

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ им. С. И. СУВБОТИНА

На правах рукописи

КУЛИК СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

УДК 550.372,373:551.14(477)

СТРУКТУРА ТЕКТОНОСФЕРЫ УКРАИНЫ  
ПО ДАННЫМ ГЛУБИННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕТОДОВ

Специальность 04.00.22 – Геофизика

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора геологических наук

Киев 1996

550.3



Диссертация является рукописью 00754288 (Y)

Работа выполнена в Институте геофизики

им.С.И.Субботина Национальной Академии наук Украины

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, проф. Я.С.Сапужак

доктор геолого-минералогических наук, проф. Р.С.Сейфуллин

доктор геолого-минералогических наук, проф. Г.И.Каратаев

Ведущая организация:

Кафедра геофизики Киевского Национального университета им.Т.Г.Шевченко.

Защита состоится 19 марта 1996 в 13<sup>00</sup> час. на заседании специализированного совета Д 01.95.01 в Институте геофизики им.С.И.Субботина НАН Украины: 252680, г.Киев-142, пр.Палладина, 32. Факс: (044) 450-25-20.

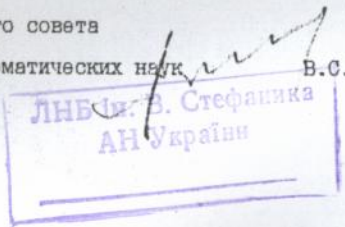
О диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геофизики им.С.И.Субботина НАН Украины.

Автореферат разослан 15 февраля 1996 г.

Ученый секретарь

специализированного совета

доктор физико-математических наук В.С.Гейко



Актуальность проблемы. Глубинные геоэлектрические методы, основанные на использовании энергии внешнего ионосферно - магнитосферного электромагнитного поля, являются единственными источниками сведений об электропроводности коры и мантии Земли. Этот важный физический параметр в силу своей тесной связи с распределением глубинных температур и фазовым состоянием вещества Земли наряду с другими геофизическими параметрами в последнее время используется для построения моделей тектоносферы как в глобальном, так и в региональном варианте. Основными объектами геоэлектрического изучения являются слои и локальные образования высокой электропроводности, в которых возникает интенсивные индуцированные переменные токи, создающие вторичные аномальные магнитные и электрические поля, измеряемые на поверхности Земли. Природа таких образований различна. В консолидированной земной коре повышенная электропроводность может вызываться наличием флюидов различного генезиса, графитизированных и сульфидизированных пород, фракционным плавлением вещества. В верхней мантии повышенной электропроводностью характеризуется астеносфера, содержащая достаточную долю расплава при наличии сквозной связанности, фазовыми переходами.

Но если глубинные геоэлектрические методы исследования глобальной электропроводности хорошо развивались, то региональные исследования в силу сложных поверхностных условий, требуют создание особых методических приемов как при экспериментальных наблюдениях, так и при интерпретации данных и построении глубинных геоэлектрических разрезов. Нетривиальным является и включение данных электромагнитных методов в общий комплекс интерпретации геофизических методов при построении

моделей тектонических процессов.

На территории Украины глубинные магнитотеллурические зондирования и магнитовариационное профилирование за последние 15 лет проводились автором вместе с коллегами в рамках комплексных геофизических исследований для поисков и характеристики аномалий электропроводности в земной коре и верхней мантии, которые дали возможность впервые выделить области развития молодой активизации тектоносферы. Этот тип эндогенного режима проявляется только в аномальных геофизических полях, в том числе в повышенной электропроводности на астеносферных глубинах в верхней мантии и в недрах земной коры.

Такие исследования и их геологические приложения практически отсутствуют в современных научных работах. Этим и определяется актуальность настоящей работы, где на основе экспериментальных работ, их анализа и интерпретации обнаружены новые ранее неизвестные области тектонической активизации.

Работа была направлена на изучение фундаментальных закономерностей строения тектоносферы.

Целью исследований являются экспериментальные наблюдения естественного электромагнитного поля Земли в широком диапазоне периодов геомагнитных вариаций, их интерпретация и построение геосалетрических разрезов, обнаружение областей и слоев аномально высокой электропроводности, объяснение природы их возникновения и в рамках комплексной геофизической интерпретации выделение зон активизации тектоносферы в пределах территории Украины и сопредельных держав.

Основные задачи работы. Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

1. Разработка особых приемов наблюдений и интерпретации глубинных магнитотеллурических методов.

2. Построение геоэлектрических разрезов тектоносферы изучаемого региона.

3. Анализ связи полученных электрических параметров с другими геофизическими параметрами.

4. Выявления природы выделенных объектов аномально повышенной электропроводности в земной коре и верхней мантии.

5. Выделение в рамках комплексной интерпретации геофизических полей зон молодой активизации тектоносферы на территории Восточно - Европейской платформы и Скифской плиты.

6. Построение схемы распространения астеносферы как слоя повышенной электропроводности в верхней мантии региона.

Научная новизна. В работе проанализированы данные глубинного магнитотеллурического зондирования и магнитовариационного профилирования, полученные в результате специальных исследований, а так же почерпнутые из научных публикаций. Выделены аномальные области высокой электропроводности в земной коре и верхней мантии на территории Восточно - Европейской платформы, в Крыму, Придобруджском прогибе, Карпатском регионе, Припятской впадине. Во всех упомянутых областях построены глубинные геоэлектрические разрезы, анализ которых вместе с данными других геофизических методов - геотермии, гравиметрии, сейсмологии позволил обнаружить зону, состоящую из локальных аномалий, протягивающуюся от Куршской косы Балтийского моря через часть Волино-Подольской плиты, Львовского палеовойскового прогиба, Молдавскую плиту, Придобруджский прогиб и Тарханкутский полуостров Крыма. Эти аномальные зоны характеризуются так же повышенным тепловым потоком, в ряде мест пониженными скоростями сейсмических волн. В тектоносфере изучаемых областей выявлена проводящая астеносфера с глубинами кровли от 50 до 80 км и наличием в ряде мест проводников

в коре, которые можно связать с частичным плавлением пород в амфиболитовой фации метаморфизма. Кроме того, выделены аномальные области высокой электропроводности на различных глубинах в коре Украинского щита и Вольно - Подольской плиты, которые связаны с оригинальным составом слагающих консолидированную кору пород.

Установлено выклинивание электропроводящей астеносферы, распространенной в недрах Паннонской впадины в сторону Восточно - Европейской платформы и сделано предположение об отсутствии проводящей астеносферы в недрах Трансильванской впадины. Установлено, что Карпатская аномалия в бухтообразных геомагнитных вариациях вызывается различными причинами в разных ее частях. В Западных и Украинских Карпатах она коррелирует с зонами молодого неогенового вулканизма, а в Восточных и Восточных Румынских Карпатах с проводящими осадочными малассовыми поверхностными отложениями Предкарпатского передового прогиба.

На территории юго-западной части Восточно - Европейской платформы за исключением упомянутых аномальных областей проводящая астеносфера не выделяется по крайней мере с достаточно высокими значениями суммарной продольной проводимости, которые можно было бы связать с наличием сквозной проводимости частично расплавленных пород.

Практическая ценность работы. Результаты изучения электропроводности тектоносферы различных регионов Украины и сопредельных стран могут быть использованы при исследованиях протекавших или протекающих тектонических процессов. Предложенные модели и могут быть использованы при построении геодинамических и тектонических схем и составлении прогнозных металлогенических карт территории Украины, для решения задач

методики и интерпретации электромагнитных исследований методами магнитотеллурического зондирования и магнитовариационного профилирования. Кроме того, полученные результаты могут быть использованы для построения глубинного распределения электропроводности в верхней и нижней мантии в комплексе с региональными магнитовариационными зондированиями на основе анализа долговременных наблюдений переменного магнитного поля Земли на геомагнитных обсерваториях Украины.

Реализация результатов. Магнитотеллурические и магнитовариационные исследования и их интерпретация, проведенные при участии автора диссертации были использованы при составлении геофизических и геодинамических схем Украины в рамках программы детального сейсмического прогнозирования, построении тектонических и геофизических моделей Карпатского и Крымского регионов, зон молодой активизации тектоносферы.

Апробация работы и публикации. Основные положения работы были представлены в разное время на Всесоюзном семинаре по электромагнитным зондированиям (Баку 1981, Москва 1985, Киев 1987), XI Конгрессе КБГА (Киев, 1980), 4-th IAGA Sci. Assembly (Эдинбург, 1981), VII Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth and Moon (Нигерия, 1984), 27-ом геологическом конгрессе (Москва, 1984), Астеносфера по комплексу геофизических методов (Киев, 1985), IX Workshop on electromagnetic induction in the Earth and the Moon (Дагомис, 1988), Международная конференция Теория и практика магнитотеллурического зондирования (Москва, 1994), Международном совещании Europrobe (Киев, 1994), Международном симпозиуме Природа электропроводности земной коры (Москва, 1994), Международном совещании по транскарпатскому профилю ГМТЗ (Варшава, 1995).

