

И. М. Альперович, В. М. Никифоров, В. В. Харахинов

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ о. САХАЛИН

По данным магнитотеллурических исследований, выделен электропроводящий слой, идентифицируемый с астеносферой. Определено его пространственное по-

ложение; показано, что от глубины его залегания зависит строение земной коры и составляющих ее слоев.

Магнитотеллурические исследования, выполненные в последние годы как в Советском Союзе, так и за рубежом, указывают на наличие зон повышенной электропроводности в верхней мантии во многих районах. Пока трудно выявить какую-либо закономерность в распространении этих зон. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что наиболее уверенно они прослеживаются в тектонически активных районах (окраины континентов, рифтовые зоны). Исследования, проведенные в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану — на Камчатке [19], Сахалине [2, 3, 9], Курильских островах [1, 4], Японии [16], — показали, что в различных районах этого обширного региона аномалии проводимости в верхней мантии отмечаются практически повсеместно в диапазоне глубин от 60 до 220 км. При этом отчетливо прослеживается уменьшение глубины залегания проводящего слоя в сторону океана.

Большинство исследователей связывают аномалии электропроводности в верхней мантии с астеносферным слоем, подстилающим литосферу и характеризующимся минимумами вязкости и сопротивления пластическому течению. Астеносфере свойственно также понижение скоростей сейсмических волн, особенно заметное в районах повышенной тектонической активности.

На территории Сахалина к настоящему времени с помощью аппаратуры МТЛ-71 и высокочастотной станции ПМТС выполнен значительный объем (более 600 пунктов) магнитотеллурических зондирований (МТЗ). Примерно на 200 пунктах отработаны длинные периоды — до 2500 с, что позволило получить информацию об электропроводности верхней мантии. На четырех пунктах МТЗ зарегистрированы вариации МТ-поля с периодами до 10 000 с. Здесь исследования выполнялись сотрудниками Института океанологии АН СССР и СахКНИИ

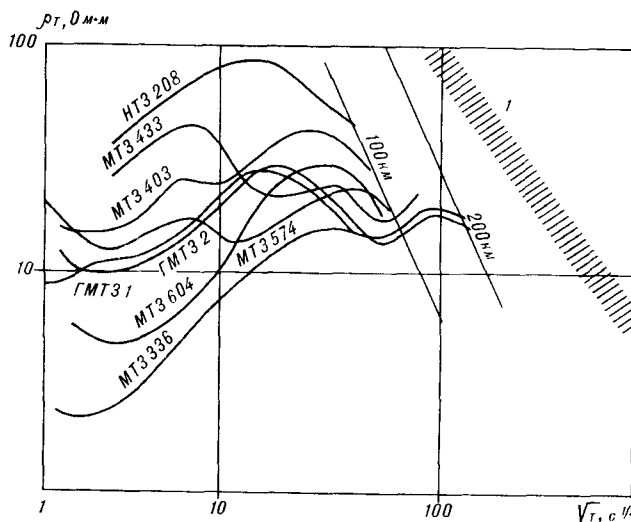


Рис. 1. Глубинные кривые МТЗ. 1 — нормальное кажущееся удельное сопротивление.

ДВНЦ АН СССР с использованием аппаратуры «ИЗМИРАН-4».

Разработанные в последнее время приемы машинной обработки данных МТЗ (Никифоров, 1978) позволили получить надежные и устойчивые результаты при обработке аналоговых записей в диапазоне длинных периодов (100—20 000 с) и достоверно определить глубины залегания зон повышенной электропроводности в земной коре и верхней мантии.

К количественной интерпретации принимались продольные, полученные по направлению большой оси острова, кривые ρ_T . Семейство таких кривых в сопоставлении с нормальным кажущимся удельным сопротивлением, характерным для модели строения верхней мантии, не содержащей проводящих слоев [6], приведено на рис. 1.

