

УДК 550.837.7 + 550.372  
DOI: 10.23671/VNC.2018.1.11185

## КАРТА ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ ЮГА РОССИИ И КАВКАЗА

© 2017 Ю. Б. Башкуев, д. т. н., проф., В. С. Доржиев, к. г.-м. н.,  
В. Р. Адвокатов, к. ф.-м. н., Л. Х. Ангархаева, к. ф.-м. н.

ФГБУН Институт физического материаловедения Сибирского отделения  
Российской академии наук, Россия, 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул.  
Сахьяновой, 6, e-mail: buddich@mail.ru

Детальное знание электрических свойств, строения и пространственного расположения различных комплексов горных пород необходимо при решении задач излучения и распространения электромагнитных волн в неоднородных средах с границами раздела сложной формы. Первичной основой образно-знаковых моделей электрического состояния верхней части земной коры могут служить разномасштабные карты электрических свойств (проводимости или геоэлектрических разрезов) стран и континентов, составленные в соответствии с определенными классификационными признаками. Неоднородная в электрическом отношении геологическая среда искажает амплитудно-фазовую структуру электромагнитного поля. Существенное повышение точности расчетов электромагнитного поля в широком диапазоне волн (от СДВ и до СВ-КВ) стало возможным с использованием прогнозных карт геоэлектрических разрезов (ГЭР), учитывающих слоистую структуру подстилающей среды. На них отражено площадное распределение различных типов ГЭР с указанием удельного электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости и толщины каждого слоя ГЭР. Эти параметры позволяют рассчитать необходимые для прогнозирования условий распространения электромагнитных волн значения поверхностного импеданса, функции ослабления и уровня поля в широком диапазоне частот. Статья содержит результаты геоэлектрического картирования территории юга России и Кавказа. Изложена методология геоэлектрического картирования. Создана карта геоэлектрических разрезов (ГЭР) юга России и Кавказа масштаба 1:2500000. Эта карта позволяет в 1,5-3 раза увеличить точность расчетов электромагнитных полей по сравнению с существующей картой Моргана-Максвелла.

**Ключевые слова:** горные породы, электрические свойства, геоэлектрический разрез, геоэлектрическое картирование.

### Введение

Детальное знание электрических свойств, строения и пространственного расположения различных комплексов горных пород необходимо при решении задач излучения и распространения электромагнитных волн в неоднородных средах с границами раздела сложной формы, в частности при исследованиях электромагнитного излучения литосферной природы. Первичной основой образно-знаковых моделей электрического состояния верхней части земной коры могут служить разномасштабные карты электрических свойств (проводимости или геоэлектрических разрезов) стран и континентов, составленные в соответствии с определенными классификационными признаками. Так, например, на практике часто используется Мировой атлас проводимости почвы, подготовленный и изданный Международным союзом электросвязи [Мировой атлас..., 2012]. Также широко известны карты эффективной проводимости континентов мира Моргана-Максвелла, США, Канады, Финляндии, Италии, Японии и других стран [Doshu et al., 1967; Eliassen, 1957;

Fine, 1954; Ireland, 1961; Morgan, Maxwell, 1965], на которых систематизированы в рамках однородной модели среды данные об электрических свойствах горных пород. Эти карты составлены по результатам измерений напряженности поля ДВ-СВ радиовещательных станций. Они справедливы для конкретных частот отдельных радиостанций и не могут быть использованы в широком диапазоне частот. Работы по составлению подобных карт требуют наличия широко развитой сети радиостанций и больших затрат.

Неоднородная в электрическом отношении геологическая среда искажает амплитудно-фазовую структуру электромагнитного поля. Поскольку на структуру и уровень электромагнитного поля оказывает существенное влияние слоистость земной коры, то возникла необходимость учета этого фактора. Существенное повышение точности расчетов электромагнитного поля в широком диапазоне волн (от СДВ и до СВ-КВ) стало возможным с использованием прогнозных карт геоэлектрических разрезов, учитывающих слоистую структуру подстилающей среды. На них отражено площадное распределение различных типов ГЭР с указанием удельного электрического сопротивления  $\rho_j$  (величина, обратная удельной проводимости  $\sigma_j=1/\rho_j$ ), диэлектрической проницаемости  $\epsilon_j$  и толщины  $h_j$  каждого слоя ГЭР. Эти параметры позволяют рассчитать необходимые для прогнозирования условий распространения электромагнитных волн значения поверхностного импеданса  $\delta$ , функции ослабления  $W$  и уровня поля  $E$  в широком диапазоне частот.

Целью работы является разработка принципов комплексной интерпретации данных различных методов геоэлектрики, обобщение фондовых геоэлектрических материалов; построение общих моделей геоэлектрического строения основных областей региона на глубину скин-слоя; выбор шкалы градаций ( $\rho_j, h_j$ ); создание карты геоэлектрических разрезов юга России и Кавказа.

