

УДК 550.837:551.24

### 3D ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДОБРУДЖИ И ПРИДОБРУДЖСКОГО ПРОГИБА

**Бурахович Т. К., Кулик С. Н., Кушнир А. Н., Зайцев Г. Н.,  
Ганиев А. З.**

*(Институт геофизики НАН Украины, г. Киев, Украина)*

**Шеремет Е. М., Николаев Ю. И., Николаев И. Ю.**

*(УкрНИМИ НАН Украины, г. Донецк, Украина)*

*Придобрудзький прогин є складною грабеноподібною структурою, заповненою платформними палеозойськими, тріасовими та юрськими відкладами. Шар високої електропровідності знаходиться на глибині від 20 до 40 км. Ще одна ізометрична область високої провідності залягає на глибині 10-20 км поміж Саратовським та Чорноморським розломами.*

*Peredobrudja is difficult constructed grabens structure which filled platform depositions of Paleozoic Trias, Jura. This structure it is jointed with folded constructions of Dobrudza. Layer of high conductivity layer on depth from 20 km to 40 km. One more isometric area of high conductivity is on 10-20 km on western bead from Sarat and Blacksea faults.*

В тектоническом отношении область исследования принадлежит Причерноморскому прогибу, приуроченному к зоне сочленения древней Восточно-Европейской платформы и молодой Скифской плиты (рис. 1). В его пределах выделяются три основные зоны: Северный борт, покоящийся на древнем докембрийском фундаменте, Южный борт – на молодом складчато-метаморфизованном герцинско-киммерийском фундаменте Скифской плиты и осевая часть грабенов в зоне сочленения разновозрастных платформ.

Западна часть осевой зоны Причерноморского прогиба состоит из Бырладского, Придобруджского и Крыловского прогибов. Западное ограничение Бырладского грабена неизвестно и перекрыто мощной осадочной толщей Предкарпатского прогиба [1].

