

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
АКАДЕМИИ НАУК СССР
ФИЗИКА ЗЕМЛИ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

1

МОСКВА · 1987

УДК 550.373

М. С. ЖДАНОВ, Б. Ш. ЗИНГЕР, Э. Б. ФАЙНБЕРГ, Г. С. ГОДНЕВА,
С. И. САНИН

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ
В КАРПАТСКО-ПАННОНСКОМ РЕГИОНЕ

Проанализированы эффекты искажений приповерхностными геоэлектрическими неоднородностями результатов глубинных зондирований в Карпатско-Паннонском регионе. Анализ выполнен на основе экспериментальных кривых глубинного зондирования и результатов численного пленочного моделирования. Показано, что почти повсеместно имеют место искажения типа *S*-эффекта. Подкорректированные экспериментальные данные указывают на существование коровой и мантийной зон повышенной электропроводности на глубинах 8 и 120–150 км в Карпатах и Закарпатье и 60 км в Паннонии.

Введение. Карпатско-Паннонский регион представляет значительный интерес для глубинной геоэлектрики как объект исследований и как полигон для отработки различных методов зондирования. Здесь накоплен обширный экспериментальный материал, выявлены проводящие слои в земной коре и верхней мантии; по мере разработки и внедрения в практику опробовались и широко применялись различные методы геоэлектрики: магнитотеллурический, магнитовариационный и др.

Наиболее интересными объектами в этом регионе являются аномалия магнитотеллурического (МТ) поля в Паннонском бассейне и магнитовариационная (МВ) аномалия в Карпатах. Исследования этих аномалий электромагнитными методами ведутся уже свыше 20 лет. Возникающие при этом трудности обусловлены влиянием геоэлектрических неоднородностей, осложняющих структуру электромагнитного поля и, следовательно, интерпретацию экспериментальных материалов. В результате приближенного анализа искажений МТ- поля и функций электропроводности в рамках одно- и двумерных моделей ситуация в значительной степени прояснилась [1–3], однако вопрос о правомерности интерпретации экспериментальных данных в классе двумерных моделей, о характере искажений МТ-полей, вызванных приповерхностными неоднородностями, и необходимости их учета остался открытым.

Существующие в настоящее время программы трехмерного моделирования требуют больших вычислительных ресурсов и пока еще непригодны для расчета полей, возбуждаемых геомагнитными вариациями в сложных моделях. В данной статье мы проанализируем искажения МТ- поля и попытаемся произвести их учет на основе имеющихся по Карпатско-Паннонскому региону данных глубинного МТ-зондирования и метода пленочного моделирования, развитого в [4–6].

Краткая геолого-геофизическая характеристика района. В географическом отношении исследуемая и окружающая ее территории охватывают Центральную и Юго-Восточную Европу. Современные представления о ее глубинном строении основаны главным образом на данных глубинного сейсмического зондирования [7]. Основными структурными элементами Восточно-Европейской платформы в пределах исследуемой территории являются Русская плита и Украинский щит (рис. 1). Юго-западная граница платформы обозначена зоной глубинных разломов, простирающихся через Балтийское море, Польшу, Западную Украину и Молдавию