Ввиду того, что Сахалин можно с определенной степенью достоверности отождествить с

двумерной структурой, продольные кривые наименее подвержены воздействию как региональных, так и локальных гальванических искажений, связанных с поверхностными геоэлектрическими неоднородностями. Действительно, результаты трехмерного математического моделирования, выполненного для Сахалина и прилегающих к нему территорий, показали, что продольный ток незначительно искажается региональными гальваническими эффектами [8]. Учет искажающего влияния поверхностных неоднородностей, смещающих, как правило, уровень кривых МТЗ при их неизменной форме, осуществлялся на основании сопоставления экспериментальных кривых с осредненной кривой, полученной путем суммирования всех рядовых кривых по зонам, характеризующимся незначительным изменением глубинного геоэлектрического разреза [13].

Анализ материала показывает, что воздействие поверхностных неоднородностей является основной причиной разброса значений глубин до проводящего слоя в верхней мантии.

Следует, однако, учитывать возможное искажение продольных кривых индукционным эффектом, вызванным влиянием проводящих масс акваторий. Как показали расчеты, выполненные по формулам М. Н. Бердичевского и Б. И. Дмитриева [7] для ряда широтных профилей, пересекающих Сахалин [2], а также результаты численного двумерного моделирования [6], влияние индукционного эффекта является незначительным и не превышает ошибок, связанных с точностью интерпретации глубинных кривых.

Проводящий астеносферный слой отмечается и на поперечных кривых МТЗ, но из-за влияния гальванических искажений (эффект S) крутизна наклона нисходящей ветви меняется. В зонах поднятий, где значения S минимальны, нисходящая астеносферная ветвь выражена слабо и сдвинута в сторону более длинных периодов.

Суммирование всех поперечных длиннопериодных кривых МТЗ в пределах Сахалина показывает, что осредненная поперечная кривая имеет нисходящую ветвь, которая отражает примерно те же глубины залегания поверхности астеносферы, что и нисходящая ветвь осредненной продольной кривой [13]. Проявление проводящей астеносферы на продольных и на поперечных кривых МТЗ свидетельствует о том, что она располагается не в виде узкой полосы вдоль острова, а имеет широкое распространение во всем Охотоморском регионе.

По данным МТЗ, построена схема глубин до кровли проводящей астеносферы (рис. 2). При построении схемы применялось осреднение продольных кривых по отдельным районам острова. Критериям правильности выбора положе-

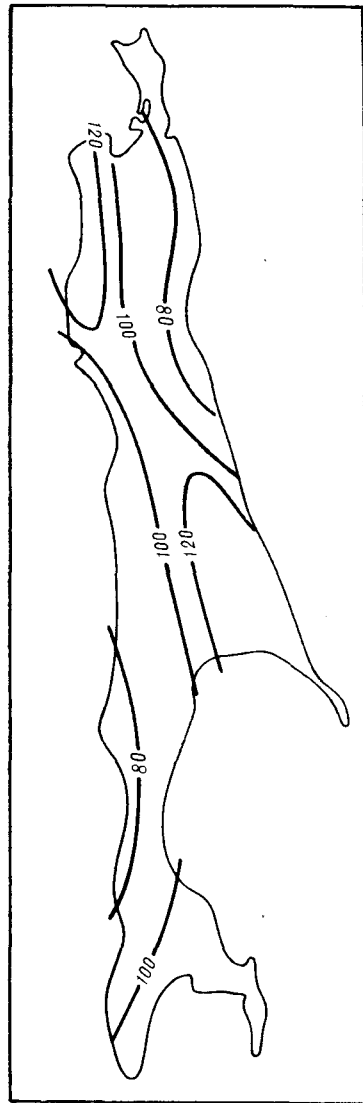


Рис. 2. Схема глубин до проводящего слоя в мантии.