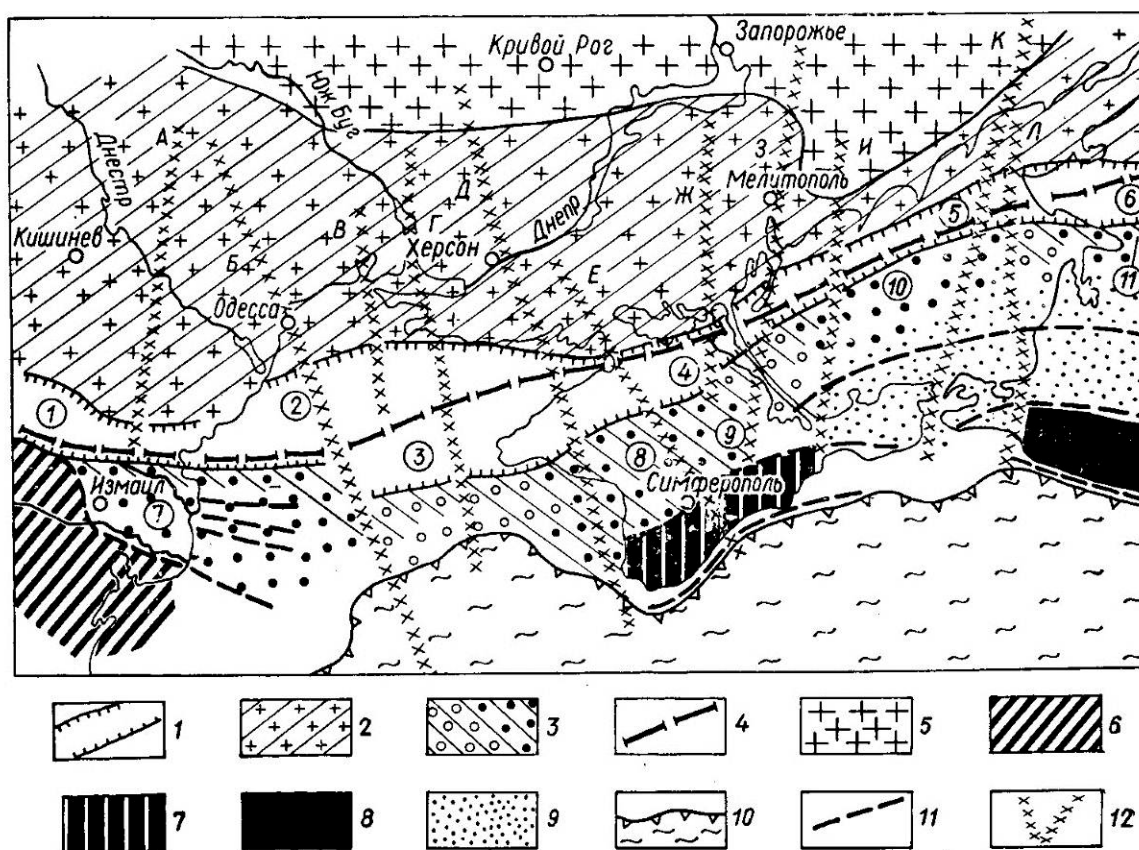


Рис. 1. Обзорная тектоническая схема Причерноморско-Кубанского прогиба (по А. В. Чекунову).

*Причерноморско-Кубанский прогиб:* 1 — осевая зона грабенов с ограничивающими разломами, 2 — северный борт с древним дорифейским фундаментом, 3 — южный борт с молодым фундаментом Скифской платформы (черные и светлые кружки — относительно приподнятые и опущенные участки фундамента соответственно), 4 — граница разновозрастных платформ: Европейской и Скифской; 5 — обнаженная часть Украинского щита. *Выходы на дневную поверхность складчатых структур:* 6 — байкальско-герцинско-киммерийских (Добруджа), 7 — киммерийских (Горный Крым), 8 — юрско-палеогеновых (Большой Кавказ); 9 — Индоло-Кубанский альпийский передовой прогиб; 10 — Черноморская впадина и ее контур; 11 — молодые субширотные разломы; 12 — древние субмеридиональные глубинные разломы (буквы на схеме): А — Фрунзенско-Арцизский, Б — Одесский, В — Очаковский, Г — Кировоградско-Николаевский, Д — Криворожско-Евпаторийский, Е — Салгирско-Октябрьский, Ж — Конкско-Белозерский, З — Орехово-Павлоградский (Мелитопольско-Новоцарицынский), И — Корсакско-Феодосийский, К — Ждановско-Керченский, Л — Кальмиус-Джигинский.

Цифры в кружках — грабены Причерноморско-Кубанского прогиба: 1 — Молдавский, 2 — Крыловский, 3 — Одесский (Каркинитский), 4 — Сивашский, 5 — Северо-Азовские, 6 — Ейский; *структуры Скифской платформы:* 7 — Кийльское поднятие, 8 — Симферопольско-Евпаторийское поднятие, 9 — Новоцарицынский выступ, 10 — Азовский вал, 11 — Каневское поднятие.

Рис. 1. Обзорная тектоническая схема Причерноморско-Кубанского прогиба (по А. В. Чекунову)

Придобруджский прогиб – сложно построенная грабенообразная структура, выполненная платформенными палеозойскими и триасово-юрскими отложениями. Он сочленяется со складчатыми сооружениями Добруджи по серии крупных разломов северо-западного простирания. Эти три грабенообразные зоны объединены единой историей геологического развития и прежде всего тем, что они окончательно сформировались к меловому времени в отличие от восточных депрессий Причерноморской впадины, которые в меловом периоде энергично развивались.

В районе исследований известны магнитовариационные наблюдения в диапазоне бухтообразных вариаций вдоль западной границы Молдовы [2] и МТЗ в диапазоне 0,1-2000 с вдоль геотраверса Килия - Кривой Рог - Харьков [3]. В последнем случае проведены измерения вертикальной компоненты переменного магнитного поля Земли. По результатам анализа поперечных кривых МТЗ, было сделано предположение о существовании в районе Придобруджского прогиба проводящего слоя в мантии на глубине 80 км с суммарной проводимостью 1500 См, вытянутого в меридиональном направлении.

В 1992 г. в юго-западной части Украины проведены геоэлектрические исследования методами магнитотеллурического зондирования (МТЗ) и магнитовариационного профилирования (МВП) с целью изучения глубинного геоэлектрического строения [4]. Двумерная модель, включающая эти данные, характеризуется наличием серии проводящих слоев, различающихся своими параметрами (рис. 2).

На основе данных МВП были построены квазитрехмерные пленочные модели Карпатского региона [5], где отдельным объектом (рис. 2) с суммарной продольной проводимостью равной 5000 См на глубине 10 км представлена область сочленения Скифской, Мизийской плит и Добруджи.