### **Методика геоэлектрического картирования и обработки информации об электрических свойствах горных пород**

Под геоэлектрической моделью подстилающей среды обычно понимается описание последней с помощью семейства параметров, которые выражаются удобными для расчетов электромагнитного поля функциями координат. Простейшей геоэлектрической моделью подстилающей среды является модель, в которой различные ее области характеризуются своей, не зависящей от глубины, эффективной проводимостью  $\sigma$  (эффективным сопротивлением  $\rho^{-}$ ). Более близкой к действительности является широко используемая в геоэлектрике модель с горизонтально-слоистой структурой отдельных областей [Вешев, 1980; Мельников, 1977; Цицишвили, 1980; Якупов, 1968]. Такая модель подстилающей среды в локальной точке описывает ГЭР, дифференцированный по  $\rho_j, \epsilon_j$  и  $h_j$  каждого слоя [Башкуев, 1996; Цыдыпов и др., 1979]. Она реализуется в виде карт параметров ГЭР. По ней можно строить различные, в зависимости от назначения, частоты и критерия точности геоэлектрические модели подстилающей среды. Влияние подстилающей среды на электромагнитное поле обычно учитывается комплексной величиной поверхностного импеданса  $\delta$ , определяемого электрическими параметрами и структурой подстилающей среды.

Под составлением карты параметров ГЭР нами понимается определение площадного распределения различных типов ГЭР, оценка сопротивления  $\rho_j$  и толщины  $h_j$  отдельных слоев разреза по всей площади карты на основе всего объема собран-

ных по региону фондовых (архивных) материалов или результатов измерений. Задача сводится к определению типа ГЭР (например,  $\rho_1 > \rho_2$  или  $\rho_1 < \rho_2$ ) однородной области и ее границ и статистической оценке параметров  $\rho_j$  и  $h_j$ . Карта ГЭР представляет генерализованное отображение реальной геоэлектрической ситуации, точность которого определяется детальностью наблюдений и их генерализацией в соответствии с масштабом построений (в картографии генерализация – это отбор главного, существенного и его целенаправленное обобщение соответственно назначению, тематике и масштабу карты).

Основным источником информации о параметрах  $\rho_j$  и  $h_j$  верхних горизонтов земной коры являлись материалы вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ). Основанием для широкого использования метода ВЭЗ при геоэлектрическом картировании явились хорошая сходимость значений расчетных по данным ВЭЗ и измеренных по данным радиоэлектромагнитного зондирования (РЭМЗ) частотных зависимостей значений модуля и фазы поверхностного импеданса, а также отсутствие частотной дисперсии проводимости талых горных пород в диапазоне частот до 5 МГц [Башкуев, 1996; Башкуев, Адвокатов, 2012; Башкуев и др., 2002, 2003; Доржиев и др., 1987]. Сходимость результатов ВЭЗ и РЭМЗ подтверждает правомочность комплексирования этих методов для изучения электрических параметров слоистой подстилающей среды в СДВ-ДВ-СВ диапазонах электромагнитных волн. Это дает возможность использовать многочисленные фондовые материалы ВЭЗ, что значительно ускоряет и удешевляет прогнозирование ГЭР больших регионов [Башкуев, 1996; Доржиев и др., 1987; Цыдыпов и др., 1979].

Исходными данными при составлении прогнозных карт ГЭР являются:

- 1) геологическая карта СССР масштаба 1:2500000 под редакцией Д. В. Наливкина [Геологическая карта..., 1965];
- 2) архивные и опубликованные материалы геоэлектрических исследований (преимущественно методом ВЭЗ) в Турции, Иране, Пакистане и Афганистане, в пустынях Средней Азии, в горных системах Памир и Кавказ [Джафаров, Лиадзе, 1977; Курскеев и др., 1982; Одеков и др., 1976; Цицишвили, 1980; Nomilius, 1969; Гаджиев и др., 1975];
- 3) результаты электроразведочных работ, проведенных на территории Сибири и Монголии [Башкуев, 1996; Доржиев и др., 1987; Цыдыпов и др., 1979].

При создании карты ГЭР юга России и Кавказа широко использованы фондовые (архивные) геофизические материалы производственного геологического объединения (ПГО) «Зарубежгеология», Управлений геологии Грузии, Туркменистана, Таджикистана. В карте нашли отражение экспериментальные материалы Института физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФМ СО РАН), полученные при геоэлектрических исследованиях в 1971-2017 гг. на территории Азии методами ВЭЗ и РЭМЗ [Башкуев, 1996; Доржиев и др., 1987; Цыдыпов и др., 1979; Башкуев, Адвокатов, 2012; Башкуев и др., 2002, 2003].

Геологическая служба России (бывшего СССР) имеет Всероссийский геологический фонд, в архивах которого хранятся все отчеты о выполненных российскими специалистами геолого-геофизических работах на территории России и других стран. На каждый лист масштаба 1:1000000 имеется схема геолого-геофизической изученности территории с указанием номера геологического отчета. В каждом отчете есть раздел геофизических работ, содержащий материалы электроразведочных работ с точной топографической привязкой профилей ВЭЗ и кривыми кажущего-

ся сопротивления  $\rho_k$ . Как правило, кривые  $\rho_k$  проинтерпретированы в рамках 2-4 слойной горизонтально-слоистой модели среды и приведено геологическое описание комплексов горных пород. Таким образом, в геологических отчетах имеются десятки проинтерпретированных кривых ВЭЗ с топографической и геологической привязкой по слоям к различным комплексам горных пород. Специалист-геофизик на первом этапе проводит сбор и обобщение большого количества экспериментальных данных об электрических свойствах различных по составу и генезису горных пород заданного региона. На втором этапе проводится статистическая обработка параметров геоэлектрических разрезов. При этом решающее значение имеет правильная геологическая оценка разрезов и последующее группирование данных по комплексам горных пород с учетом их вещественного состава, генезиса и возраста. Для выбора методов обработки входной информации, получения средних значений, оценки шкалы градаций  $\rho_j$  и  $h_j$  проводится определение статистического закона распределения электрических параметров.