Основные положения диссертации изложены в 24 научных

работах, в том числе в 5 монографиях и в 3 научных отчетах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из Введения, 4 глав, Заключения и списка литературы 148 наименований. Объем работы 292 страницы, в том числе 72 рисунка.

Фактический материал и личный вклад автора. Основной фактический экспериментальный материал, который послужил основой для диссертации получен автором непосредственно в процессе исследований магнитотеллурическими методами за период с 1965 года по настоящее время вместе с коллегами Института геофизики. Экспериментальные работы проводились в пределах Восточно - Европейской платформы от Кольского п-ва до ее южной границы, в Крыму, Карпатах и Северном Тянь-Шане.

Автор также лично обрабатывал зарегистрированные естественные электромагнитные поля и проводил их интерпретацию и моделирование на основе программ, разработанных в Институте геоэлектромагнитных исследований РАН И.М.Варенцовым и Н.Г. Голубевым.

В работе также использованы данные опубликованные в различных научных изданиях и фондовые материалы.

Автор благодарен проф. В.В.Гордиенко, д.ф.-м.н. В.Н. Шуману, к.г.-м.н.И.М.Логвинову, к.ф.-м.н. И.М. Варенцову, к.ф.-м.н. Л.К.Ланкису за консультации, обсуждение результатов, Е.М.Тонковиду за проведение экспериментальных исследований. А также проф. М.Н.Вердичевскому, проф. Л.Л.Ваньяну и проф. И.И. Рокитянскому, к школе которых автор себя относит. Особую благодарность автор выражает к.г.-м.н. Т.К.Бурахович за помощь и совместную плодотворную работу.

Содержание работы

Глава I. Методика электромагнитных исследований.

В главе рассмотрены вопросы специфической методики про-

ведения как экспериментальных исследований глубинными электромагнитными методами тектоносферы, так и интерпретации данных и построения геоэлектрических моделей геологических регионов с различным возрастом и выявления аномальных областей повышенной электропроводности в земной коре и верхней мантии. Охарактеризованы механизмы возбуждения внешнего переменного электромагнитного поля Земли и основные методы глубинной геоэлектрики.

Были созданы программы для обработки данных МТЗ в соответствии с представленными идеями Эггерса, которые основаны на представлении матриц импеданса по собственным числам и собственным векторам, что позволило существенно продвинуться вперед при построении геоэлектрических моделей.

Важным моментом электромагнитных исследований является оценка разрешающей способности метода МТЗ. В основе методики лежат представления о двух типах искажений кривых МТЗ - индукционном и гальваническом, учет которых помогает свести двухмерную ситуацию к одномерной.

В рамках рассмотренных моделей был сделан вывод: кривые  $\rho_T$  при  $N$ -поляризации внутри осадочной толщи можно использовать с большим успехом для изучения глубинного одномерного геоэлектрического разреза вмещающей среды. Для оценки параметров среды необходимо нормализовать наблюдаемые кривые. Проведенный анализ  $N$ -поляризованного магнитотеллурического поля открывает определенные перспективы в интерпретации данных МТЗ при изучении сложного типа эндогенного режима молодой активизации тектоносферы.

Данные глобального магнитовариационного зондирования, в предположении сферически-симметричного распределения электропроводности в мантии Земли, дает возможность построить норма-

льную кривую МТЗ, начиная с периодов I суток. Для более коротких периодов необходимо использовать для поставленной задачи данные глубинных МТЗ (ГМТЗ), выполненных на территории неактивизированной платформы. В нашем случае удобно рассмотреть результаты исследований на докембрийской Восточно-Европейской платформе. При анализе более 100 кривых ГМТЗ удалось отобрать кривые, удовлетворяющие методическим требованиям. В качестве репера использовались данные глобального магнитовариационного зондирования. Для уточнения нормальной кривой учитывались данные лабораторных измерений электропроводности и информация о распределении температуры в недрах неактивизированной докембрийской платформы. В результате, получена нормальная кривая Восточно-Европейской платформы.

В первой главе предложен комплекс методических приемов:

- 1) Утверждается, что магнитотеллурические зондирования и магнитовариационное профилирование дают возможность решать поставленные задачи при наблюдении естественного электромагнитного поля Земли в широком диапазоне периодов вплоть до суточных.
- 2) Анализ теоретических расчетов показал, что в условиях резких горизонтальных неоднородностей индукционные поля в искомым объектах достаточно велики для измерений на поверхности Земли, существующей в настоящее время аппаратурой.
- 3) Влияние неоднородностей электропроводности пород вблизи земной поверхности можно исключить, рассматривая наблюдаемые явления как проявления искажения магнитотеллурического поля избыточными токами и избыточными зарядами.
- 4) Можно оценить и исключить неоднородности первичного источника электромагнитного поля, исследуя скалярные импедансы для пространственно - периодических полей.

Б) Применяя методику представления экспериментальных матриц импедансов по собственным значениям можно использовать, хорошо разработанный аппарат двумерного численного моделирования для интерпретации и построения разрезов в сложных трехмерных ситуациях.

## Глава 2. Электропроводность горных пород земной коры и верхней мантии.

В главе дана краткая характеристика различных типов электропроводности для более полного понимания роли аномальных зон при истолковании геоэлектрических данных: металлов, электролитов, диэлектриков, полупроводников.

Один из лучших обзоров и исследований электропроводности горных пород, в том числе и при высоких температурах, сделан в работе Э.И. Пархоменко и А.Т. Бондаренко (1972 г.), которая не потеряла своей свежести и значения до настоящего времени. Однако, результаты исследований, проведенных в различных лабораториях мира (К. Омуга, Т. Шанкланд, Р. Таритс, М. Ластовицкова и др.) сильно различаются между собой. Различия появляются из-за применения разных синтетических образцов, а также и истории естественных образцов. В некоторых случаях не уравновешены образцы с окружающей средой.

Изучение проводящих зон в земной коре и верхней мантии различных регионов показали, что аномально низкие значения сопротивления в них могут быть вызваны самыми разнообразными причинами. Установлены или предполагаются проводники, связанные с частичным плавлением пород коры (преимущественно образований амфиболитовой фации метаморфизма в "гранитном" или переходном слоях) и мантии, с включениями рудных минералов (в том числе - магнитоактивных) и графита, с десерпентинизацией глубинных коровых пород.

Накопленный опыт показал, что природа проводников не может быть установлена на основе только геоэлектрической информации. Необходимо привлечение других геофизических данных: сейсмометрических, гравиметрических, магнитометрических и, прежде всего - геотермических. Именно они могут ответить на вопрос, связано ли понижение сопротивления с аномальным прогревом недр, возможным частичным плавлением пород коры или появлением значительных концентраций флюидов при тепловой дегидратации. Аномальные объекты, к которым окажется неприменимым тепловое объяснение, должны рассматриваться с точки зрения связи с особенностями состава коровых пород.

Электрические свойства пород верхней мантии определяются физическими свойствами оливина и пироксена, которые являются главными минералами, составляющими породу под названием лорцолит.

Необходимо рассмотреть вопрос о возникновении слоев высокой электропроводности в недрах активизированной верхней мантии, связанных с частичным плавлением пиролита. Только несколько природных факторов дают возможность объяснить высокую электропроводность в верхней мантии, зарегистрированную по электромагнитным данным. Это может быть фазовый переход от плагиоклазового лорцелита к шпинелевому, а так же гидроксильные, Na и Fe- богатые минералы - пироксены и амфиболиты при высоких температурах. Однако, все эти минералы не связаны с необходимыми глубинами в верхней мантии. Так же высокую электропроводность в верхней мантии можно объяснить наличием флюидов. Такие флюиды возможно состоят из расплавленной фазы, воды,  $CO_2$ . Эти два сорта флюидов - жидкие и газообразные - обладают одним механизмом электропроводности. Изучение кимберлитовых и карбонатных магматических формаций

показывает, что на глубинах 150 - 200 км, возможно, не существуют в достаточном количестве газообразные флюиды, но небольшая их доля может привести к уменьшению температуры плавления, то есть уменьшению энергетического порога плавления пород.

Известно, что начиная с глубин 300 - 400 км, электропроводность заметно возрастает. На этих глубинах минералы мантии Земли претерпевают перестройку в фазы высокого давления. Здесь при  $\alpha - \gamma$  переходе происходит скачок электропроводности, который составляет один порядок и не зависит от содержания железа.