Сегодня плотность наблюдений естественного электромагнитного поля внешнего источника в области низких частот позволяет построить трехмерную (3D) геоэлектрическую модель земной коры и верхней мантии ответить на некоторые вопросы глубинного строения и тектоники Добруджи и Придобруджского прогиба.

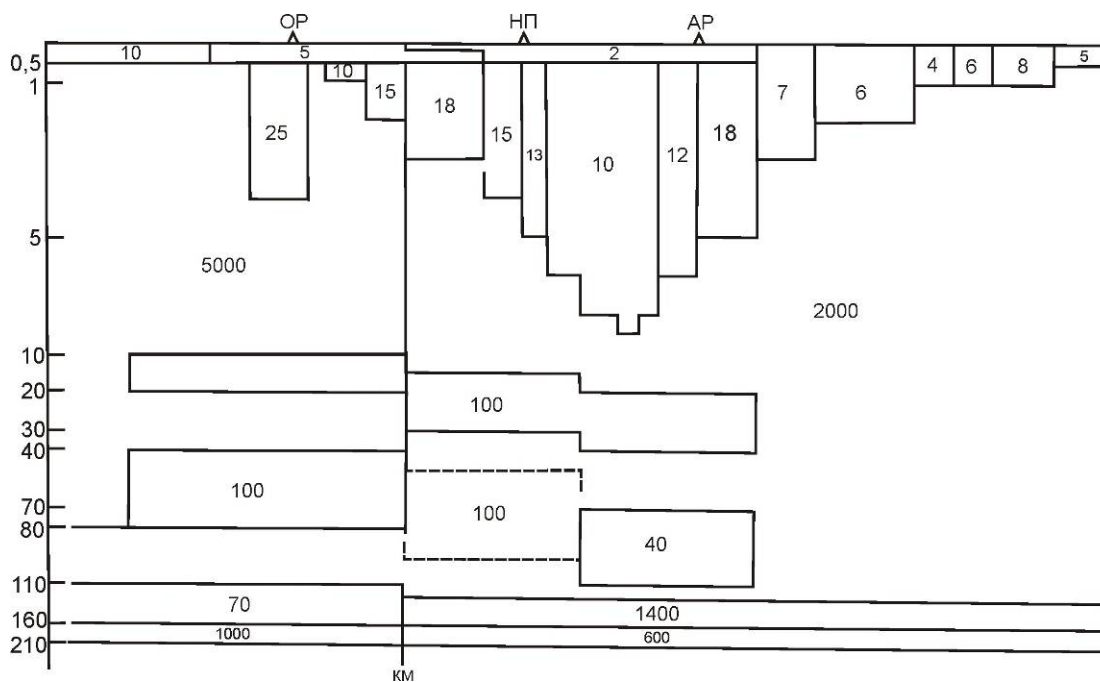


Рис. 2. Геоэлектрическая модель по данным двумерного моделирования (значения удельного электрического сопротивления даны в Ом·м)