Вероятностная модель ГЭР наиболее полно соответствует природе изучаемого объекта – слоистой подстилающей среды [Вешев, 1980; Мельников, 1977; Якупов, 1968; Тройан, Наукава, 2002]. При статистической обработке архивных данных об электрических свойствах горных пород принята гипотеза о логарифмически нормальном законе распределения удельного электрического сопротивления  $\rho_j$  и толщины слоя  $h_j$  горных пород. Эта гипотеза проверена нами по величине показателей асимметрии  $A_{lg\rho_j}$  и эксцесса  $E_{lg\rho_j}$  на примере наиболее распространенных и типичных литологических комплексов Азии (табл. 1).

Таблица 1.

**Результаты проверки гипотезы о логнормальном распределении значений  $\rho_j$  горных пород**

Литологические комплексы	$\overline{lg\rho_j}$	$A_{lg\rho_j}^*$	$E_{lg\rho_j}^*$	$\frac{A_{lg\rho_j}}{\sqrt{6/N^*}}$	$\frac{E_{lg\rho_j}}{2\sqrt{6/N}}$
Четвертичные отложения	2,32	0,19	-1,04	0,55	-1,44
Угленосные отложения	1,7	0,67	1,14	1,85	1,58
Вулканогенные образования	2,51	0,19	-1,17	0,52	-1,63
Мезозойские граниты	2,51	0,32	-0,62	0,88	-0,86
Палеозойские граниты	3,0	0,58	-0,13	1,61	-0,19

$A_{lg\rho_j}^*$ ,  $E_{lg\rho_j}^*$  – асимметрия и эксцесс выборки данных  $\rho_j$ ,  $N$  – объем выборки (количество данных).

Знание законов распределения параметров геоэлектрических разрезов  $\rho_j$ ,  $h_j$  позволило выбрать объективные критерии статистической обработки фоновых данных ВЭЗ. В частности, по оценкам математического ожидания параметров  $\rho_j$  и  $h_j$  слоев геоэлектрического разреза вычисляются наиболее вероятные значения поверхностного импеданса  $d$  слоистой среды. На основе приведенных результатов можно признать справедливым использование логарифмических шкал при составлении прогнозных карт геоэлектрических разрезов.

Изучение влияния различных факторов на электрические свойства горных пород в широком диапазоне частот является важной задачей при прогнозировании

параметров ГЭР и составлении карт электрических свойств подстилающей среды крупных регионов.

В результате анализа и обобщения большого количества данных ВЭЗ, полученных на территории Азии, нами выявлены закономерности в распределении электрических свойств горных пород в зависимости от геологического строения, возраста, трещиноватости и пористости горных пород, водонасыщенности и минерализации подземных вод.

Параметры ГЭР мезозойских и кайнозойских отложений в основном определяются гранулометрическим составом, степенью водонасыщенности и минерализацией подземных вод (табл. 2).

Четвертичные отложения развиты в средних широтах Азии почти повсеместно. Их состав разнообразен и включает галечники, щебни, пески, супеси, суглинки и реже глины и илы различного генезиса. Эоловые пески слагают поля значительных размеров в пустынно-степных областях Азии. Это преимущественно легко- и среднезернистые пески и супеси. Они слагают барханы, дюны и бугры. Толщина песков достигает 15-20 и более метров. ГЭР эоловых песков являются двухслойными с соотношением  $\rho_1 > \rho_2$ . Верхний слой представлен сухими песками, а нижний – влажными. Удельное сопротивление сухих песков от 470 до 2500 Ом. м при среднем значении, равном 1000 Ом. м. Удельное сопротивление влажных песков изменяется от 50 до

Таблица 2.

**Удельное электрическое сопротивление вулканогенно-осадочных образований средних широт Азии**

Литологический состав	Число измерений по ВЭЗ, $N$	Пределы изменений $\rho$ , Ом. м	Среднее значение $\bar{\rho}$ , Ом. м
<u>Аллювиальные отложения</u>			
1. Галечник	33	180-5000	980
2. Песок с гравием и галькой	45	100-530	220
3. Песок глинистый с гравием	66	40-300	100
<u>Четвертичные отложения</u>			
1. Гравий, галька	135	120-3000	510
2. Песок с гравием	73	20-1390	270
3. Песок глинистый	66	18-275	70
4. Глина песчаная	48	18-75	35
5. Глина	36	12-30	20
<u>Неогеновые отложения</u>			
1. Гравий, галька	49	23-700	210
2. Песок	53	60-3000	310
3. Песок глинистый	89	20-300	70
4. Глина песчаная	75	10-110	28
5. Глина	62	2-26	9
<u>Мезозойские отложения</u>			
1. Угленосные нижнемеловые отложения	74	20-192	50
2. Вулканогенно-осадочная толща	23	20-690	150
3. Триас-юрский вулканогенный комплекс	132	100-1620	320
4. Терригенные верхнемеловые отложения	226	2-520	34

290 Ом. м и в среднем составляет 120 Ом. м. Средняя толщина верхнего горизонта сухих песков составляет 3,5 м, нижнего горизонта влажных песков около 10-13 м. Электрические свойства рыхлых отложений определяются в основном их гранулометрическим составом, степенью влажности и минерализацией подземных вод.