Распределение электропроводности в нижней мантии в настоящее время изучается с использованием не только глобальной системы магнитовариационных, но и спутниковых данных (MAGSAT). Обнаружен слой, отличающийся пониженным сопротивлением от выше и ниже лежащих пород ( $\rho = 0,5 - 0,7 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  на глубине 600-700 км и мощностью 200 км). Этот результат не является бесспорным из-за малых отличий полей для альтернативных моделей. Природа этого слоя неясна.

Глава 3. Геоэлектрические модели аномалий электропроводности Украины.

В 80-х годах автор вместе со своими коллегами проводил целенаправленные исследования магнитотеллурического поля Украины для выявления аномальных областей повышенной электропроводности в земной коре и верхней мантии в рамках комплексного изучения активизированных и пассивных в геологическом смысле областей.

За период исследований накопилось достаточное количество геоэлектрического материала для построения моделей распределения электропроводности в земной коре и верхней мантии всей

территории Украины и сопредельных стран.

Докембрийские области. Анализ нескольких сотен кривых МТЗ, ГМТЗ и МВП показывает, что в земной коре Ущ присутствует большое количество объектов повышенной электропроводности. Параметры объектов сильно изменяются, создавая сложную картину электромагнитного поля.

Обнаружена Западно-Приазовская аномалия проводимости мерионального простирания. Глубина залегания кровли объекта составляет примерно 5 км, а  $S$  - суммарная продольная проводимость около 500 См. В этой зоне тепловой поток равен фоновому для Ущ и природа повышенной электропроводности вряд ли может быть связана с аномальным разогревом недр. Логичней предположить аномальный состав пород коры или влияние минерализованных флюидов.

В центральной части Украинского кристаллического щита на границе Приднепровского и Кировоградского блоков в пределах Западно-Ингулецкой межблоковой зоны зарегистрирована Кировоградская аномалия в геомагнитных вариациях. На протяжении многих лет этот феномен изучался различными геоэлектрическими методами - ГМТЗ, МВП и ЧЗ.

Кировоградская аномалия электропроводности прямыми геоэлектрическими методами прослежена на расстоянии 600 км. Она пересекает часть Причерноморской впадины, Ущ, ДДВ и часть Воронежского кристаллического массива. Качественный анализ электромагнитных данных дает основание предположить существование в земной коре региона двух проводящих объектов, расположенных на различных глубинах в консолидированной земной коре 5 и 20 км. Верхний объект находится в приповерхностной части консолидированной коры и может состоять из нескольких изолированных, но расположенных близко друг от друга тел,

которые вероятно, имеют гальваническую связь с поверхностными осадками.

Проводящий объект, вызвавший электромагнитную аномалию, имеет безусловно глубинное происхождение, это сильно вытянутая структура с шириной 50 км, мощностью наиболее проводящей части 4 - 6 км, глубиной кровли 20 - 24 км, очень низким удельным электрическим сопротивлением - 1 Ом·м, причем, его интегральная проводимость оценивается в  $2,2,5 \cdot 10^8$  См·м.

Анализ причин образования глубинной аномалии позволяет в качестве наиболее вероятной принять процесс десерпентинизации, которому подвергся объем пород "базальтового" слоя земной коры.

В южной части Кировоградской аномалии (в районе г. Новый Буг) обнаружен повышенный тепловой поток (максимум - 72 мВт/м<sup>2</sup>). Такое возмущение ТП, которое не объясняется сколь угодно заметной повышенной теплогенерацией, указывает на возможность наличия в низах коры области частичного плавления, которая образовалась в сравнительно недавнем геологическом времени.

В то же время, в районе северной части геомагнитной аномалии на Ущ тепловой поток в основном имеет фоновое для докембрийского щита значение (до 45 мВт/м<sup>2</sup>).

Таким образом, феномен Кировоградской аномалии может быть вызван повышенной электропроводностью, возникшей в результате разных причин как по глубине, так и в пространстве.

Гайворон-Добровеличковская аномалия электропроводности, расположена в Голованевской шовной зоне между Белоцерковским и Кировоградским блоками Ущ, выклинивается к Корсунь - Новомиргородскому плутону, а на юге, вероятно, протягивается под осадками Причерноморской впадины, которые экранируют эф-

фект от аномального объекта и не дают возможности проследить его южное окончание. Область, занятая Гайворон-Добровеличковой аномалией состоит из нескольких проводящих объектов, которые имеют как различную ориентировку в пространстве, так и протяженность, а по глубине могут захватывать всю мощность "гранитного" слоя.

В западной части Ущ известен ряд мелких зон повышенной проводимости. Винницкая и Ружинская аномальные зоны имеют сложный трехмерный характер и залегают в верхней части консолидированной земной коры.

Коростенская аномалия состоит из двух объектов, которые залегают на глубине от 15 до 30 км и имеют протяженность 70 и 120 км. Южная область характеризуется удельным сопротивлением 80 Ом·м, а северная - 100 Ом·м.

В северной части Волино-Подольской плиты на территории Волино-Полесского прогиба расположена одна из наиболее изученных глубинными магнитотеллурическими зондированиями Волинская аномалия электропроводности. Ее западная граница проходит восточнее линии Любомль - Владимир-Волинский - Горохов - Червоноармейск, южная - по широте г.Кременец, а восточная - западнее линии Ровно - Владимирец.

Результаты численного двумерного моделирования Волинской аномалии показали, что в земной коре в северной и центральной части Волино-Подольской плиты обнаружена высокопроводящая область шириной 170 км, мощностью 2 - 3 км с кровлей на глубине 1 - 2,5 км и  $\rho = 2,5 - 5$  Ом·м. Интегральная проводимость  $1,08 \times 10^8$  См м.

Имеющиеся данные указывают на низкие значения теплового потока в районах Гайворон-Добровеличковой и Волинской аномалий электропроводности. Значения рассчитанных глубинных

температур для коры и верхов мантии низки даже для типичных древних щитов и платформ и не могут служить указанием на существование частично расплавленных пород, которые могли бы быть источником аномалий электропроводности. Возможной причиной образования этих аномалий является особенный состав пород верхней части "гранитного" слоя - повышенная концентрация графита.

На территории Внешней зоны Предкарпатского прогиба и Рава-Русской складчатой зоны глубинными магнитотеллурическими и синхронными магнитовариационными исследованиями выделен интересный, но сложный геоэлектрический объект - Яворовская аномалия электропроводности.

Во-первых, ее можно охарактеризовать как зону перехода от одного глубинного "горячего" геоэлектрического разреза под Паннонским бассейном и Складчатыми Карпатами к другому глубинному "холодному" геоэлектрическому разрезу ВЕП.

Во-вторых, разрешающая способность геоэлектрических методов не позволяет установить характер такого перехода. В работе приводится ряд вариантов, которые, по мнению автора, являются наиболее вероятными.

В-третьих, геоэлектрическое моделирование указывает на то, что в разрезе региона Яворовской аномалии присутствует коровый проводник мощностью 10 км с верхней кромкой, изменяющейся по глубине с запада на восток от 20 до 26 км. Его интегральная электропроводность составляет  $1,02 \cdot 10^8$  Ом м при ширине аномальной зоны 60 км.

В исследуемом регионе выделена и достаточно подробно изучена Яворовская аномалия теплового потока. Можно высказать предположение, что некоторый вклад в проводимость дали глубинные флюиды, поступившие в кору с веществом, сформировавшимся

источник тепла.

Не удалось построить достаточно убедительную единственную геoeлектрическую модель Черновицкой аномалии. Можно лишь с уверенностью утверждать, что в недрах Черновицкой аномалии существует проводящий объект на глубинах более 50 км, гальванически связанный с поверхностными осадками системой глубинных разломов: Подольским и Предкарпатским. По тепловой модели аномалии можно оценить области возможного частичного плавления пород, в местах, где температура превышает солидус соответствующих пород.

Степень согласования тепловой и геoeлектрических моделей достаточно высокая по глубине залегания областей возможного плавления и по оценкам суммарной продольной проводимости. Однако, горизонтальные размеры различны по двум методам. Геoeлектрический аномальный мантийный объект значительно шире, чем по геотермической модели. Поэтому, можно предположить, что нижняя часть источника избыточного тепла значительно шире верхней, однако, из-за молодости процесса массопереноса тепловой импульс с больших глубин еще не отмечается в поверхностном тепловом потоке.

В недрах тектоносферы северной части Молдавской плиты залегает объект высокой электропроводности, который пространственно совпадает с Бельцкой аномалией теплового потока и, вероятно, его природа связана с зоной частичного плавления пород верхней мантии. Можно считать достоверным существование объекта повышенной электропроводности в мантии с  $\rho \sim 20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  на глубине от 50 до 125 км.