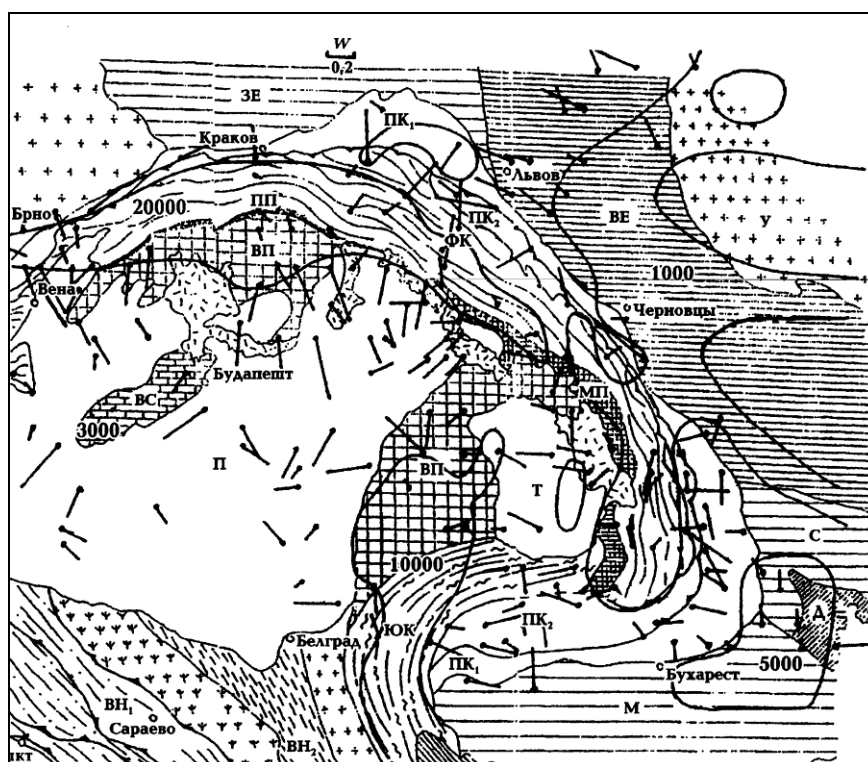


Рис. 3. Геоэлектрическая модель коровых аномалий электропроводности Карпатского региона

Построение 3D модели основывалось на анализе магнитова-  
 риационных параметров (рис. 4-6) и данных магнитотеллуриче-  
 ского зондирования (МТЗ) в диапазоне периодов магнитотеллури-  
 ческого поля до 1000 с (рис. 7) [2-4], [Бурахович Т.К. и др., 1995,  
 Ингеров А.И. и др. 1988, Рокитянский И.И. и др., 1979, УкрНИ-  
 МИ, 2009-2010 и Институт геофизики НАН Украины, 2010 г.]

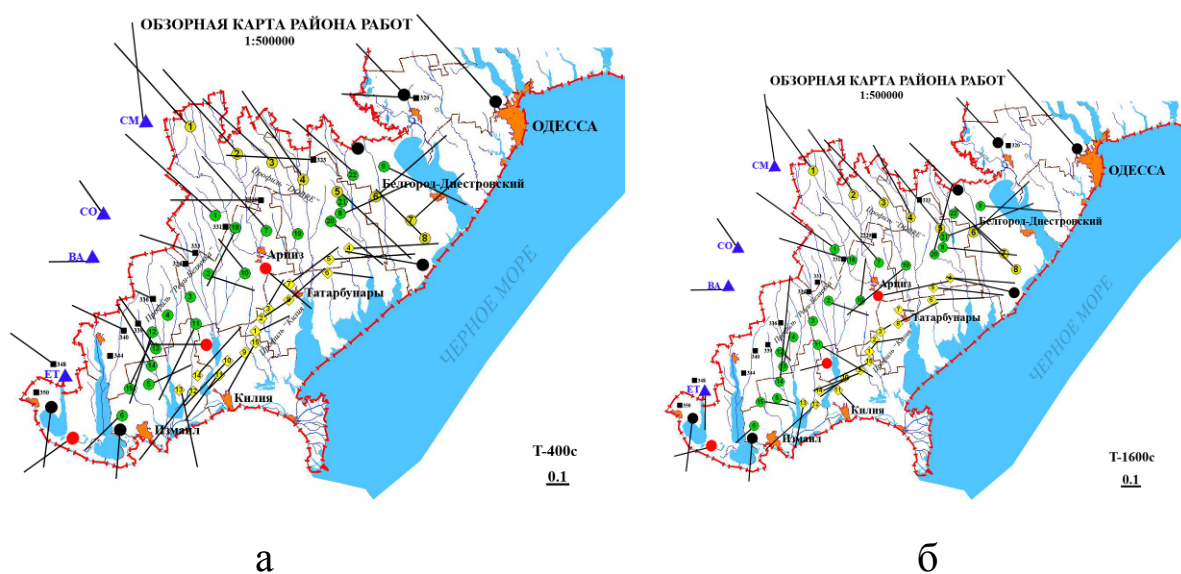


Рис. 4. Индукционные параметры для периодов геомагнит-  
 ных вариаций (а) - 400 и (б) - 1600 с