Электрические свойства кристаллических горных пород (метаморфических и магматических) практически не зависят от их петрографического состава, а определяются степенью трещиноватости пород, их водоносностью и минерализацией подземных вод. Кристаллические породы, обладающие общностью структурного положения и гидрогеологических условий, имеют, как правило, близкие значения удельного электрического сопротивления (табл. 3).

Таблица 3.

### Удельное электрическое сопротивление кристаллических горных пород средних широт Азии

Характер трещиноватости	Состав отложений, возраст интрузий	Число измерений по ВЭЗ, $N$	$\rho$ , Ом. м	$\bar{\rho}$ , Ом. м
<u>Палеозойские отложения</u>				
1. Монолитные или слаботрещиноватые	Вулканогенные	7	930-2600	1650
	Вулканогенно-осадочные	19	390-2500	1140
	Терригенные	38	400-3050	1250
2. Трещиноватые	Вулканогенные	10	200-900	365
	Вулканогенно-осадочные	11	120-500	270
	Терригенные	35	200-800	430
3. Трещиноватые, водоносные	Вулканогенные	17	40-220	80
	Вулканогенно-осадочные	10	90-200	130
	Терригенные	65	35-200	100
<u>Интрузивные образования</u>				
1. Монолитные или слаботрещиноватые	Девон	4	190-3000	1190
	Пермь	6	1280-5000	2930
2. Трещиноватые	Кембрий	24	230-1500	890
	Девон	14	420-1400	690
	Пермь	9	500-1500	660
3. Трещиноватые, водоносные	Кембрий	22	23-500	130
	Девон	32	20-250	80
	Карбон	6	55-185	120
	Пермь	17	50-290	160

Наиболее распространенными кристаллическими породами средних широт Азии являются гранитоиды, слагающие крупные массивы в пределах горных сооружений. ГЭР гранитоидов чаще являются трехслойными типа  $A$  ( $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ ), где верхний горизонт слагают рыхлые элювиально-делювиальные образования, средний – трещиноватые, иногда водоносные граниты и нижний – монолитные породы.

Оценка  $\rho_j$  и  $h_j$  ключевых участков (отдельных типов горных пород) проводилась по ограниченной выборке на основе статистической обработки исходного массива  $\rho_j$  и  $h_j$ . Построение гистограмм  $\rho_j$  и  $h_j$  позволило определить законы распределения

$\rho_j$  и  $h_j$  и в ряде случаев исключить грубые ошибки в оценке  $\rho_j$  и  $h_j$ . Построение прогнозной карты ГЭР выполнялось в условиях ограниченного и весьма неравномерно распределенного по площади количества исходных данных, не позволяющих производить формальную интерполяцию и экстраполяцию с необходимой детальностью и точностью. В этих условиях использовался метод аналогий, широко распространенный в науках о Земле. Прогнозирование величин  $\rho_j$  и  $h_j$  основывалось на изучении геоэлектрических особенностей конкретного района, на детальном рассмотрении ключевой и прогнозной областей. Работа выполнялась в следующем порядке. На некотором ключевом участке определялись наиболее вероятные параметры  $\rho_j$  и  $h_j$  верхних слоев земной коры. Представление о единстве ключевой и прогнозной областей по геолого-геофизическим характеристикам позволило нам распространить полученные на ключевом участке значения  $\rho_j$  и  $h_j$  на всю область прогноза со сходными свойствами.

### Основные результаты и их обсуждение

Объект исследования – верхняя часть земной коры юга России и Кавказа характеризуется значительной пространственной неоднородностью электрических свойств. На рисунке 1 приведена карта ГЭР юга России и Кавказа масштаба 1:2500000. Информация на карте ГЭР отображена в виде шифров, определяющих сопротивления  $\rho_j$  и толщины  $h_j$  слоев в логарифмически-равномерной шкале. Логарифм шага дискретизации  $\rho_j$  и  $h_j$  равен 0,333, принята шкала  $\rho_j$ ,  $h_j$  с тремя градациями на декаду. По номеру ступени  $N$  по формулам  $\rho_j = 10^{0,333(N-0,5)}$  Ом $\times$ м ( $N = 0, 15$ ),  $h_j = 10^{0,333(N-3,5)}$  м ( $N = 1, 15$ ) могут быть рассчитаны медианные значения  $\rho_j$  и  $h_j$ :

Номер ступени	Медианное значение $\rho_j$ , Ом $\times$ м	Медианное значение $h_j$ , м
0	0,68	–
1	1,47	0,147
2	3,16	0,316
3	6,8	0,68
...	...	...
10	1470	147
11	3160	316

Шифры на карте читаются следующим образом, например 6.5.5. – первая цифра обозначает номер ступени по шкале сопротивлений для первого слоя  $\rho_1$ , вторая цифра – номер ступени по шкале толщины слоя  $h_1$ , третья и последующие цифры – те же параметры для второго и последующих слоев. Диэлектрическая проницаемость слоев принята равной  $\epsilon_j=10$ . К карте составлена пояснительная записка, содержащая: 1) таблицы встречающихся геоэлектрических структур и частотные зависимости поверхностного импеданса в диапазоне 10-1000 кГц; 2) качественную оценку достоверности построенной карты; 3) обзор использованного материала и источники информации об электрических свойствах верхней части земной коры исследуемой территории.