В западной части Литвы с целью изучения аномальной области теплового потока были организованы глубинные магнитотеллурические зондирования в нескольких пунктах, причем,

синхронные наблюдения поля геомагнитных вариаций в диапазоне бухт дали возможность реализовать магнитовариационное профилирование. Эти данные четко указывают на инверсию векторов Визе и вертикальной компоненты поля геомагнитных вариаций на Кушской косе. По данным ГМТЗ кровля проводящего объекта располагается на глубине 50 км с  $S = 1000 \text{ См}$ .

Герцинская область. На территории герцинского Припятского прогиба в его северной части детальными исследованиями теплового потока. Результаты проведенной интерпретации электромагнитных данных (МТЗ, МВП) показали, что наблюдаемые естественные электромагнитные поля в северной части Припятского прогиба не могут быть объяснены только индукционным и гальваническим эффектами проводящих осадочных образований. В рамках эквивалентности геоэлектрических разрезов получены по крайней мере два варианта моделей, удовлетворяющих наблюдаемым данным. Их объединяет наличие электропроводящего канала, соответствующего Речицкому глубинному разлому. Отличие состоит в геометрии глубинного проводника. В первом случае, в недрах тектоносферы в интервале глубин 30 - 100 присутствует объект с суммарной продольной проводимостью  $S = 3500 \text{ См}$ . Во втором случае, он представлен двумя проводниками на глубинах от 20 до 30 км и от 50 до 100 км с  $S = 2000$  и  $2500 \text{ См}$  соответственно.

Природа повышенной проводимости, выделенных объектов, может быть связана с областями частично расплавленных пород земной коры и верхней мантии или проводящих флюидов.

Есть основания предполагать, что Речицкий разлом продолжается в консолидированной земной коре. Об этом свидетельствуют данные геохимических исследований Припятского прогиба. Было установлено, что на всем протяжении

ДНБ ім. В. Стефаника  
Речицького розлому  
АН України

наблюдается аномалия изотопного соотношения  $He^3/He^4$  в подсолоневых отложениях. Если для Днепровско-Донецкой впадины и Припятского прогиба фоновое значение оценивается в  $3 \cdot 10^{-8}$ , то в районе Речицкого разлома величина изотопного соотношения  $He^3/He^4$  изменяется от 7,8 до  $22,0 \cdot 10^{-8}$ . Эти значения более чем в 3 раза превышают фоновые, что свидетельствует о реальности данной аномалии.

Области киммерийской складчатости. В результате одномерного моделирования получены три варианта модели геоэлектрического разреза Тарханкутской аномалии электропроводности. Один содержит проводящий горизонт на глубине 30 км, хорошо согласуется с амплитудной кривой, но не удовлетворяет фазовую. Вариант с проводящим горизонтом на глубине 70 км достаточно хорошо объясняет обе кривые. В такой же степени согласуется вариант модели с двумя проводящими горизонтами на глубинах порядка 14 и 60 км.

Параметры проводящих объектов в коре и верхней мантии, полученные в результате такого анализа, а также данные об астеносфере на остальной территории Крыма послужили первым приближением для построения двухмерной модели Тарханкутской аномалии. Суммарная продольная проводимость объекта составила около 6000 См (т.е. втрое больше, чем в случае одномерной модели). Однако двухмерная модель плохо аппроксимирует реальную ситуацию. Проведена оценка возможного влияния конечных размеров (вытянутости в северном и в южном направлениях) объекта Тарханкутской аномалии для трехмерной модели в приближении постоянного тока, которая представляла собой проводящий параллелепипед с горизонтальными размерами 100 x 100 км мощностью 90 км и удельным электрическим сопротивлением 16 Ом м во вмещающей среде с  $\rho = 100$  Ом м. Глубина кровли проводника

30 км. Электрическое поле над моделью почти вдвое меньше, чем над двумерной моделью ( $E$  - поляризация). Соответственно в реальных условиях  $S$  проводящего объекта Тарханкутской аномалии должно быть в двое меньше, чем по результатам интерпретации в двумерном варианте. Последняя дает близкие к истинным параметры среды только в случае сильно вытянутых образований. Тогда над осью тела оценки в одномерном и двумерном приближениях совпадают.

В результате проведенного анализа наиболее вероятным геoeлектрическим разрезом недр района Тарханкута представляется вариант, включающий два проводящих слоя с глубинами кровли 14 и 60 км. Суммарная продольная проводимость этих объектов - 2000 См.

Для автора тепловая природа Тарханкутской аномалии бесспорна. Здесь прямыми измерениями получен аномально высокий для Крымской геосинклинали тепловой поток (выше 70 мВт/м<sup>2</sup>), построена модель источника тепловой аномалии, в которой основные геометрические параметры весьма сходны с параметрами геoeлектрической модели.

Отрывочные сведения об изотопном соотношении  $He^3/He^4$  свидетельствуют об аномальности этого параметра. Предполагается, что существуют пути проникновения мантийного гелия, возникшие в результате молодой активизации. Вдоль V профиля ГСЗ, который пересекает Тарханкутский полуостров на глубине 80 км зарегистрировано аномальное понижение скорости продольных волн.

Двухмерная модель геoeлектрического разреза Придубрудского прогиба (Ренийская аномалия электропроводности) характеризуется наличием серии проводящих слоев, различающихся своими параметрами. Во-первых, это слой в верхах земной коры,

его кровля изменяется от 10 до 20 км с юга на север в пределах прогиба, а мощность от 10 до 20 км и проводимость от 100 до 200 См, соответственно. Во-вторых, два проводящих объекта предполагаются в верхней части мантии: первый - на юге, на глубинах от 40 до 80 км с  $S = 400$  См и второй - на севере Придобруджского прогиба на глубинах от 70 до 110 км с  $S=1000$  См. Их ширина составляет 70 и 45 км соответственно. Эти проводники можно соединить вставкой с  $S=450$  См на глубине от 50 до 95 км.

Удалось показать наличие и определить геоэлектрические параметры "астеносферы" в пределах Северной Добруджи, хотя южное ограничение этого проводника не установлено. Но нужно иметь в виду, что по данным экспериментальных работ методом МТЗ, проведенных на территории Румынии трудно предположить наличие "астеносферы" в недрах Мизийской плиты.

По геотермическим данным Придобруджский прогиб и Северная Добруджа характеризуется наличием областей с аномально повышенным тепловым потоком: Ренийская (более 60 мВт/м<sup>2</sup>), в районе г. Арциз (60 мВт/м<sup>2</sup>) и юго-восточнее г. Татарбунары (60 мВт/м<sup>2</sup>). Предполагается, что геотермические аномалии вызваны молодым, возможно, незавершившимся процессом активизации тектоносферы плиоцен-четвертичного возраста. Можно так же предположить, что этот процесс сопровождается образованием зон частичного плавления пород верхней мантии, которые отразились в появлении объектов аномально высокой электропроводности. Следовательно, активизация коснулась области сочленения разновозрастных структур: докембрийской Восточно-Европейской платформы и киммерийской или герцинской геосинклинали Добруджи. Вполне вероятно, что под Добруджей астеносфера образовалась лишь в результате самой поздней,

современной активизации. Этот вывод по аналогии можно распространить и на киммериды Крыма.

Оценки показывают, что если повышенная проводимость вещества мантии в исследуемом регионе определяется частичным плавлением в пределах некоторого интервала глубин, то по формуле Шенклянда и Ваффа можно оценить процент частичного плавления в пределах Северной Добруджи - 2% и Придобруджского прогиба - 3,5 - 4%. Эта оценка скорее всего может быть максимальной.

Области альпийской складчатости. Феномен аномалии в геомагнитных вариациях был обнаружен Х.Визе (1965 г.) в Западных Карпатах и в дальнейшем исследован многочисленными экспериментальными наблюдениями в Украинских, Восточных и Южных Карпатах. Существенная асимметрия аномальных полей относительно локальной Карпатской аномалии электромагнитного поля, более резкое их затухание в Паннонии по сравнению с западным склоном УЦ дало основание автору предположить выклинивание астеносферного слоя (мантийного проводника), исследованного детально в Паннонии, в области Складчатых Карпат и его отсутствие в недрах Восточно-Европейской платформы. Глубина залегания мантийной аномалии, вызванной выклиниванием мантийного проводника, оценивалась примерно в 70 км. При проверке этого предположения при помощи численного моделирования получены аналогичные параметры: глубина до проводящей астеносферы в Паннонии оказалась равной 70 км, а ее суммарная продольная проводимость - 5000 См. Причем, обнаружено, что астеносфера выклинивается под Предкарпатским прогибом.