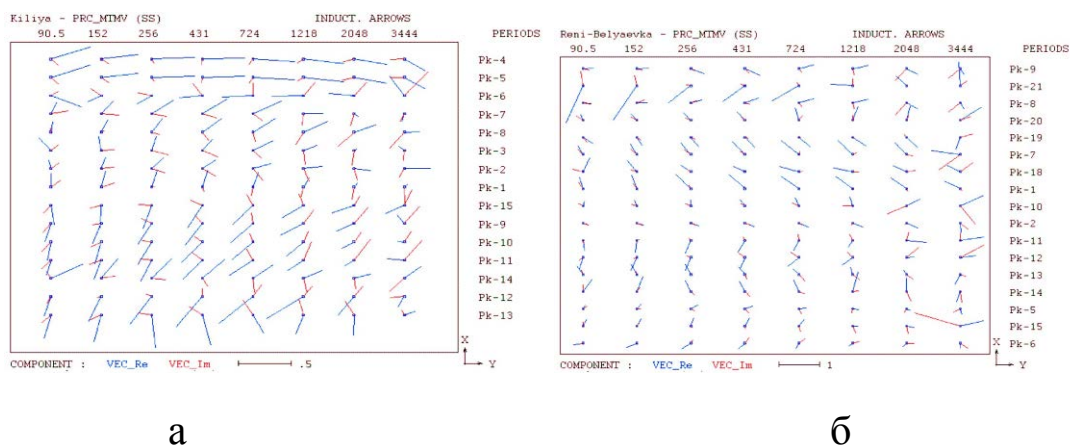


Рис. 5. Индукционные параметры по профилям «Килия»(а) и  
 «Рени-Беляевка» (б) ) (УкрНИМИ, 2009-2010)

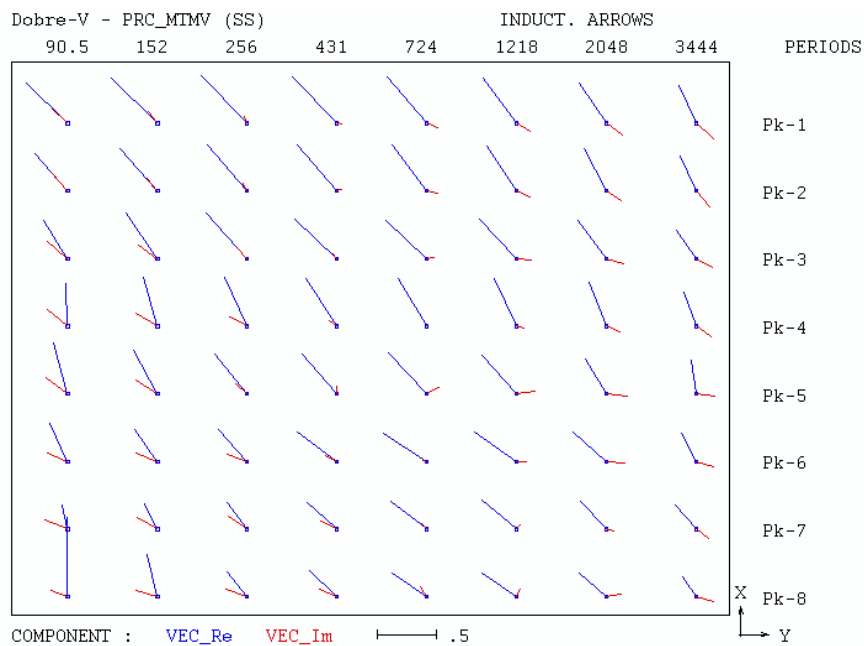


Рис. 6. Индукционные параметры по профилю «DOBRE» (ИГ НАН Украины, 2010 г.)

Инструментом для создания и расчета электрических и магнитных компонент магнитотеллурического поля, типперов и кривых кажущегося удельного электрического сопротивления ( $\rho_K$ ) послужила широко распространенная программа 3D моделирования Р. Макки [6].

Одним из важных элементов методики трехмерного моделирования являются априорно заданные значения удельного электрического сопротивления «нормального» ( $\rho_H$ ) горизонтально-слоистого разреза земной коры и верхней мантии, на фоне которого строятся объемные геоэлектрические модели. Для докембрийской области (УЩ) он принят следующим:

Для УЩ он состоит из 9 слоев:

Интервал глубин, км	$\rho$ , Ом·м.	Интервал глубин, км	$\rho$ , Ом·м.
0-160	2000	400-500	20
160-200	600	500-600	10
200-250	250	600-760	5
250-320	100	760-960	1
320-400	50	> 960	0,1

