрические свойства кристаллических массивов востока России. – Улан-Удэ: Изд-во ИМБТ СО РАН, 2024. – 108 с.