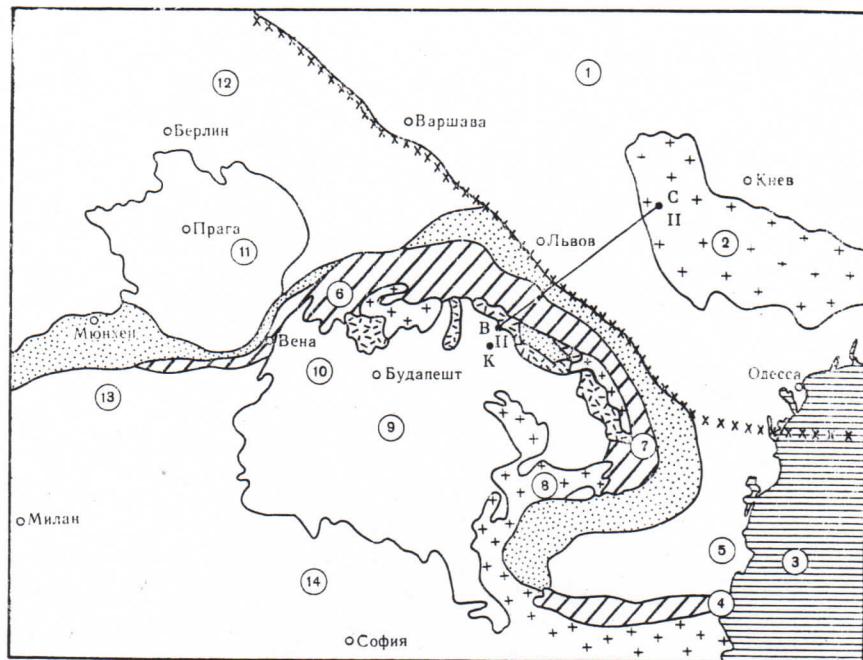


Рис. 1. Тектоническая схема Карпатско-Паннонского региона: 1 – Восточно-Европейская платформа; 2 – Украинский щит; 3 – Черное море; 4 – Балканы; 5 – Мизийская плита; 6 – Западные Карпаты; 7 – Восточные Карпаты; 8 – Южные Карпаты; 9 – Большая Венгерская впадина; 10 – Малая Венгерская впадина; 11 – Чешский массив; 12 – Северо-Германская впадина; 13 – Альпы; 14 – Родопы; крестиками выделена зона глубинных разломов; II-II – второй геотраверс (профиль Вариево В – Снегурковка С), К – пункт МТЗ Кочорд

до Черного моря. К юго-западу от зоны глубинных разломов простирается палеозойская платформа Центральной и Западной Европы.

Значительную площадь в Центральной Европе занимает область герцинской складчатости. Между Карпатско-Балканской дугой и краем Восточно-Европейской платформы прослеживается территория в основном равнинного характера. Центральную часть этой территории занимает Мизийская плита. Карпатская складчатая система является прямым продолжением Альпийской складчатой системы на восток. В плане Карпатская система представляет собой обращенный на северо-восток дугообразный изгиб протяженностью около 500 км; наибольшая ее ширина составляет 250 км. В Карпатском районе обычно выделяются Внешняя и Внутренняя зоны. Последняя не везде хорошо выражена. Так, в Восточных Карпатах она почти полностью погребена под Закарпатским прогибом. Окрайней частью Советских Карпат является Предкарпатский передовой прогиб, который делится на две зоны: внешнюю, развитую на платформенном основании, и внутреннюю — на геосинклинальном. При переходе от внутренней зоны прогиба к внешней и от последней к платформе фундамент вздымаются крутыми ступенями, образование которых обусловлено серией круtyх разломов. Внутренняя зона приподнята по отношению к Внешней не менее чем на 3–4 км. Закарпатский прогиб представляет собой неглубокую прогнутую структуру, глубина до палеогенового складчатого основания составляет 1,2–3 км.

Карпатская горная система полукругом охватывает Большую и Малую Венгерские впадины. В целом Паннонский бассейн представляет собой молодую межгорную впадину, перекрытую осадками средней толщиной 3 км.

Схема суммарной продольной (интегральной) проводимости осадочного чехла рассматриваемой территории, построенная по электроразведочным, сейсмическим, геологическим данным, материалам электрокаротажа и др. [8], приведена на рис. 2. Наибольшие значения S отмечаются в пре-