Карта ГЭР Кавказа на площадь 0,44 млн. км<sup>2</sup> содержит 11 типов ГЭР одно-четырёхслойных геоэлектрических разрезов. По карте Моргана-Максвелла территория юга России и Кавказа имеет две градации по проводимости ( $10^{-2}$ ,  $3 \cdot 10^{-3}$  См/м), общий фон территории этого региона составляет  $3 \times 10^{-3}$  См/м.

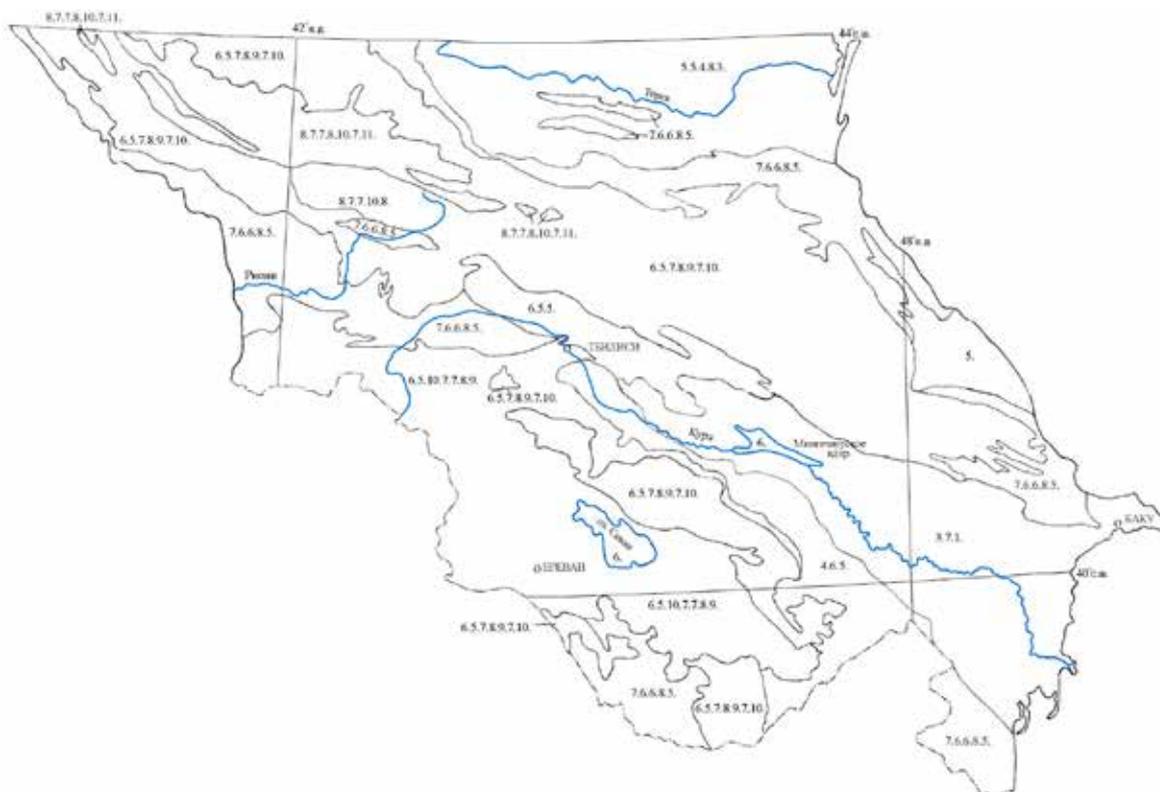


Рис. 1. Карта ГЭР юга России и Кавказа (масштаб 1:2500000)

На рисунке 2 приведены частотные зависимости модуля  $|\delta|$  и фазы  $\varphi\delta^\circ$  поверхностного импеданса для наиболее распространенных типов ГЭР юга России и Кавказа. Приведенный поверхностный импеданс  $n$ -слойной среды вычислялся по формуле  $\delta^{(n)} = \delta_1 \cdot Q^{(n)}$ , удобной для расчетов на ЭВМ [Башкуев, 1996]. Здесь  $\delta_1$  – поверхностный импеданс однородной среды с параметрами первого слоя;  $Q^{(n)} = F(f, \rho_j, \varepsilon_j, h_j)$  – корректирующий множитель, учитывающий нижележащие слои земной коры. Анализ  $|\delta|$  и  $\varphi\delta^\circ$  показывает значительные пределы их изменений. Так, на частоте 10 кГц значения  $|\delta|$  изменяются от 0,002 до 0,011, а фаза импеданса от  $-27^\circ$  до  $-53^\circ$ ; для частоты 1000 кГц значения  $|\delta|$  варьируют от 0,019 до 0,13, а фаза импеданса от  $-27^\circ$  до  $-49^\circ$ .