Над осью инверсии векторов Визе были проведены специальные глубинные МТЗ в трех пунктах: Думен (на высоте 1000 м над уровнем моря), Красное и Ольшаны (речные долины, расположен-

ные на расстоянии 30 и 60 км на северо-запад от п. Думен). По продольным кривым глубина кровли аномалиеобразующего объекта оценивается в  $12 \pm 2$  км. В Западных Карпатах по данным статьи глубина до эффективной линии тока по магнитовариацонному профилированию оценивается в 12 км.

Достаточная изученность аномальной зоны методом МВП позволила применить методы потенциальных полей - аналитическое продолжение, стягивающихся поверхностей и конечно - разностное двумерное моделирование. Окончательная двумерная модель, которая была оптимизирована методом конечных функций содержит высокопроводящую вставку ( $\rho = 0,5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ) с кровлей на глубине 13 км, которая окружена областью с  $\rho = 2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  мощностью 10 км и областью размером  $90 \times 14$  км под Складчатыми Карпатами, характеризующейся  $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . В верхней мантии под Паннонией присутствует проводящая астеносфера на глубине от 70 до 170 км с  $\rho = 25 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , которая плавно выклинивается в сторону Восточно-Европейской платформы.

На многочисленных профилях на территории Чехии, Словакии и Польши прослежена инверсия векторов Визе и на оси аномальной вытянутой области выполнены глубинные МТЗ. Глубина залегания кровли аномалиеобразующего объекта на всех кривых составляет примерно 8 - 12 км.

Аномалия трассирована (с отклонением  $\pm 2$  км) от Венской впадины до ее продолжения в Украинских Карпатах. В основном ось аномалии протягивается вдоль Пьенинской зоны утесов, которая разделяет Внешние и Внутренние Карпаты.

Рассмотрим один из активных регионов - область сочленения Южных и Восточных Карпат. Совместный анализ результатов двумерного моделирования, экспериментальных геоэлектрических данных и геолого-геофизической обстановки исследуемого

региона позволяет сделать следующие выводы:

- для исследуемого района Восточных Карпат и прилегающих территорий, занятых Трансильванской впадиной, Вулканическим хребтом и Предкарпатским прогибом одномерная интерпретация магнитотеллурических наблюдений приводит к существенным ошибкам в построении глубинного геоэлектрического разреза. В данной ситуации более адекватным подходом является интерпретация, основанная на двумерной аппроксимации с использованием хорошо разработанного аппарата численного моделирования. Кроме того, двумерное представление дает возможность использовать данные магнитовариационного профилирования и тем самым повысить разрешающую способность комплекса геоэлектрических исследований;

- проведенное двумерное моделирование различных ситуаций, отображающих глубинные геоэлектрические разрезы с "астеносферой" под Трансильванией и без нее, с проводящим разломом Вулканического хребта и без него, а так же без "астеносферы" и проводящего глубинного разлома, показали достаточно высокую разрешающую способность электромагнитных методов, которые позволяют успешно решать задачи построения глубинного геоэлектрического разреза в исследуемом Карпатском регионе. Однако, наличие отмеченных выше локальных трехмерных геоэлектрических неоднородностей в этом регионе осложняет двумерную интерпретацию;

- анализ экспериментальных и модельных электромагнитных наблюдений на исследуемом профиле указывает на отсутствие "астеносферы" под Трансильванской впадиной и наличие трехмерной проводящей структуры в недрах Вулканического хребта. Проводящая структура Вулканического хребта является ключным окончанием внутрикоровой Карпатской аномалии

электропроводности, выделенной ранее в Западных и Украинских Карпатах (Карпатской аномалии в геомагнитных вариациях), приуроченной к Выгорлат-Гутинской вулканической зоне.

Вывод об отсутствии "астеносферы" в недрах Трансильванской впадины не противоречит предположению о ее присутствии в Паннонии, так как на расстояниях порядка 250 - 300 км (от Паннонии до профиля наблюдений) аномальные поля, связанные с Паннонской "астеносферой", на профиле исследований практически незаметны из-за значительного расстояния. По геоэлектрическим данным можно предполагать, что в этой части Трансильванской впадины температура в верхней мантии не достигает значений, характерных для частичного плавления.

Вдоль профиля, пересекающего Паннонию, Карпаты, Волино - Подольскую плиту и Украинский кристаллический щит построена комплексная геофизическая модель тектоносферы, в которой использовались геологические, сейсмические, геотермические, гравитационные и геоэлектрические данные. Конструирование этой модели происходило на основе определенной тектонической гипотезы - полиморфно-адвекционного процесса формирования геосинклинали. Эта модель позволяет определить природу аномально повышенной электропроводности, которая наблюдается в пределах Паннонского срединного массива и Карпатского региона в коре и верхней мантии.

Отсутствие проводящих горизонтов в верхней мантии на территории Восточно-Европейской платформы (астеносферы) коррелирует с низкими температурами по тепловой модели. Вместе с тем в геосинклинальной области Карпат и Паннонском массиве выделенные по данным электромагнитных методов зоны исключительно высокой проводимости удачно коррелирует с областями вероятного частичного селективного плавления в нижней части

"гранитного" слоя и в интервале 70 - 170 км верхней мантии.

Однако представление о частичном плавлении в земной коре требуют определенных допущений. Температуры действительно выше солидуса, но солидуса "влажного". То есть необходимо допустить наличие довольно большого количества воды, что вполне вероятно и даже необходимо при развитии метаморфического процесса. Вода резко понижает температуру солидуса кислых пород и неизбежно насчется частичное плавление. В этом смысле нельзя различить природу повышенной электропроводности как следствие действия флюидов или расплавов. В некотором смысле это одно и то же. Кроме того в районе фиксации электромагнитной аномалии широко развит молодой вулканизм Выгорлат-Гутинской гряды. Правда наиболее молодые стадии вулканизма привели к выносу более основных щелочно-базальтовых пород (1,5 - 8,5 млн лет) в отличие от андезитового (10 - 17 млн лет).

Наиболее количественно обоснованной представляется модель активизации тектоносферы, построенная на основе адвекционно-полиморфной гипотезы и подкрепленная данными интерпретации различных геофизических методов. Предполагается, что возраст возникновения тектонической активизации соответствует альпийской геосинклинали, хотя возможно, что и позже проявился молодой режим разломно-магматической активизации.

На Украине и сопредельных территориях выявлены многочисленные области высокой электропроводности в земной коре и верхней мантии регионов с различным геологическим возрастом.

Название аномалий электропроводности	глубина залегания кровли		Суммарная продольная проводимость (См) кора мантия	Возможная природа высокой электропроводности
	кора (км)	мантия (км)		

Докембрийские области

1	Западно-Призовская	5	-	500	-	состав
2	Кировоградская	22	-	4000	-	дегидратация
3	Гайворон-Добровеличковская	0,1	-	1500	-	графит
4	Коростенская	15	-	400	-	состав
5	Волинская	до 5	-	700	-	состав
6	Яворовская	26	50	200	700	расплав
7	Черновицкая	-	50	-	2000	расплав
8	Бельцкая	-	50	-	3000	расплав
9	Клайпедская	-	50		1000	расплав
Герцинские области						
10	Припятская	20	50	2000	2500	расплав
11	Донбасская	5	-	-	40000	состав ?
Киммерийские области						
12	Ренийская	-	40-70	-	1000	расплав
13	Тарханкутская	12	70	1000	2000	расплав
Альпийские области						
14	Карпатская	10	70	1400	4000	расплав

Можно разделить природу аномальных зон на два основных типа.

К первому типу относятся аномальные объекты, повышенная электропроводность которых определяется специфическим составом пород земной коры или процессами дегидратации серпентинита в условиях избыточного давления. Возможно наличие графитизированных пород или скопление рудных элементов. В последнем случае наблюдается корреляция электропроводности и расположения региональных магнитных аномалий, так как для пород Ущ предполагается, что половина

рудных аномалий представлено магнитоактивными рудностями (магнетитом, титано-магнетитом, пирротинном). Примеры таких аномалий - Приазовская, Гайворон-Добровеличковская, Кировоградская, Волинская, Коростенская.

Ко второму типу относятся объекты повышенной электропроводности, где наблюдаются аномально высокие значения теплового потока. Здесь вероятно наличие высокоминерализованных флюидов, аномально высоких глубинных температур, превосходящих солидус и, следовательно, частично расплавленных пород, вызванных проявлениями тектонической активизации. В ряде мест (Черновицкая, Ренийская аномалии) горизонтальные размеры областей повышенной электропроводности значительно больше размеров аномалии теплового потока. В других случаях (Припятская, Яворовская, Вельцкая, Тарханкутская аномалии) пространственное положение аномалий геоэлектрических и теплового потока совпадает. Вполне вероятно, что тепловой поток в первом случае из-за молодости формирования источника тепла соответствует только апикальной его части.