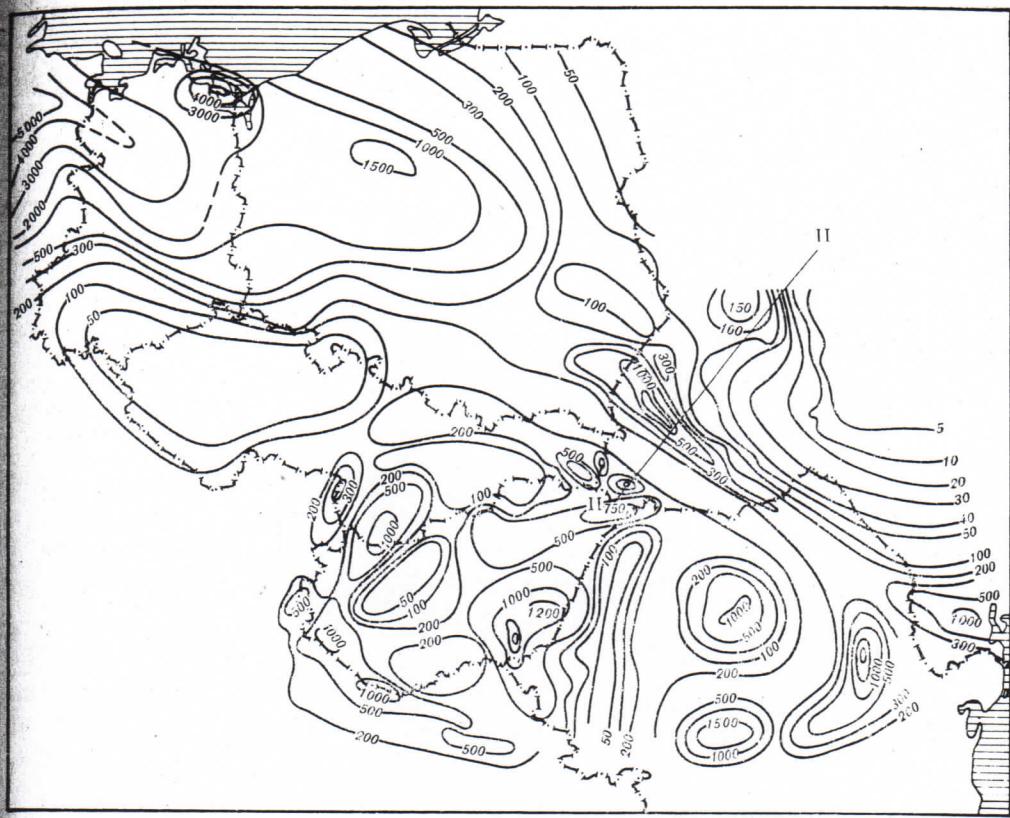


Рис. 2. Схема суммарной продольной проводимости Карпатско-Паннонского района.
II-II – второй международный геотраверс (профиль Вариево – Снегуровка)

делах Северо-Германской впадины (до 5000 См), где мощность осадочных отложений достигает 9–11 км, на территории Венгерской впадины, Предкарпатского и Закарпатского прогибов (до 1500–2000 См). Наименьшими значениями S характеризуются западный склон Украинского кристаллического массива, где S меняется от единиц до первых десятков сименс, а также Чешский массив. Учитывая, что в пределах рассматриваемой территории S меняется не менее чем в 100 раз, можно предполагать существование в этом районе значительных искажений МТ-поля.

Карпатско-Паннонская аномалия электромагнитного поля. На территории Карпат к настоящему времени выполнен большой объем электромагнитных исследований, основные результаты которых сводятся к следующему. В геомагнитных вариациях выделена аномалия, получившая название Карпатской. Приурочена она к складчатой зоне и прослеживается на значительном расстоянии на всем протяжении Карпат. При интерпретации аномалеобразующее тело аппроксимируется двумерным объектом. Глубина до него оценивается в 10–15 км, полная продольная проводимость $2\text{--}5 \cdot 10^8$ См·м. В последнее время удалось показать [3], что пространственное распределение вариаций магнитного поля по профилю вкрест простирации Карпат (вдоль II геотраверса) хорошо согласуется с моделью глубинного строения, построенной на основе полиморфно-адвекционной гипотезы [9] с привлечением сейсмических и геотермических данных. Согласно этой модели, в пределах Карпатской геосинклиниали выделяется зона частичного плавления пород верхней мантии в интервале глубин от 70–80 до 200–220 км с удельной электропроводностью $\sigma \sim 0,05$ См/м; под Восточно-Европейской платформой эта зона отсутствует. В зоне шовного сочленения складчатых Карпат и Закарпатского прогиба локально развита также коровая зона частичного плавления, создающая Карпатскую аномалию в геомагнитных вариациях. Подбор структуры

этой зоны по методу финитных функций в классе двумерных моделей позволил уточнить представления о Карпатской аномалии электропроводности: глубина до аномального тела ~ 13 км, его удельная электропроводность $\sigma \sim 2$ См/м. Некоторая неопределенность, сохраняющаяся в этой интерпретации, связана с отсутствием оценок влияния трехмерного характера Карпатской дуги на структуру и величину аномальных магнитных полей.