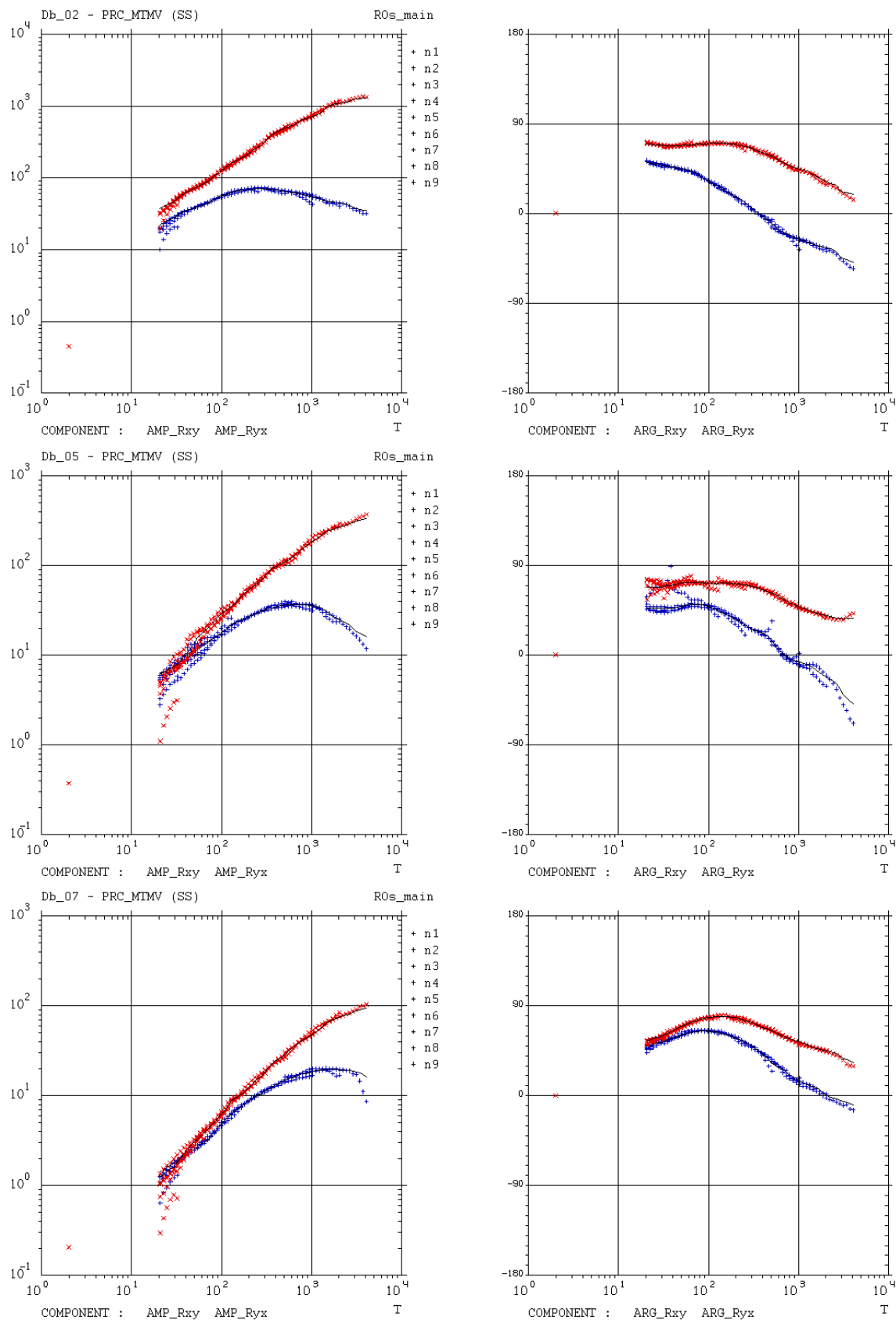


Рис. 7. Типичные амплитудные и фазовые кривые МТЗ профиля «DOBRE»



Для герцинских и киммерийских регионов характерны другие значения, которые включают электропроводящую «астеносферу»:

Интервал глубин, км	$\rho$ , Ом·м.	Интервал глубин, км	$\rho$ , Ом·м.
0 – 110	2000	400-500	20
110-140	40	500-600	10
140-200	600	600-760	5
200-250	250	760-960	1
250-320	100	> 960	0.1
320-400	50		

На электромагнитные параметры существенное влияние оказывает неоднородное распределение электропроводности приповерхностного проводящего слоя. Его суммарная проводимость в основном соответствует мощности осадочных отложения и коррелирует с основными структурными геологическими единицами. Северная Добруджа характеризуется относительно низкими значениями, но резкими изменениями суммарной продольной проводимости  $S$  до 200 См. В Придобруджском прогибе, где глубина кристаллического фундамента около 9 км,  $S$  не превышает 1000 См. На южном склоне УЩ значения  $S$  достигают 1000 См, в то время как на Молдавской плите – около 100 См. В акватории Черного моря значения  $S$  приповерхностного проводящего слоя приняты в модели от 1000 до 2000 См.