Карты ГЭР позволяют определять с учетом рельефа и леса основную характеристику волнового электромагнитного процесса – функцию ослабления поля  $W$  в широком диапазоне электромагнитных волн. Значения  $W$  для модели многокусочной импедансной трассы распространения рассчитываются на основе численного решения интегрального уравнения Хаффорда или Фейнберга. Погрешность прогнозирования уровня электромагнитного поля составляет при этом  $\pm (15,30) \%$  [Башкуев, 1996; Доржиев и др., 1987].

### Заключение

Создана карта геоэлектрических разрезов юга России и Кавказа масштаба 1:2500000, необходимая при расчетах распространения СДВ – СВ радиоволн. Эта карта, учитывающая слоистую структуру подстилающей среды, позволяет в 1,5-3 раза увеличить точность расчетов электромагнитных полей по сравнению с существующей картой Моргана-Максвелла.

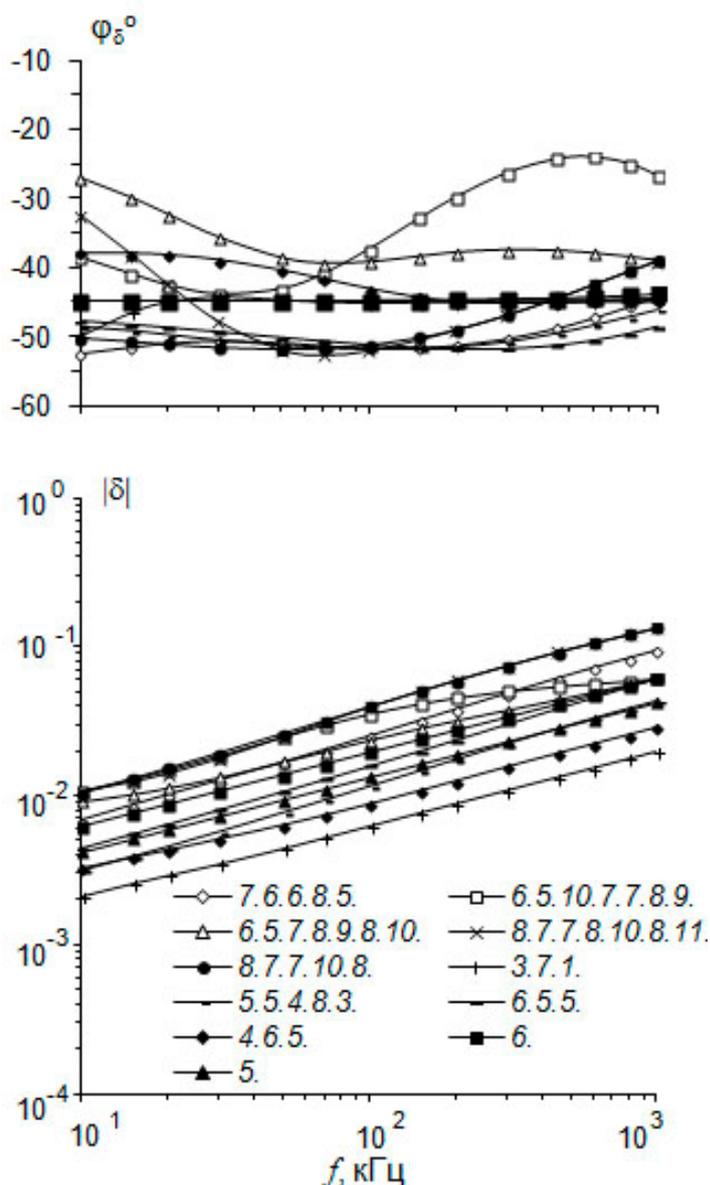


Рис. 2. Частотные зависимости модуля  $|\delta|$  и фазы  $\varphi_{\delta}^{\circ}$  поверхностного импеданса для наиболее распространенных типов ГЭР юга России и Кавказа

### Литература

1. Башкуев Ю. Б. Электрические свойства природных слоистых сред. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 1996. – 207 с.
2. Башкуев Ю. Б., Доржиев В. С., Цыдыпов Ч. Ц. и др. Карта геоэлектрических разрезов Монголии // Материалы VII научной конференции по тематической картографии. Иркутск, 20-22 ноября 2002 г. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2002. – С. 78-81.
3. Башкуев Ю. Б., Адвокатов В. Р., Ангархаева Л. Х. Карты геоэлектрических разрезов Восточного полушария // Физика Земли. – 2003. – №9. – С. 87-94.
4. Башкуев Ю. Б., Адвокатов В. Р. Прогнозная карта геоэлектрических разрезов Северной и Южной Америки // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы:

Тезисы докладов XVIII международного симпозиума. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2012. – С. 88.

5. Вешев А.В. Электропрофилирование на постоянном и переменном токе. – Л.: Недра, 1980. – 391 с.

6. Гаджиев Т.Г., Шахназарян А.А., Хесин Б.Э. Выделение мезокайнозойских структур электроразведкой ВЭЗ в восточных предгорьях Малого Кавказа и Талыша // Азербайджанское нефтяное хозяйство, Баку. – 1975. – № 8. – С. 20-24.

7. Геологическая карта СССР масштаба 1:2500000 под ред. Д.В. Наливкина. – 1965.

8. Джафаров Х.Д., Лиадзе В.В. Типы геоэлектрических разрезов нефтегазоносных областей Азербайджана // Изв. вузов. Нефть и газ. – 1977. – № 6. – С. 12-18.