Менее определенными представляются результаты магнитотеллурических исследований. Большинство кривых МТЗ в пределах Карпатско-Паннонского района построено в ограниченном диапазоне периодов, не превышающем 10^4 с, и даже в недалеко отстоящих пунктах кривые значительно различаются по уровню. На территории Советских Карпат выполнено несколько МТ-зондирований. В 1973 г. было выполнено МТ-зондирование над осью аномалии [10]. Продольная кривая r_t , построенная методом видимых амплитуд, характеризуется большой погрешностью, разброс точек превосходит порядок. Тем не менее по этой кривой удалось оценить глубину до проводящего слоя, которая получилась равной 16–18 км, интегральная проводимость слоя порядка 1000 См. Восходящая ветвь оказалась чрезвычайно растянутой, максимум и нисходящая ветвь заметно превышают уровень данных глобального зондирования [11], что свидетельствует об искажающем влиянии приповерхностных неоднородностей. О результатах еще трех МТ-зондирований, выполненных также над осью аномалии, сообщается в [12] (рис. 3, а). Обработка велась более совершенными методами, поэтому разброс точек заметно уменьшился, хотя и остался довольно значительным. Поперечную к оси Карпатской аномалии кривую зондирования построить не удалось. Глубина кровли аномалеобразующего проводника, согласно этим зондированиям, равна 12 км, средняя мощность слоя 8 км, его интегральная проводимость 2000 См. Остается открытым вопрос о степени искажений этих кривых и, следовательно, результатов интерпретации.

На территории Паннонского бассейна выполнено множество МТ-зондирований. Наибольшее их число приходится на северо-западную часть, где подавляющее большинство кривых r_t указывает на существование в этом районе аномалии электропроводности. Теллурические же поля в этой области подвержены значительным искажениям: S здесь меняется от первых десятков до 1200 См. Наиболее устойчивую картину образуют минимальные кривые r_t , ориентированные в основном параллельно профилю структур фундамента. Согласно [13], они наименее искажены, их первая нисходящая ветвь дает глубину до проводящих объектов 7–13 км. Следует отметить, что тектоническую структуру северо-западной части Паннонского бассейна определяют продольные и поперечные разломы; они же формируют структуру теллурического поля. Выявленные аномалии также приурочены к разломам. Принимая во внимание, что осадочный чехол в этом районе подстилается докембрийским кристаллическим фундаментом, в котором часто встречаются электронно-проводящие структуры, А. Адам [14] предполагает, что аномалия связана либо с графитами, либо с присутствием в коре высокоминерализованных растворов (расплавов).

Формальная одномерная интерпретация кривых r_t указывает на резкое увеличение электропроводности до ~ 1 См/м на глубинах порядка 100 км. Поскольку кривые ограничены $T \leq 10^4$ с, их прямое сопоставление с глобальными данными, построенными для $T \geq 12$ ч, затруднено. Единственным пунктом на территории Паннонского бассейна, в котором кривые МТЗ построены до периода $T = 12$ ч, является обсерватория Надьценк. Однако и здесь кривые построены в меридиональном и широтном направлениях по кажущимся импедансам, характеризуются низкой точностью и, следовательно, малоинформативны.

В последние годы ИЗМИРАН, ИППММ АН УССР и Институт геологии АН УССР выполнили измерения МТ-поля в ряде пунктов вдоль II международного геотраверса. На рис. 3, б и в приведены кривые r_t в пунктах Снегуровка (северо-восточное окончание профиля, Украинский