Комплексная геофизическая интерпретация дает основание выделить особый тип тектонического режима - молодой активизации тектоносферы, которая проявляется в основном в появлении аномальных по сравнению со стабильными регионами геофизических полей особой комбинации. Представителями таких аномальных областей являются следующие аномалии электропроводности: Клайпедская, Яворовская, Черновицкая, Вельцкая, Придобруджского прогиба (Ренийская), Тарханкутская. Перечисленные аномалии создают целую полосу, вытянутую вдоль западной границы Восточно - Европейской платформы, шириной свыше 100 км. На юге эта полоса сечет Причерноморскую впадину. Вместе с тем наблюдаются аномалии второго типа и вне этой зоны глубоко на вос-

ток в глубине ВЕП - это Припятская, возможно, Донбасская и Клайпедская аномалии.

Замечательно, что выделенная зона молодой активизации с возрастом до 5 - 7 млн лет (по интерпретации В.В.Гордиенко) совпадает достаточно хорошо с областью пониженных значений поперечных сейсмических волн, определенной на глубине свыше 250 км Г. Нолетом.

В местах аномалий геофизических полей наблюдается локальная сейсмичность, аномальное значение изотопного соотношения гелия.

К аномалиям второго сорта относится и Карпатская коровая аномалия электропроводности, которая вероятно вызвана альпийским геосинклинальным тектоническим процессом. В Восточных и в Южных Румынских Карпатах аномалия в геомагнитных вариациях вызвана высокой электропроводностью малосовых осадочных пород Предкарпатского прогиба.

Глава 4 Геоэлектрическая астеносфера Украины и окружающих регионов

Термин "астеносфера", параметры которой получены по геоэлектрическим данным, требует определенного пояснения. В отличие от реологического слоя пониженной вязкости, как это принято определять астеносферу по сейсмологии, в геоэлектрике "астеносферой" называют проводящий слой в верхах мантии, верхняя кромка которого в некоторых районах залегает примерно на глубинах от 50 км до 200 км. Ниже 200-250 км по геоэлектрическим данным промежуточный слой в верхней мантии не наблюдается по вполне понятным причинам. Дело в том, что электропроводность диэлектрика существенно повышается с ростом температуры и начиная с этих глубин нормальное значение удельного электрического сопротивление

подобно удельному сопротивлению проводников с ионной проводимостью. Уже то, что такие промежуточные горизонты не замечены на глубинах от 250 до 800 км должно до некоторой степени свидетельствовать о природе электропроводности промежуточного слоя в верхней мантии как следствие частичного или полного плавления пород. Есть сведения (В.Д.Семенов), что глубже 700 км наблюдается резкое повышение электропроводности мантии и скорее всего этот феномен нельзя объяснить плавлением вещества.

Определим термин "астеносфера по геоэлектрическим данным" как слой высокой электропроводности с  $\rho$  не более 100 Ом·м и суммарной продольной проводимостью не менее 400 См, которая вызывается частичным плавлением вещества мантии.

Тесная связь распределения электропроводности в недрах верхней мантии с термодинамическими условиями, в особенности, с температурой, а также с фазовым состоянием пород заставляет рассматривать параметры "астеносферы" с учетом и в зависимости от характера тектонических процессов в тектоносфере и, прежде всего, с возрастом геологических структур.

Украинский кристаллический щит Несмотря на то, что величина  $S$  на территории УЩ невелика и казалось, что он прозрачен для изучения мантии, поверхностные латеральные неоднородности создадут местами непреодолимые трудности. Как указывалось выше, территория УЩ изобилует как поверхностными, так и внутрикоровыми аномалиями электропроводности.

Украинский кристаллический щит обладает высоким удельным электрическим сопротивлением, хотя и значительно меньшим (почти на порядок), чем на других щитах, например Балтийском. Тем не менее УЩ окружен хорошо проводящими поверхностными образованиями и тем самым способствует

формировании регионального S-эффекта. На ряде кривых МТЗ наблюдается выполаживание максимума и появление локального минимума на периодах 400 - 800 с. Если предположить, что верхние 100 км обладает достаточно низким удельным электрическим сопротивлением (как указывалось выше, для такого предположения имеются веские основания), подстилаемые глубже нормальным разрезом Восточно-Европейской платформы, то наблюдаемые на кривых МТЗ квазигоризонтальные ветви до периодов примерно 2500 с и неглубокий минимум могут характеризовать такое простое распределение  $\rho$  с глубиной.

В общем кривые МТЗ на УЦ показывают, что здесь "астено-оферный слой" вероятнее всего не проявляется в магнитотеллурическом поле.

Склоны УЦ, Воляно-Подольская и Молдавская плиты. Здесь наблюдается иная картина. Части указанных областей подверглись процессу молодой активизации и в недрах этих участков наблюдаются области существенно пониженных значений удельного электрического сопротивления. В активизированной зоне края Восточно-Европейской платформы в районе Яворовской аномалии электропроводности скорее всего присутствует "астеносфера", но характер ее связи с Паннонской астеносферой установить не удалось. Условно можно описать геоэлектрические параметры мантийного проводника: интервал глубин - 50 - 100 км,  $\rho \approx 70$  Ом·м ( $S \approx 700$  См), эпицентр зоны - г. Яворов. Так как эта область пониженного сопротивления не видна на II геотраверсе, то можно оценить ее юго-восточное ограничение.

В пределах южного Предкарпатья на территории Предкарпатского прогиба и Воляно-Подольской плиты до Подольского разлома выделена геоэлектрическая "астеносфера" на глубинах от 50 км до 90 км с небольшим значением

суммарной продольной проводимости от 500 до 1000 См и  $\rho \approx 40$  Ом·м (Черновицкая аномалия).

Скорее всего эта глубинная область повышенной электропроводности соединяется с мантийным проводником в недрах Молдавской плиты. Этот объект характеризуется большой электропроводностью ( $\rho \approx 20$  Ом·м,  $S \approx 3000$  См) и залегает в интервале глубин от 50 до 125 км.

Итак, мы видим, что "астеносферные" горизонты повышенной электропроводности, выделенные на юго-западной окраине Восточно-Европейской платформы, характеризуются одинаковой глубиной залегания кровли (50 км), различной мощностью (от 40 до 125 км) и удельным электрическим сопротивлением (от 20 до 70 Ом·м). Суммарная продольная проводимость объектов увеличивается от 500 до 3000 См с северо-запада на юго-восток. Возраст возникновения этих очагов частичного плавления примерно 7 - 10 млн лет.

В северной части Припятской впадины на основе исследований глубинными магнитотеллурическими зондированиями и магнитоварьационного профилирования обнаружена ограниченная область высокой электропроводности в мантии "астеносфера". Мощность этого слоя составляет примерно 50 км, а суммарная продольная проводимость - 2500 См, при  $\rho = 20$  Ом·м.

Крым. Этот регион покрыт значительным количеством МТЗ, в том числе и глубинных, полученных в некоторых пунктах на Тарханкуте, в Степном и Горном Крыму.

В среднем глубина залегания астеносферного слоя повышенной электропроводности 110 - 140 км с суммарной продольной проводимостью 800 См. На Новоселовском поднятии, где  $S_{00}$  находится в пределах значений 20 - 60 См, суммарная продольная проводимость "астеносферы" составляет в среднем

500 См, а глубина залегания верхней крошки 110 - 130 км.

В западной части Крыма обнаружено аномальное поведение астеносферного слоя. Здесь глубина кровли "астеносферы" существенно повышается до глубин 65-70 км, а его суммарная продольная проводимость увеличивается до 2000 См.

В Придобруджском прогибе проведены глубинные магнитотеллурические и магнитовариационные исследования. На фоне аномалии в геомагнитных вариациях в недрах верхней мантии выделены два проводящих объекта в верхней части мантии: первый - на юге, на глубинах от 40 до 80 км с  $S=400$  См и второй - на севере Придобруджского прогиба на глубинах от 70 до 110 км с  $S=1000$  См. Их ширина составляет 70 и 45 км соответственно. Эти проводники можно соединить вставкой с  $S=450$  См на глубине от 50 до 95 км.

Анализ серии теоретических моделей и их сравнение с наблюдаемыми полями дал возможность оценить глубинный разрез примыкающей к Придобруджскому прогибу части Северной Добруджи. Предполагается, что в интервале глубин от 110 до 160 км находится астеносферный слой с небольшой суммарной продольной проводимостью  $S=700$  См с  $\rho=70$  Ом·м.