Распределение удельного электрического сопротивления по слоям и их мощности принято условно, исходя из данных о суммарной продольной проводимости осадочных отложений и глубине консолидированного фундамента.

Двенадцать верхних горизонтальных слоев модели описывают распределение удельного электрического сопротивления осадочных отложений и части консолидированной коры региона. С первого до четвертого слоя (мощностью от 100 до 500 м) принято общее для всей модели значение  $\rho = 10$  Ом·м. Глубже мощность модельных слоев возрастает до 1 км (значения  $\rho$  от 1 до 40 Ом·м). Такое распределение геоэлектрических параметров для описания осадочной толщи было использовано во всех моделях.



Процесс моделирования – это сложная последовательная процедура расчета магнитотеллурических полей и сравнения результатов с наблюдаемыми экспериментальными данными. Прежде всего, было рассчитаны и проанализированы индукционные параметры для модели, состоящей только из неоднородного поверхностного слоя на фоне «нормального» разреза. Расчеты модулей индукционных параметров для такой модели показывают, что в рамках трехмерных представления они недостаточно удовлетворяют наблюдаемым данным.

Рассчитанные поля не отражают неоднократные изменения вдоль профилей наблюдений пространственных разворотов индукционных параметров (пункты 6 и 15, 13 и 3, 7 и 19 профиля Рени-Беляевка, 15 и 1 профиля Килия), а также то, что в северной части рассчитанные величины в 1,5 раза меньше наблюдаемых. Следовательно, в геоэлектрическую модель необходимо внести дополнительные приповерхностные вертикальные проводники, которые будут ориентированы с северо-запада на юго-восток в южной и центральной части, а в северной части планшета их ориентация – субмеридиональная.

Индукционные параметры (рис. 8) для периода геомагнитных вариаций 400 с соответствуют наблюдаемым данным.

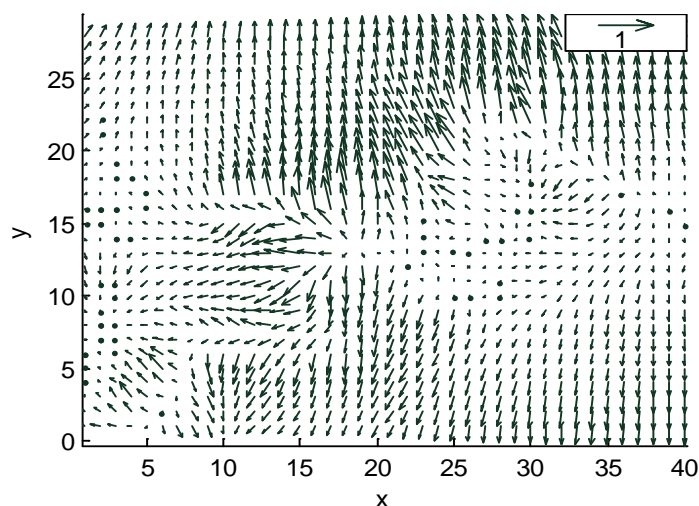
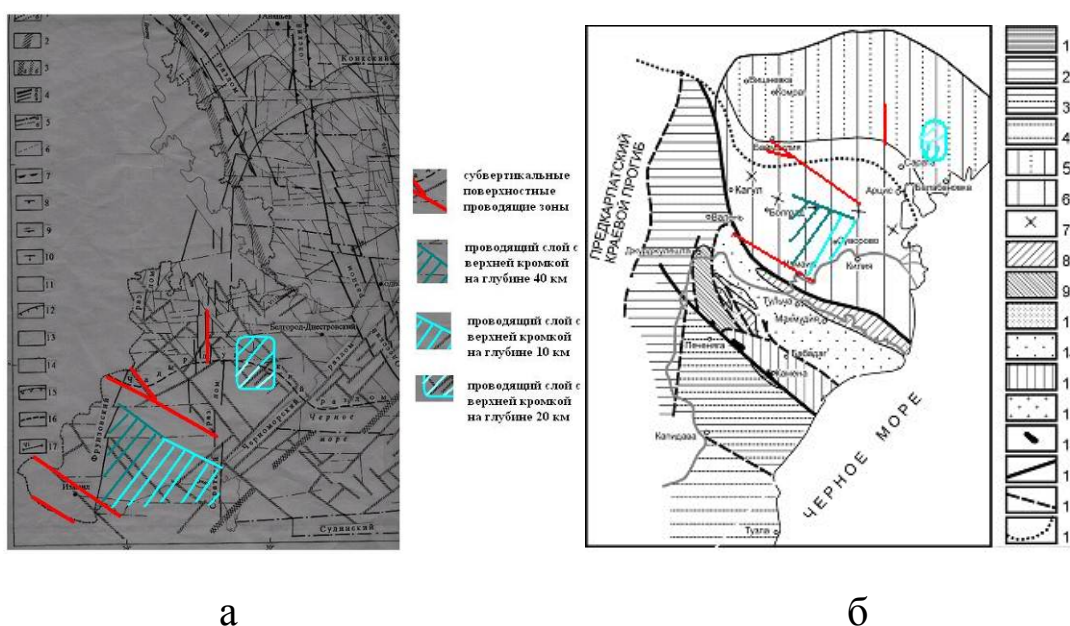