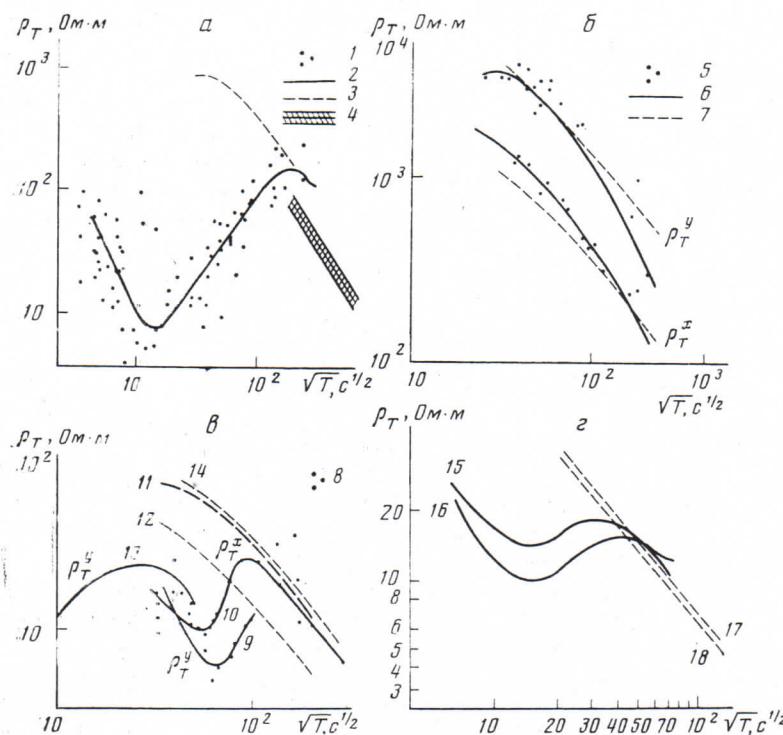


Рис. 3. Кривые ρ_T : а – на оси Карпатской аномалии [12]: 1 – экспериментальные определения ρ_T ; 2 – средние кривые ρ_T ; 3 – модельная кривая ρ_T ; 4 – полоса глобальных определений ρ_T , отвечающих «нормальному» разрезу, б – в Снегуровке (Украинский щит); 5 – экспериментальные определения ρ_T ; 6 – средние кривые ρ_T в меридиональном (ρ_T^x) и широтном (ρ_T^y) направлениях; 7 – соответствующие модельные кривые ρ_T . в – в Вариико и Кочорде: 8 – экспериментальные определения ρ_T в Вариико; 9, 10 – средние кривые в меридиональном (ρ_T^x) и широтном (ρ_T^y) направлениях в Вариико; 11, 12 – соответствующие модельные кривые ρ_T ; 13 – экспериментальная кривая ρ_T^y в Кочорде; 14 – соответствующая модельная кривая в Кочорде; г – в Задунайской области [15], пересчитанные под осадочный чехол; [15, 16] – средние кривые по двум группам экспериментальных данных; [17, 18] – соответствующие модельные кривые

кристаллический массив) и Вариико (юго-западное окончание профиля, Закарпатье). Кривые построены в меридиональном (ρ_T^x) и широтном (ρ_T^y) направлениях. Как видно из рис. 3, б и в, в обоих пунктах МТ-поле заметно искажено, в Снегуровке обе кривые лежат значительно выше, а в Вариико – значительно ниже глобальных данных. Отсутствие перегибов на кривых ρ_T в Снегуровке позволяет сделать вывод об отсутствии в этом районе зон повышенной электропроводности в коре и верхней мантии, а перегиб на кривых в Вариико указывает на присутствие в Закарпатье зоны повышенной электропроводности в верхней мантии.

Выбор модели. Как и всякая краевая задача, задача моделирования электромагнитных полей требует задания граничных условий. Обычно аномальную область окружают зоной «нормальной» проводимости S_0 ; величину S_0 выбирают близкой к средней величине проводимости моделируемой территории, а ширину нормальной зоны таким образом, чтобы аномальные поля на краю планшета были близки к нулю. При таком выборе обеспечивается корректное решение задачи расчета модельных полей, однако возникают трудности на этапе интерпретации. В природе изолированные аномалии встречаются крайне редко, аномальные поля от соседних неоднородностей накладываются друг на друга и неясно, как далеко следует отойти от интересующей нас области, чтобы аномальные поля от боковых неоднородностей уже не искажали поле. Заметим, что проблемы выбора S_0 и необходимости окружения аномальной зоны зоной с нормальной проводимостью не возникает при поэтапном моделировании,

когда исходной является сферическая модель и на каждом последующем шаге производится детализация и уточнение поля, причем за нормальное принимается поле, полученное для данного региона на предыдущем шаге [4].