В альпийских областях Центральной и Восточной Европы геовольтическая астеносфера скорее всего связана в основном с Паннонским срединным массивом Карпато-Альпийской геосинклинальной области. По крайней мере в Западных и Украинских Карпатах "астеносфера" является частью Паннонской, а в Восточных и Южных скорее всего она вообще отсутствует. По некоторым данным астеносфера с  $S=3000$  См присутствует под Родопами и выклинивается в сторону Мизийской плиты.

Паннонская впадина в геовольтическом отношении неудобна для изучения астеносферы из-за больших значений суммарной

продольной проводимости поверхностных отложений и наличия коровых проводящих слоев. Тем не менее на стационарной кривой в геомагнитной обсерватории Надьценк получена кривая глубинного магнитотеллурического зондирования, на которой отчетливо проявляется мантийный слой с  $S$  около 6000 Ом. В дальнейшем в Паннонии были проведены многочисленные зондирования для изучения геоэлектрических параметров в недрах земной коры и верхней мантии. Вдоль профиля от Чехословацкой до Румынской границ глубина астеносферы с северо-запада на юго-восток изменяется от 55 до 65 км, кроме того намечается проводящий слой на глубине около 17,5 км. Под Чешским массивом астеносфера как проводящий слой резко уменьшается по мощности и суммарной продольной проводимости. Глубина кровли астеносферы здесь составляет 100 - 120 км. Детальное изучение Карпатской аномалии электропроводности на Украине и большое количество данных магнитовариационного профилирования показывают, что Паннонская астеносфера полностью выклинивается под Предкарпатским прогибом и отсутствует в недрах Вольно-Подольской плиты.

Гораздо сложнее обстоит дело с Трансильванской впадиной, отделенной от Паннонии горами Апусени. При моделировании профилей через Восточные Карпаты на Придобруджский прогиб и от Трансильвании до Молдавской плиты аномальные поля МВП не соответствуют расчетным (2-D), если в мантии Трансильвании будет залегать астеносферный слой. Есть и другие качественные указания на вывод об отсутствии астеносферного проводника в недрах Трансильвании. Если к этому добавить и сведения о низких значениях теплового потока, то можно сделать осторожный вывод о глубинной электропроводности Трансильванской впадины.

### Закл<sup>ю</sup>чение.

Основные результаты исследований заключаются в том, что:

1. Геоэлектрические методы, основанные на использовании естественного электромагнитного поля Земли, дали возможность автору изучить и оценить электропроводность пород земной коры и верхней мантии в различных геологических регионах.

2. Параметры геоэлектрических объектов оказались тесно связанными с возрастом соответствующих геологических структур. Мантийный слой повышенной электропроводности "астеносфера" уверенно фиксируется в относительно молодых регионах, в основном альпийского возраста. Уже для геосинклиналей киммерийского возраста Степной Крым и, возможно, часть Северной Добруджи, степень аномальности геоэлектрического разреза уменьшается и сопротивление "астеносферы" приближается к граничному значению 70-100 Ом·м, которое определяет возможность частичного плавления и полную связность расплава.

Для многих, но не для всех изученных эпигерцидских областей характерно наличие мантийного проводника с суммарной продольной проводимостью около 2000 Ом, при этом необходимо подчеркнуть, что многие зоны с герцидским фундаментом, имеющие "астеносферу" в своих недрах, характеризуются проявлениями молодой активизации. Примером могут служить Туранская плита и Придобруджский прогиб.

Докембрийская Восточно-Европейская платформа отличается на большей части своей территории отсутствием "астеносферного" слоя и характеризуется непрерывным увеличением электропроводности с глубиной, которая в работе определена как "нормальный разрез".

3. Основным вкладом в комплексную интерпретацию геофизических и геологических данных является обнаружение и оценка

параметров глубинных коровых и мантийных зон повышенной электропроводности на территории Восточно-Европейской платформы, герцинских и киммерийских областях.

Так как связь электропроводности горных пород с их температурой и фазовым состоянием бесспорна, аномалии повышенной электропроводности в мантии различных регионов автор, да и не только автор, объясняет с наличием расплавленной фазы. Температура плавления горных пород тесно связана с наличием флюидов и поэтому для ее оценки по таким реперным данным, как повышенная электропроводность требует принятия определенной гипотезы о флюидном режиме в мантии.

Обнаружены области аномально пониженных мантийных сопротивлений в западной окраине Восточно-Европейской платформы, палеозойском Львовском прогибе, герцинских Придубруджском прогибе и Припятской впадине, киммерийском Степном Крыме. Эта цепочка "астеносферных" и коровых аномалий электропроводности протягивается от Куршской косы - Клайпедская аномалия - через Раву-Русскую, Черновицкую аномалию, Молдову, Придубруджский прогиб до Тарханкутского полуострова Крыма. В глубине Восточно-Европейской платформы, в Припятской впадине так же обнаружена мантийная и коровые области повышенной электропроводности.

В некоторых случаях, например Имандра-Варзугская, Гайварон - Добровеличковская, повешенная проводимость связана с характерным составом пород: сульфидными рудопоявлениями, графитизацией. Предполагается, что повышенная электропроводность в зоне Кировоградской аномалии может вызываться дегидротацией серпентинитов в условиях избыточного давления. Правда эта гипотеза основана на недостаточном количестве и качестве фактов. Некоторые аномалии в нижней части коры могут

быть связаны с повышенным содержанием рудного компонента. В некоторых случаях обнаружены зоны, которые условно можно называть разломными, соединяющие поверхностные хорошо проводящие осадки и коровые аномалии электропроводности, например, Черновицкая зона. Здесь выделенная проводящая субвертикальная область повышенной проводимости совпадает с простиранием и расположением Приднестровского разлома. Такая же картина наблюдается и в Припятской впадине.

4. Используя связь механизмов электропроводности с температурным режимом недр тектоносферы выделены области, которые можно охарактеризовать как зоны активизации. Их возраст определялся на основе использования гипотезы тектонических процессов, соотношения распространения и величин аномалий теплового потока и повышенной электропроводности в коре и мантии. Можно предполагать, что Клайпедско-Тарханкутская зона является районом развития молодой активизации тектоносферы с возрастом не более 5 млн лет.

Защищаемые положения диссертационной работы формулируются следующим образом.

1. Разработана методика интерпретации глубинных геоэлектрических методов, основными элементами которой является комплексирование магнитотеллурического зондирования и магнитовариационного профилирования, нормализация кривых ГМТЗ с использованием данных глобального магнитовариационного зондирования и обобщенной кривой ГМТЗ для Восточно-Европейской платформы, расчет элементов матриц входных импедансов, полученных по собственным значениям и собственным направлениям для построения глубинных моделей реальных геоэлектрических сред, применение аппарата двумерного численного моделирования и совместный анализ E- и H- поляризованных электромагнитных

полей.

2. Впервые на основе специальных экспериментальных исследований на Украине и в сопредельных территориях обнаружены Западно - Приазовская, Коростенская, Волинская, Яворовская, Черновицкая, Бельцкая, Клайпедская, Припятская, Ренийская, Тарханкутская и изучены Кировоградская, Гайворон-Добровеличковская, Карпатская аномалии высокой электропроводности в земной коре и верхней мантии.

3. Природа электропроводности аномальных зон разделена на два основных типа. Повышенная электропроводность аномалий первого типа (Приазовская, Гайворон - Добровеличковская, Кировоградская, Волинская, Коростенская) определяется специфическим составом пород земной коры. Природа аномалий электропроводности второго типа (Клайпедская, Припятская, Карпатская, Яворовская, Черновицкая, Бельцкая, Ренийская и Тарханкутская) связана с наличием высокоминерализованных флюидов, частично расплавленных пород земной коры и верхней мантии.

4. Клайпедская, Яворовская, Черновицкая, Бельцкая, Ренийская и Тарханкутская аномалии электропроводности в земной коре и верхней мантии создают своеобразную вытянутую зону, которая характеризуется и другими аномалиями геофизических параметров (теплового потока, скоростей сейсмических волн, сейсмической активности).

5. Астеносфера как слой повышенной электропроводности в верхней мантии Земли распространена на Украине и в сопредельных территориях фрагментарно. Слой проводящей астеносферы обнаружен в недрах Паннонской впадины и Складчатых Карпат, Крыма и Северной Добруджи. Астеносферные области залегают в мантии Литовской синеклизы, северной части Припятского прогиба, северного и южного Прикарпатья, Молдавской плиты. Относительное

увеличение электропроводности и изменение глубины кровли проводящего слоя в верхней мантии наблюдается на Тарханкутском полуострове Крыма.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Комплексное геофизическое изучение тектоносферы континентов // Киев: "Наукова думка". - 1983. - 176 с. (соавторы Бурьянов В.Б., Гордиенко И.И., Логвинов И.М.).