ния нисходящей ветви в каждом из районов являлось сопоставление данных МТЗ в разведочном интервале периодов с результатами глубокого бурения, что позволяло оценить величину ошибки в определении глубины залегания опорных электрических границ в осадочной толще и значений сопротивлений проводящих электрических горизонтов. В случае существенных расхождений положение нисходящей астеносферной ветви корректировалось. Такой методический прием является весьма эффективным, но требует регистрации вариаций магнитотеллурического поля в самом широком диапазоне периодов, достаточно плотной сети наблюдений и высокой точности построения кривых МТЗ.

Полученные кривые позволяют говорить о сложном рельефе поверхности астеносферного

слоя в пределах Сахалина. Зона наибольших глубин — до 100—120 км — прослеживается в виде довольно широкой полосы от зал. Терпения до Амурского лимана, причем максимальные значения приурочены к юго-восточному и северо-западному участкам этой зоны. Близкий к указанному уровень глубин отмечается к югу от зал. Терпения и в пределах Тонино-Анивского полуострова. Интервал глубин поверхности астеносферы — 80—100 км — характеризует центральную часть Северного Сахалина и значительную часть территории южной половины острова, примыкающей к Татарскому проливу. Минимальные значения глубин — до 80 км — отмечаются на северо-востоке Сахалина вблизи берега Охотского моря и в юго-западной его части — на Ламанонском полуострове и перешейке Поясок.

В северо-восточной и центральной частях Сахалина по материалам единичных зондирований удалось определить не только глубину залегания астеносферного слоя, но и оценить его проводимость, равную 3500—4000 См. Истинное сопротивление слоя колеблется, вероятно, в пределах 5—10 Ом · м, мощность не превышает 40 км. Полученные данные о глубинах залегания проводящей астеносферы вполне удовлетворительно сопоставляются с результатами магнитотеллурических и магнитовариационных исследований, полученными в других районах переходной зоны от Азиатского континента к Тихому океану.

По данным МТЗ, на Курильских островах глубины до проводящего астеносферного слоя составляют: на Итурупе и Шикотане 60—80, на Кунашире 110—130 км [1, 4]. На Камчатке отмечается широкий диапазон глубин залегания кровли астеносферы — от 30—50 км в районах, характеризующихся вулканической деятельностью, до 150 км вблизи побережья Охотского моря [12]. Последние данные по материковой части Дальнего Востока, полученные в рамках программы ЭЗОП [14], указывают на присутствие проводящей астеносферы на глубинах 120—220 км, причем отмечается постепенное погружение поверхности астеносферы по мере удаления от берега Татарского пролива. Отмечается уменьшение проводимости астеносферы на материке по сравнению с Сахалином.

Результаты магнитовариационных исследований, проведенных на Сахалине, в Хабаровском крае и Приморье, в целом подтверждает данные, полученные методом МТЗ [10, 14, 15]. Магнитовариационные наблюдения, проведенные в Японии, свидетельствуют о наличии значительных аномалий электропроводности в верхней мантии (Центральная Японская и Северо-Восточная Японская аномалии). По мнению Т. Рикитаки, поверхность проводящего

слоя под Японией залегает на глубине около 200 км, воздымаясь в пределах акватории Японского моря и Тихого океана до глубин 40—50 км [16]. При этом Рикитаки полностью исключает влияние морских индукционных токов на формирование этих аномалий, тогда как, по мнению ряда исследователей [5, 12], аномалии электропроводности в значительной степени обусловлены морскими индукционными токами. Это обстоятельство заставляет относиться к приведенным выше данным о глубине залегания астеносферы с осторожностью. Действительно, столь значительный горизонтальный градиент электропроводности представляется маловероятным. Б. Е. Мардерфельдом на основании анализа характеристик берегового эффекта получены данные о залегании проводящей астеносферы в Японии на глубинах 100—120 км [10].