В настоящей работе с выбором нормального поля поступим несколько иначе. Примем в качестве опорного пункта Снегуровку и предположим, что распределение глубинной электропроводности здесь не отличается от глобального [11]. Основанием для такого предположения являются результаты магнитотеллурических исследований, выполненных на Украинском кристаллическом массиве [12], а также представленные на рис. 3, б кривые, согласно которым в районе Снегуровки аномалии глубинной электропроводности в коре и верхней мантии отсутствуют.

Окружим интересующий нас регион зоной постоянной проводимости S_0 и, задаваясь распределением глубинной электропроводности в виде степенного закона [11], подберем величину S_0 и ширину зоны так, чтобы модельные кривые ρ_t в Снегуровке совпали с экспериментальными, а аномальные поля на краю планшета исчезали. На рис. 3, б подобранные таким образом модельные кривые приведены вместе с экспериментальными. Удовлетворительное согласие кривых позволяет принять в качестве нормального уровня $S_0=500$ См.

Моделирование магнитотеллурических полей в Карпатско-Паннонском регионе. Ответим вначале на вопрос о том, в какой мере трехмерная геометрия Карпатской дуги может повлиять на интерпретацию Карпатской магнитовариационной аномалии в рамках двумерной модели. На рис. 4 приведена вертикальная компонента индуцированного в неоднородном приповерхностном слое магнитного поля вдоль профиля Снегуровка — Варево, рассчитанная в [2] для соответствующей двумерной модели на периоде $T=1$ ч. Здесь же показаны соответствующие результаты пленочного моделирования для периодов $T=20$ мин, 1 и 3 ч. Как видно, наблюдается хорошее качественное согласие. В количественном отношении двумерные оценки завышены примерно наполовину в Предкарпатье и втрое — в Закарпатье.

Согласно расчетам [2], поверхность часть Карпатской аномалии невелика и составляет не более 30% от глубинной. Результаты пленочного моделирования, очевидно, подтверждают вывод о незначительном вкладе поверхностных неоднородностей в аномальное магнитное поле и, следовательно, интерпретация Карпатской магнитовариационной аномалии, опирающаяся на профильные наблюдения магнитных полей, остается в силе.

Перейдем теперь к анализу МТ-кривых. Модельная кривая на оси Карпатской аномалии для случая продольной поляризации (вдоль простирания Советских Карпат) показана на рис. 3, а. Как видно, нисходящая ветвь продольной кривой ρ_t хорошо согласуется с положением максимума и намечающейся низкочастотной ветвью экспериментальной кривой; вместе с тем они обе несколько выше нормального неискаженного уровня. Поскольку в выбранной нами геоэлектрической модели региона нет иных неоднородностей, кроме поверхностных, можно сделать вывод о том, что отмеченное искажение уровня кривых вызвано S -эффектом, имеющим, как известно, гальваническую природу. В этом случае без большой погрешности можно провести коррекцию уровня экспериментальной кривой ρ_t , согласовав положение ее нисходящей ветви с глобальными данными. С учетом такой коррекции глубина h до кровли аномально проводящего слоя оказывается равной ~ 8 км, суммарная продольная проводимость слоя ≈ 2000 См. Таким образом, h и S , определенные по магнитотеллурическим данным, хорошо согласуются с найденными в [3].

Во Внутренних Карпатах недалеко от Варево на территории ВНР выполнено зондирование в Кочорде; кривая ρ_t показана на рис. 3, в. Здесь же приведены экспериментальные определения ρ_t и проведенные по ним средние кривые зондирования в Советском Закарпатье (Берегово, кривые 1, 2). Как видим, с учетом разброса экспериментальных точек, можно считать, что нисходящая ветвь кривой ρ_t в Кочорде и левые ни-