2. Геофизическая модель тектоносферы Европы. // Киев: Наукова думка. - 1987. - 184 с. (соавторы Бурьянов В.Б., Гордиенко В.В., Завгородняя О.В., Логвинов И.М.).

3. Геофизическая модель тектоносферы Украины. // Киев: Наукова думка. - 1985. - 212 с. (соавторы Бурьянов В.Б., Гордиенко В.В., Завгородняя О.В., Логвинов И.М.).

4. Тектоносфера Средней Азии и Южного Казахстана. // Киев: Наукова думка. - 1990. - 229 с. (соавторы Гордиенко В.В., Зунцунов Ф.Х., Таль-Вирский В.Б., Логвинов И.М., Белявский В.Н.).

5. The electric conductivity anomaly in the Carpathians // Akta geod. et Montanist. Acad. Sci. Hung. 1975 T.10(3) P. 277-286 (соавторы Rokitiansky I.I., Shuman V.N., Logvinov I.M.).

6. Комплексная геофизическая модель литосферы Восточных Карпат // Геофиз. сб. - 1978. - Вып. 83. - С. 3-16. (соавторы Бурьянов В.Б., Гордиенко В.В., Ливанова Л.П., Рокитянский И.И., Пашкевич И.К., Чекунов А.В., Сологуб В.В.).

7. Комплексная геофизическая модель литосферы Западных Карпат, Чешского массива и Саксоно-Тюрингской зоны (вдоль VI международного геотраверса) // Геофиз. жур. - 1980. - т.2 № 3. - С.3-13 (соавторы Бурьянов В.Б., Гордиенко В.В., Логвинов И.М.).

8. Аномалии геомагнитных вариаций на северо-западе Ев-

ропейской части СССР. //Изв. АН СССР. Физика Земли. - 1982. - № II.-С. 101-106. (совторы Рокитянский И.И., Логвинов И.М.).

9. Геоэлектрическая и тепловая модели тектоносферы Крыма. //Докл. АН УССР. - 1982. - Сер. В. - № 1. - С. 10-13. (совторы Гордиенко В.В., Завгородняя О.В., Логвинов И.М.).

10. Глубинное магнитотеллурическое зондирование Тарханкутского полуострова. //Док. АН УССР. - Сер. В. - 1984. - № 12. - С. 15 - 18. (совтор Бурахович Т.К.).

11. 2-D model fitting of a geomagnetic anomaly in the Soviet Carpathians. // Annales Geophysicae, 1986. - 4. - В. - 3. - P. 335 - 342. (совторы Zhdanov M.S., Golubev N.G., Varentsov I.M., Abramova L.M., Shneer V.S., Berdichevsky M.N. Zhdanova O.N., Gordienko V.V., Bilinsky A.I.).

12. О природе Тарханкутской аномалии в Крыму. //Геофиз. журн. - 1987. - 9, № 5. - С. 50 - 58. (совторы Бурахович Т.К., Варенцов И.М., Гордиенко В.В., Логвинов И.М.).

13. Волынская аномалия электропроводности. //Док. АН УССР. - Сер. В. - 1990. - № 2. - С. 3 - 6. (совторы Бурахович, Т.К., Логвинов И.М.).

14. Изучение Клайпедской аномалии. //Док. АН УССР. - Сер. В. - 1990. - № 6. - С. 3 - 5. Бурахович Т.К., Гордиенко В.В., Завгородняя О.В., Логвинов И.М.).

15. Черновицкая аномалия теплового потока. //Док. АН УССР. - 1991. - № 6. (совтор Гордиенко В.В.).

16. Behaviour of geomagnetic variation across the western Ukraine. //Studia geoph. et geod. - 1991. - 35. - P. 7 - 12 (совторы Logvinov I.M. Burakhovich T.K., Bilinskiy A.I., Sedova F.I.).

17. Геоэлектрическая модель тектоносферы Украины // Геофиз. журн. 1992. - т. 14, №3. - С. 13-21. (совторы

Логвинов И.М., Бурахович Т.К.).

18. Тектоносфера северного Прикарпатья // Геофиз. журн. - 1993. - т.15, №3. - С. 50-60. (соавторы Бурахович Т.К., Гордиенко В.В., Завгородняя О.В., Логвинов И.М.).

19. Природа Волынской аномалии электропроводности // Геофиз. журн. - 1993. - т.15, № 1. - С. 71-80. (соавторы Бурахович Т.К., Гордиенко В.В., Логвинов И.М.).

20. Тектоносфера южного Прикарпатья. // Геофиз. журн. 1994. - т.16, №2. - С. 46-56. (соавторы Бурахович Т.К., Гордиенко В.В., Логвинов И.М.).

21. Результаты численного моделирования глубинного геoeлектрического разреза региона Восточных Карпат и прилегающих территорий // Геофиз. журн. - 1995, № 4. - т.17. - С.81-87 (соавторы Ланкис Л.К., Лысенко Е.С.).

22. Геoeлектрические и геотермические исследования в Приазовье // Электромагнитные зондирования. - М.: ИЗМИРАН, 1987. - С. 5 - 10. (соавторы Бурахович Т.К., Гордиенко В.В., Завгородняя О.В., Логвинов И.М.).

23. Геoeлектрическая модель Кировоградской аномалии по геоманнитным данным. // Москва: ИЗМИРАН. - Препринт № 28 (854). - 1989. - 27 с. (соавторы Баглаенко Н.В., Варенцов И.М., Гордиенко В.В., Логвинов И.М.).

24. Геoeлектрическая характеристика тектоносферы Украинского щита и Крыма. // Астеносфера по комплексу геофизических методов. Киев: Наукова думка. - 1988. - С. 13-19. (соавторы Логвинов И.М., Бурахович Т.К.).

Кулік С.М. Геоелектрична структура тектоносфери України за даними глибинних електромагнітних методів. Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 - Геофізика, Інститут геофізики ім.С.І.Субботіна НАН України, Київ, 1996. Захищався 24 наукові праці, що містять аналіз та узагальнення експериментальних електромагнітних досліджень тектоносфери України та суміжних територій. Розроблена методика інтерпретації глибинних магнітотелуричних зондувань та магнітоваріаційного профілювання для вирішення специфічних задач побудови геоелектричного розтину тектоносфери. Установлено, що в надрах земної кори і верхньої мантії України містяться об'єкти аномально високої електропровідності. В різних геологічних регіонах, де спостережені великі значення теплового потоку (Литовська синекліза, Прип'ятська западина, Волоно - Подільська та Молдавська плити, Придуроджський прогин, Тарханкутське підняття), дослідженні області високої електропровідності на глибинах 50-70 км пов'язуються з зонами часткового плавлення - астеносфери. В консолідованій корі Ущ, Волино-Подільської плити локальне підвищення електропровідності викликано своєрідним складом порід, високою мінералізацією флюїдів. Результати роботи використовувались при побудові комплексних геофізичних та геодинамічних моделей тектоносфери України.

Ключові слова: тектоносфера, астеносфера, геоелектрика, магнітотелуричне зондування, магнітоваріаційне профілювання, аномалії електропровідності.

Kulik S.N. Geoelectrical structure of the tectonosphere of Ukraine by deep electromagnetic methods data. The Geology doctor's thesis on speciality 04.00.22 - Geophysics, Institute of Geophysics named after S.I.Subbotin of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 1996. 24 scientific works having results of analysis of experimental data generalization of deep electromagnetic investigations of the tectonosphere of Ukraine and adjacent regions. Methods of interpretation of deep magnetotelluric soundings and magnetovariation profiling intended for solution specific problems of construction of tectonosphere geoelectric crosscut section worked out. Within the Earth's crust and upper mantle of Ukraine objects of anomaly high electrical conductivity determined. In the different regions characterized high heat flow (Lithuanian syncline, Pripjat depression, Volhyno-Podolian and Moldavian plates, Near Dobrudgian foredeep, Tarkhankut raise) high electrical conductivity domains determined at the 50-70 km depth connected with zones of partial melting - asthenosphere. Within the consolidated crust of Ukrainian shield, Volhyno-Podolian plate local higher electrical conductivity caused by original rock composition and by high fluid mineralization. For construction complex geophysical and geodynamic models of the tectonosphere of Ukraine results of this thesis used widely.

Key words: tectonosphere, asthenosphere, geoelectrics, magnetotelluric sounding, magnetovariation profiling, electric conductivity anomalies.

Ав 34.049

---

Підп. до друку 24.01.96      Формат 60×84<sup>1/8</sup>. Папір  
друк. № 2      . Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 2,0  
Умовн. фарбо-відб. 2,0      Облік-вид. арк. 2,0  
Тираж 150      . Зам. № 6-318 .

---

Фірма «ВІПОЛ».  
252151, Київ, вул. Волинська, 60.