Рис. 8. Индукционные параметры для модели распределения аномальной электропроводности в земной коре для периода  $T = 400$  с

**ВЫВОДЫ.** Вертикальные проводники с поверхности соответствуют разломным зонам (рис. 9). Конфигурация изолиний индукционных параметров, их значения свидетельствуют о том, что наиболее мощные аномалии электропроводности могут быть приурочены к Измаило-Кагульскому, Чадырлунгскому (подтверждает выделенную по квази-3D моделированию проводящую зону [5]) и северу Саратовского разломов.



Платформа: 1 — нижний структурный этаж (кембрий?), выходящий на поверхность, 2 — то же, но перекрытый неогеновыми отложениями, 3 — средний структурный этаж (зеленоцветный фундамент, ордовик?), Южно-Добруджское поднятие, 4 — верхний структурный этаж (готландий). Юрский Придобруджский прогиб: 5 — моноклиальный склон, 6 — синклиальная часть, 7 — ось впадины.

Складчатая область: 8 — девонский синклиний — поднятие Тульча Махмудия, 9 — девонский синклиний, северо-западный борт, 10 — карапелитовая внутригорная впадина — грабен, 11 — триасовый синклиний, 12 — меловой синклиний, 13 — интрузивные массивы, 14 — эффузивные породы; 15 — надвиги; 16 — сбросы; 17 — граница докембрийской платформы.

Рис. 9. Схемы разломно-блоковой тектоники (а), тектонического строения территории Добруджи и Придобруджского прогиба (б) и аномалии высокой электропроводности

Проводящий слой, выделенный по данным МТЗ, предполагается на южном склоне Придобруджского прогиба между

Фрунзовским (запад) и Саратовским (восток) разломами с верхней кромкой на глубине от 40 до 20 км. Южным ограничением является граница Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты по данным [1]. Еще одна изометрическая область высокой проводимости на глубинах 10-20 км выделяется на западном борту в центральной части Чадырлунгского между Саратовским и Черноморским разломами.

### СПИСОК ССЫЛОК

1. Чекунов А. В., Веселов А. А., Гилькман А. И. Геологическое строение и история развития Причерноморского прогиба. – К.: Наук. думка, 1976. – 156 с.
2. Рокитянский И. И., Логвинов И. М., Рокитянская Д. А. Черноморская ветвь Карпатской анамалии электропроводности // Геофиз. сб. – 1979. – Вып.87. – С. 65 - 67.
3. Ингеров А. И., Бугримов Л. П. и др. Результаты МТЗ на участке Килия-Кривой Рог-Харьков/ // Литосфера Центральной и Восточной. Геотраверсы IV. УІ. УІІ. – Киев: Наук. думка, 1988. - С. 145 - 150.
4. Бурахович Т. К., Кулик С. Н., Логвинов И. М. Геоэлектрическая модель земной коры и верхней мантии Преддобружского прогиба и Северной Добруджи // Геофиз. журн. – 1995. - № 4, Т. 17. - С. 81 - 87.
5. Бурахович Т. К. Квазитрехмерная геоэлектрическая модель Карпатского региона // Геофиз. журн. – 2004. - № 4, т. 26. - С. 63 - 74.
6. Randall L. Macki, J.Torquil Smith, Theodore R. Madden Three-dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: The megnetotelluric example. Radio Science. – 1994. - V. 29, N 4. - P. 923 - 935.