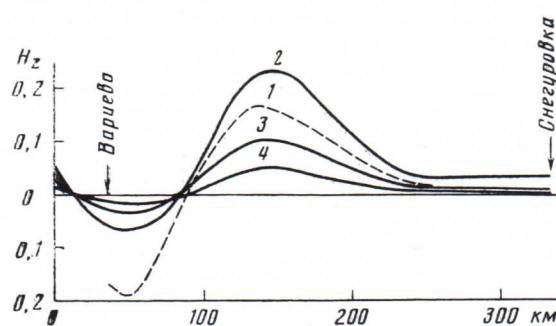


Рис. 4. Распределение по профилю Вариево – Снегуровка вертикальной компоненты аномального магнитного поля: 1 – результаты двумерного моделирования; 2, 3, 4 – плоскочное моделирование на периодах $T = 20$ мин, 1 и 3 ч

сходящие ветви кривых 1, 2 в общем согласуются. По форме кривых можно сделать вывод, что в земной коре и верхней мантии существуют по крайней мере две зоны повышенной проводимости. Однако формальная интерпретация кривых в рамках горизонтально-однородной модели недопустима. На рис. 3, в приведены соответствующие модельные кривые. Нетрудно видеть, что уровень и правые нисходящие ветви экспериментальных кривых и модельные кривые неплохо согласуются; вместе с тем они лежат значительно ниже глобальных данных (это видно из сравнения с рис. 3, а, где изображена полоса, внутри которой сосредоточено большинство экспериментальных глобальных определений) и, очевидно, нормального, не искаженного поверхностными неоднородностями уровня ρ_t . Следовательно, имеют место гальванические искажения, обусловленные повышенными значениями S осадочного чехла в Чоп-Мукачевской и прилегающих впадинах, где выполнены зондирования (Берегово, Кочорд). Близость низкочастотных ветвей экспериментальных и модельных кривых позволяет сделать вывод о преобладающем влиянии на структуру МТ-поля приповерхностных неоднородностей и незначительном — глубинных. Учитывая это обстоятельство и корректируя кривую в Вариево путем ее вертикального подъема до совмещения с нормальным (глобальным) уровнем, найдем, что резкий рост электропроводности отмечается на глубине ~ 120 км, интегральная проводимость слоя повышенной электропроводности составляет $1500–2000$ См, удельное сопротивление $10 \leq \rho \leq 100$ Ом·м (S осадков в Чоп-Мукачевской впадине достигает 1500 См). Этот слой, который, очевидно, может быть связан с зоной частичного плавления в верхней мантии, не проявляется в кривых МТЗ, построенных над осью Карпатской аномалии, где он, по-видимому, экранируется Карпатской коровой аномалией. Не отмечается он и на кривых, построенных во Внешних Карпатах, поэтому можно сделать вывод о его выклинивании. Этот вывод находится в полном согласии с результатами комплексной интерпретации магнитовариационных данных на основе полиморфно-адвекционной гипотезы. Однако, учитывая значительную величину коррекции кривых МТЗ, к сделанным выводам следует относиться с известной осторожностью.

Сложнее обстоит дело с интерпретацией магнитотеллурических данных в Паннонском бассейне. Как уже отмечалось, здесь выполнено лишь одно длиннопериодное зондирование — в обсерватории Надьценк. Еще девять кривых построено к северо-западу от Задунайской области в диапазоне до ~ 3 часов. В [15] они разделены на две группы, различающиеся величиной S осадков, пересчитаны под осадочный чехол на поверхность фундамента и воспроизведены в виде средних кривых I, II на рис. 3, г. Здесь же приведена модельная кривая для пункта со средней для данной территории $S=600$ См. Как видно, экспериментальные кривые лежат значительно ниже нормального (глобального) уровня и, следовательно, искажены. Совпадение модельной и экспериментальных кривых позволяет отнести искажения к разряду гальванических и провести корректировку

ку смещением их вверх до совпадения с нормальным уровнем. Приведенные к нормальному уровню кривые от указывают на резкий рост электропроводности на глубине $h \sim 60$ км, S проводящего слоя ~ 500 См. Интересно отметить, что найденная глубина находится в согласии с глубиной астеносферного слоя — 75 км, определенной по сейсмическим данным. Во Внутренних Карпатах кровля астеносферного слоя фиксируется на глубинах 80—90 км, а подошва — на глубине 250 км (продольные волны) и 400 км (поперечные). В Юго-Восточных Карпатах этот слой выделяется на глубине 100—150 км [16]. Таким образом, выделенные зоны повышенной электропроводности в Закарпатье и в Паннонском бассейне могут быть отождествлены с астеносферой.