Представляет значительный интерес сопоставление данных по электропроводности верхней мантии с результатами сейсмологических исследований. В Курило-Камчатском регионе по особенностям распространения волн от очагов землетрясений в сейсмофокальной зоне были выделены четыре астеносферных слоя с пониженными скоростями сейсмических волн на глубинах 60—90, 120—160, 220—300 и 370—430 км [17], что указывает на сложное слоистое строение верхней мантии. Можно отметить определенную корреляцию между выделенными по данным МТЗ токопроводящими слоями в верхней мантии и вышеотмеченными астеносферными слоями. Действительно, токопроводящий слой, отмеченный на Итурупе и Шикотане на глубине 60—80 км, уверенно сопоставляется с верхним сейсмическим астеносферным слоем. Близок к этому интервалу глубин и слой повышенной электропроводности, обнаруженный на Сахалине.

По данным МТЗ, на Курильских островах зарегистрированы вариации МТ-поля с периодами порядка 10 000 с, на кривых отражается еще один токопроводящий слой на глубине 200—250 км [9, 11].

Поскольку выполнено незначительное число зондирований в таком диапазоне периодов, к полученным данным следует относиться как к предварительным и требующим дальнейшего изучения. Тем не менее следует обратить внимание на то, что этот токопроводящий слой соответствует сейсмическому слою пониженных скоростей на глубинах 220—300 км модели Р. З. Тараканова и Н. В. Левого.

Совпадение токопроводящих слоев с зонами пониженных скоростей сейсмических волн вряд ли можно считать случайным. Скорее всего, оно свидетельствует о единой физической природе отмеченных явлений, а именно: ослабленные астеносферные зоны в верхней мантии,

характеризующиеся повышенным поглощением сейсмических волн и понижением их скорости, представлены ультраосновными породами, разогретыми до температуры, достаточной для их частичного плавления. Высокая сходимости данных сейсмологии и электротомии может указывать на то, что некоторые особенности упругих свойств верхней мантии, выявленные в сейсмофокальной зоне, вероятно, можно распространить и на другие менее активные участки переходной зоны, в частности на о. Сахалин.

В пределах острова трудно заметить определенную закономерность между глубиной залегания астеносферного слоя и величиной теплового потока. В целом для большей части Сахалина, по данным геотермических исследований [48], характерны невысокие значения теплового потока — в среднем 45—50 мВт/м². Увеличение этих значений отмечается в юго-западной части острова и вблизи побережья зал. Терпения — до 55—90 мВт/м², аномально высокая величина — до 165—180 мВт/м² — зарегистрирована в Охотском море примерно в 100 км от северо-восточной оконечности Сахалина и к западу от п-ова Крильон в Татарском проливе. Таким образом, участки с высоким тепловым потоком, выявленные на акваториях, тяготеют к районам острова, характеризующимся наименьшей глубиной залегания астеносферы. То обстоятельство, что эта связь практически не проявляется в пределах северо-восточной части острова, возможно, обусловлено искажающим влиянием мощного осадочного чехла и значительной скоростью его накопления, которые могут существенно уменьшить тепловой поток в этом районе. Кроме того, по видимому, невысокие значения теплового по-

тока свидетельствуют о том, что процесс подъема вещества с температурой, близкой к 1200°, начался сравнительно недавно и аномалия теплового потока не достигла земной поверхности.

Возвращаясь к анализу схемы глубин до астеносферного слоя, можно отметить определенную зависимость между глубиной залегания астеносферы и строением верхней части земной коры. Участкам погружения астеносферы соответствуют в современном структурном плане сводовая часть Хоккайдо-Сахалинского антиклинория, сложенная мезокалозойскими образованиями, а в северо-западной части Сахалина — мощная толща вулканогенно-осадочных мезозойско-палеогеновых отложений, близкая по своему геологическому строению району Нижнего Приамурья. «Гранитный» и «базальтовый» слои имеют на этих участках примерно одинаковую мощность. Участкам наибольшего подъема поверхности астеносферы (северо-восточная и юго-западная части Сахалина) соответствуют прогибы, заполненные мощными толщами кайнозойских осадков. Здесь резко сокращена мощность «гранитного» слоя.