9. Доржиев В.С., Адвокатов В.Р., Бодиев Б.Б. Геоэлектрические разрезы юга Сибири и Монголии. – М.: Наука, 1987. – 94 с.

10. Курскеев А.К., Белослюдцев А.Г., Бондаренко О.М. Геолого-геофизический анализ электрических свойств горных пород (на материалах Казахстана). – Алма-Ата: Наука КССР, 1982. – 172 с.

11. Мельников В.П. Электрофизические исследования мерзлых толщ. – Новосибирск: Наука, 1977. – 108 с.

12. Мировой атлас проводимости почвы. Рекомендация МСЭ-Р. Р. 832-3 (02/2012). Серия Р. Распространение радиоволн. – 49с.

13. Одеков О.А., Ларионов Е.И., Нурмамедов Д. Геоэлектрическая характеристика разреза осадочных отложений территории Туркменистана. – Ашхабад: Ылым, 1976. – 160 с.

14. Цицишвили Д.А. Инженерная геофизика в условиях горной страны. – Тбилиси: Мецниереба, 1980. – 218 с.

15. Цыдыпов Ч.Ц., Цыденов В.Д., Башкуев Ю.Б. Исследование электрических свойств подстилающей среды. – Новосибирск: Наука, 1979. – 176 с.

16. Якупов В.С. Электропроводность и геоэлектрический разрез мерзлых толщ. – М.: Наука, 1968. – 179 с.

17. Dosho K., Shimizu T., Hino N. On the characteristics equivalent ground conductivity in Japan // Electr. and Commun. in Japan. – 1967. – V. 50. №2. – Pp. 10-18.

18. Eliassen K.E. A survey of ground conductivity and dielectric constant in Norway within the frequency range 0,2-10 Mc/s // Geophys. Publ. – 1957. – V. 19. № 11. – Pp. 5-30.

19. Fine H. An effective ground conductivity map for continental United States // Proc. IRE. – 1954. – V. 42, №9. – Pp. 1405-1408.

20. Homilius J. Geoelectrical investigations in East Afganistan // Geophysics Prospect. – 1969. – V. 17. № 1. – Pp. 468-487.

21. Ireland G.C. A provisional ground conductivity map of Canada // Proc. IRE. – 1961. – V. 49. № 11. – Pp. 1674-1678.

22. Morgan R., and Maxwell E. Omega navigation System Conductivity Map. – Washington: Office of Naval Research, 1965. – 105 p.

23. Troyan V.N. and Hayakawa M. Inverse Geophysical Problems. – Tokyo: TERRAPUB, 2002. – 289 p.

DOI: 10.23671/VNC.2018.1.11185

## MAP OF GEOELECTRIC SECTIONS OF THE SOUTH OF RUSSIA AND THE CAUCASUS

© 2017 Yu. B. Bashkuev, Sc. Candidate (Tech.), prof., V. S. Dorzhiev, Sc. Candidate (Geol.-Min.), V. R. Advokatov, Sc. Candidate (Phys.-Math.), L. Kh. Angarkhaeva, Sc. Candidate (Phys.-Math.)

Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the RAS, Russia, 670047, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Sakhyanova Str., 6, e-mail: buddich@mail.ru

Detailed knowledge of the electrical properties, structure and spatial arrangement of various rock complexes is necessary in solving problems of radiation and propagation of electromagnetic waves in inhomogeneous media with interfaces of complex shapes. The maps of electrical properties (conductivity or geoelectric sections) of continents and countries constructed on various scales according to certain criteria can serve as initial information for models of the electrical condition of the underlying medium. The electrical inhomogeneous geological medium distorts amplitude-phase structure of an electromagnetic field. Essential increase of accuracy of calculations of an electromagnetic field in a wide frequency band (from VLF and up to MF-SF) became possible with use predictive maps of geoelectric sections (GES), taking into account for the layered structure of the underlying medium. These maps reflect the areal distribution of various GES types, with the electrical resistivity, dielectric permittivity and thickness specified for each layer of GES. These parameters enable the calculation of values of surface impedance, attenuation function and field level in a wide range of frequencies. These values are necessary for prediction of electromagnetic waves propagation conditions. The article contains the results of geoelectric mapping of the territory of the south of Russia and the Caucasus. The methodology of geoelectric mapping is considered. A map of GES of the south of Russia and the Caucasus at a scale of 1:2500000 is created. This map makes it possible to increase the accuracy of the calculation of electromagnetic fields by 1,5 to 3 times in comparison with the existing Morgan-Maxwell map.