В заключение необходимо отметить, что результаты зондирований в Закарпатье и в Паннонском бассейне следует рассматривать как предварительные и нуждающиеся в дальнейших уточнениях. Следующий шаг может быть сделан путем построения кривых зондирования во всем рассматриваемом интервале периодов, постановки новых зондирований и численного моделирования с учетом гальванической связи между осадочным чехлом и проводящими слоями в консолидированной земной коре и верхней мантии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adam A. The change of electrical structure between an orogenic and ancient tectonic area (Carpathians and Russian Platform). *Geomagn. and Geoelectr.*, 1980, v. 32, p. 1—46.
2. Бердичевский М. Н., Жданов М. С. Интерпретация аномалий переменного электромагнитного поля Земли. М.: Недра. 1981, 327 с.
3. Жданов М. С., Бердичевский М. Н., Абрамова Л. М., Билинский А. И., Бобров В. Н., Варенцов И. М., Голубев Н. Г., Гордиенко В. В., Жданова О. Н., Кулик С. Н., Файнберг Э. Б., Шнеер В. С. Глубинные электромагнитные исследования в Советских Карпатах.— Тез. докл. на Всесоюз. школе-семинаре по глубинным электромагнитным зондированиям. М., 1984.
4. Зингер Б. Ш., Файнберг Э. Б. Электромагнитная индукция в неоднородной тонкой пленке. Препринт № 13 (242). М.: ИЗМИРАН, 1979.
5. Fainberg E. B. Electromagnetic induction in the World oceans.— Forth Workshop on electromagnetic induction in the Earth and Moon, FRG, Murnau, 1978, p. 13—21.
6. Зингер Б. Ш., Файнберг Э. Б. Метод расчета электромагнитных полей в Мировом океане.— Геомагнетизм и аэрономия, 1980, т. 20, с. 106—110.
7. Чекунов А. В. Структура земной коры и тектоника юга Европейской части СССР. Киев: Наук. думка, 1972. 171 с.
8. Шилова А. М., Санин С. И. Проводимость осадочного чехла Карпатского региона. Препринт № 33 (398). М.: ИЗМИРАН, 1982. 10 с.
9. Бурьянин В. Б., Гордиенко В. В., Кулик С. Н., Логвинов И. М. Комплексное геофизическое изучение тектоносферы континентов. Киев: Наук. думка, 1983. 176 с.
10. Рокитянский И. И. Исследование аномалий электропроводности методом магнитовариационного профилирования. Киев: Наук. думка, 1975. 279 с.
11. Файнберг Э. Б. Глобальное геомагнитное зондирование.— В сб.: Математическое моделирование электромагнитных полей. М.: ИЗМИРАН, 1983, с. 79—121.
12. Бурьянин В. Б., Гордиенко В. В., Завгородняя О. В., Кулик С. Н., Логвинов И. М. Геофизическая модель тектоносферы Украины. Киев: наука. думка, 1985. 211 с.
13. Adam A. Statistische Zusammenhänge zwischen elektroscher Leitfähigkeitsverteilung und Bruchtektonik in transdanubien (westungarn).— Acta Geodaetic, Geophysica et montanistica, 1981, v. 16, № 1, p. 97—113.
14. Адам А. Хорошо проводящие дайки в фундаменте Паннонского бассейна.— В сб.: Коровые аномалии электропроводности. Л.: Наука, 1984, с. 49—54.
15. Адам А., Ваньян Л. Л., Варламов Д. А., Егоров И. В., Шиловский А. П. О глубинной электропроводности Паннонского бассейна.— Изв. АН СССР. Физика Земли, 1984, № 6, с. 100—102.
16. Беляевский Н. А. Строение земной коры континентов по геолого-геофизическим данным. М.: Недра, 1981. 432 с.

Академия наук СССР
Институт земного магнетизма,
ионосферы и распространения
радиоволн

Поступила в редакцию
17.X.1985