Полученные данные свидетельствуют об активизирующем воздействии астеносферы на земную кору. Можно предположить, что подъем астеносферы — главного источника магматических излияний — вызывает «проплавление» нижних слоев земной коры. При этом сокращается мощность «гранитного» слоя и увеличивается объем осадочной толщи. Астеносферный диапиризм, по-видимому, явился причиной образования крупнейших неогеновых прогибов Сахалинского региона — Северо-Сахалинского и Западно-Сахалинского, — занимающих соответственно северо-восточную и юго-западную части острова и прилегающие акватории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альперович И. М., Никифоров В. М., Усанова М. И. Магнитотеллурические зондирования на о. Итуруп. — Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1978, № 1.
2. Альперович И. М., Никифоров В. М., Харатинов В. В. Изучение мощностей осадочных отложений на Сахалине методом магнитотеллурических зондирований. — Геол. и геофиз., 1980, № 3.
3. Бердичевский М. Н., Чернявский Г. А. и др. Результаты глубинного магнитотеллурического зондирования на Сахалине. — Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1972, № 3.
4. Борец В. В. Некоторые характеристики электромагнитного поля земли на островах Кунашир и Шикотан. — В кн.: Седьмая конференция молодых ученых и специалистов. Новоалександровск, 1972.
5. Ваньян Л. Л., Мардерфельд В. Е. О природе Японской аномалии в геомагнитных вариациях. — В кн.: Геомагнитные исследования, М.: Наука, 1971.
6. Ваньян Л. Л., Шиловский П. П. Глубинная электропроводность океанов и континентов. — М.: Наука, 1983.
7. Дмитриев В. И., Бердичевский М. Н., Кокотушкин Г. А. Альбом палеток для магнитотеллурических зондирований в неоднородных средах. Ч. 4. — М.: МГУ, 1975.
8. Егоров И. В., Осипова И. Л. Структура низкочастотного теллурического поля Дальнего Востока по результатам численного моделирования. — Геомагнетизм и аэрономия, 1982, т. 22, № 4.
9. Косыгин Ю. А., Никифоров В. М. и др. Глубинная электропроводность о. Сахалин. — Докл. АН СССР, 1981, т. 256, № 6.
10. Мардерфельд В. Е. Береговой эффект в геомагнитных вариациях. — М.: Наука, 1977.
11. Марганус Е. Р. Магнитотеллурическое зондирование Тьмы-Поронойской низменности. — В кн.: Глубинные электромагнитные зондирования Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980.
12. Мороз Ю. Ф., Смирнов В. С. Геологический разрез земной коры и верхней мантии Камчатки. — В кн.: Глубинные электромагнитные зондирования Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980.
13. Никифоров В. М., Альперович И. М., Ваньян Л. Л. Некоторые особенности кривых МТЗ на Сахалине и

методика их интерпретации.— Тихоокеанская геол., 1983, № 5.

14. Никифорова Н. Н., Ахмадулин В. А. и др. Глубинные магнитотеллурические исследования в Хабаровском крае.— В кн.: Глубинные электромагнитные зондирования Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980.
15. Порай-Кошиц А. М., Ноздрина А. А. и др. Об интерпретации данных магнитовариационного профилирования в Приморском крае.— В кн.: Глубинные электромагнитные зондирования Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980.

16. Рикитаки Т. Электромагнетизм и внутреннее строение Земли.— Л.: Недра, 1968.

17. Тараканов Р. З., Левый Н. В. Новая модель слоистого строения верхней мантии Земли Курило-Японского региона зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану по сейсмологическим данным.— В кн.: Строение и развитие земной коры на Советском Дальнем Востоке. М.: Наука, 1969.
18. Туезов И. К., Веселов О. В. и др. Геотермика запада Тихого океана.— Тихоокеанская геол., 1982, № 3.

СахалинНИПИнефтегаз
Оха-на-Сахалине

Поступила в редакцию
7 января 1984 г.