**Keywords:** rocks, electrical properties, geoelectric section, geoelectric mapping.

### References

1. Bashkuev Ju. B. Jelektricheskie svojstva prirodnyh sloistyh sred [Electrical properties of natural layered media]. Novosibirsk, Izdatel'stvo SO RAN, 1996. 207 p. (in Russian)
2. Bashkuev Ju. B., Dorzhiev V. S., Cydypov Ch. C. i dr. Karta geoelektricheskikh razrezov Mongolii [Map of geoelectric sections of Mongolia]. Materialy VII nauchnoj konferencii po tematicheskoy kartografii. Irkutsk, 20-22 nojabrja 2002 g. Irkutsk: Izd-vo Instituta geografii SO RAN, 2002. Pp. 78-81. (in Russian)
3. Bashkuev Ju. B., Advokatov V. R., Angarkhaeva L. H. Karty geoelektricheskikh razrezov Vostochnogo polusharija [Maps of geoelectric sections of the Eastern Hemisphere]. Fizika Zemli, 2003. No. 9. Pp. 87-94. (in Russian)
4. Bashkuev Ju. B., Advokatov V. R. Prognoznaja karta geoelektricheskikh razrezov Severnoj i Juzhnoj Ameriki [Forecast map of geoelectric sections of North and South America]. Optika atmosfery i okeana. Fizika atmosfery. Tezisy dokladov XVIII mezhdunarodnogo simpoziuma. Tomsk, Izd-vo IOA SO RAN, 2012. Pp. 88. (in Russian)
5. Veshev A. V. Jelektroprofilirovanie na postojannom i peremennom toke [Electroprofiling with direct and alternating current]. L. Nedra, 1980. 391 p. (in Russian)
6. Gadzhiev T. G., Shahnazarjan A. A., Hesin B. Je. Vydelenie mezokajnozojskikh struktur jelektrozvedkoj VJeZ v vostochnyh predgor'jah Malogo Kavkaza i Talysha [Isolation of Meso-Cenozoic structures by electrical sounding VES in the eastern foothills of the Lesser Caucasus and Talysh]. Azerbajdzhanskoe neftjanoe hozjajstvo, Baku. 1975. No. 8. Pp. 20-24. (in Russian)
7. Geologicheskaja karta SSSR masshtaba 1:2500000 [Geological map of the USSR at a scale of 1: 2500000]. pod red. D. V. Nalivkina. 1965. (in Russian)

8. Dzhafarov H. D., Liadze V. V. Tipy geoelektricheskikh razrezov neftegazonosnykh oblastej Azerbajdzhana [Types of geoelectric sections of oil and gas regions of Azerbaijan]. *Izv. vuzov. Neft» i gaz.* 1977. No. 6. Pp. 12-18. (in Russian)
9. Dorzhiev B. C., Advokatov V. R., Bodiev B. B. Geoelektricheskie razrezy juga Sibiri i Mongolii [Geoelectric sections of the south of Siberia and Mongolia]. M. Nauka, 1987. 94 p. (in Russian)
10. Kurskeev A. K., Belosljudcev A. G., Bondarenko O. M. Geologo-geofizicheskij analiz jelektricheskikh svojstv gornyh porod (na materialah Kazahstana) [Geological and geophysical analysis of electrical rocks properties (on materials of Kazakhstan)]. Alma-Ata, Nauka KSSR, 1982. 172 p. (in Russian)
11. Melnikov V. P. Jelektrofizicheskie issledovanija merzlykh tolshh [Electrophysical studies of frozen layers]. Novosibirsk, Nauka, 1977. 108 p. (in Russian)
12. Mirovoj atlas provodimosti pochvy [World atlas of soil conductivity]. Rekomendacija MSJe-R. P. 832-3 (02/2012). Serija R. Rasprostranenie radiovoln. 49 p. (in Russian)
13. Odekov O. A., Larionov E. I., Nurmamedov D. Geoelektricheskaja harakteristika razreza osadochnykh otlozhenij territorii Turkmenistana [Geoelectric characteristics of the sedimentary deposits in the territory of Turkmenistan]. Ashhabad, Ylym, 1976. 160 p. (in Russian)
14. Cicishvili D. A. Inzhenernaja geofizika v uslovijah gornoj strany [Engineering geophysics in a mountainous country]. Tbilisi: Mecniereba, 1980. 218 p. (in Russian)
15. Cydypov Ch. C., Cydenov V. D., Bashkuev Ju. B. Issledovanie jelektricheskikh svojstv podstilajushhej sredy [Investigation of the electrical properties of the underlying medium]. Novosibirsk, Nauka, 1979. 176 p. (in Russian)
16. Jakupov V. S. Jelektroprovodnost» i geoelektricheskij razrez merzlykh tolshh [Electrical conductivity and geoelectric section of frozen layers]. M. Nauka, 1968. 179 p. (in Russian)
17. Dosho K., Shimizu T., Hino N. On the characteristics equivalent ground conductivity in Japan // *Electr. and Commun. in Japan.* – 1967. – V. 50. №2. – Pp. 10-18.
18. Eliassen K. E. A survey of ground conductivity and dielectric constant in Norway within the frequency range 0,2-10 Mc/s // *Geophys. Publ.* – 1957. – V. 19. № 11. – Pp. 5-30.
19. Fine H. An effective ground conductivity map for continental United States // *Proc. IRE.* – 1954. – V. 42, №9. – Pp. 1405-1408.
20. Homilius J. Geoelectrical investigations in East Afganistan // *Geophysics Prospect.* – 1969. – V. 17. № 1. – Pp. 468-487.
21. Ireland G. C. A provisional ground conductivity map of Canada // *Proc. IRE.* – 1961. – V. 49. № 11. – Pp. 1674-1678.
22. Morgan R., and Maxwell E. Omega navigation System Conductivity Map. – Washington: Office of Naval Research, 1965. – 105 p.
23. Troyan V. N. and Hayakawa M. Inverse Geophysical Problems. – Tokyo: TERRAPUB, 2002. – 289 p.