

Невязка масс 23 источников аномалий в табл. 1, выраженных в единицах массы Земли μ/M , увеличилась до $-8,24$. Однако она весьма близка к относительной массе ледников 8,60. Большие невязки коэффициентов в табл. 1 по сравнению с величинами (1) требуют повышения точности интерпретации аномалий и учета влияния региональных плотностных неоднородностей.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Академии наук СССР, Москва
Институт географии,
Академии наук СССР, Москва
Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

Поступило
28 V 1986

ЛИТЕРАТУРА

1. Жарков В.Н., Трубицын В.П. Физика планетных недр. М.: Наука, 1980, 448 с.
2. Тараканов Ю.А. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1983, № 4, с. 3.
3. Тараканов Ю.А., Камбаров Н.Ш., Трубицын В.П. и др. — Там же, 1985, № 8, с. 3.
4. Chase C.G., McNutt M.K. — Geophys. Res. Lett., 1982, vol. 9, № 1, p. 29.
5. Lerch F.J. et al. — Mar. Geod., 1981, vol. 5, № 2, p. 145.
6. Woodhouse J.H., Dziewonski A.M. — J. Geophys. Res., 1984, vol. 89, № B7, p. 5953.
7. Peltier W.R. — Nature, 1983, vol. 304, № 5925, p. 434.
8. Гросвальд М.Г. Покровные ледники континентальных шельфов. М.: Наука, 1983. 216 с.
9. The last great ice sheets/Ed. G.H. Denton, T.J. Hughes. N.Y.: Wiley, 1981, 477 p.
10. Broecker W.S., Van Donk J. — Rev. Geophys. Space Phys., 1970, vol. 8, № 1, p. 169.
11. Shackleton N.J. — Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., 1977, vol. 280, p. 169.
12. Kennett J.P. Marine geology. N.Y.: Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 1982. 813 p.
13. Чумаков Н.М. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1984, № 7, с. 35.

УДК 517.9

ГЕОФИЗИКА

Академик А.Н.ТИХОНОВ, В.И. ДМИТРИЕВ, Б.С. ЭНЕНШТЕЙН

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЛУБИННЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ СТАНОВЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

В настоящее время перед геофизическими методами разведки полезных ископаемых стоят сложные проблемы, связанные с повышением глубинности методов при одновременном повышении детальности результатов интерпретации. Уже разработки и близки к истощению приповерхностные, сравнительно легко доступные месторождения полезных ископаемых. Глубоко залегающие месторождения трудно доступны для прямого изучения с помощью бурения, так как в этом случае резко возрастает стоимость разведочных работ и падает их производительность. Среди методов разведки полезных ископаемых возрастает значение геофизических методов, особенно сейсморазведки при поисках нефти и газа. В последнее время начинает увеличиваться роль электроразведки. Это связано с двумя факторами: необходимостью разведки подсолевых нефтяных залежей (например, в Прикаспии), где электроразведка имеет более высокую разрешающую способность по сравнению с сейсморазведкой; необходимостью разведки неструктурных нефтяных залежей, которые отличаются от окружающих пород в основном только электропроводностью.

Применение методов электромагнитных зондирований может существенно помочь разведке нефтяных и газовых месторождений.

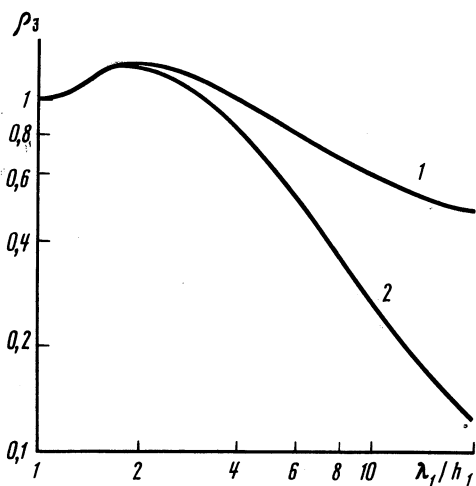


Рис. 1

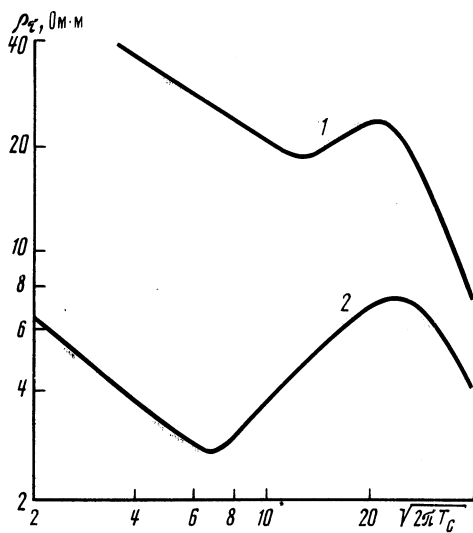


Рис. 2

Одним из эффективных методов электроразведки является метод зондирования становлением электромагнитного поля в Земле (метод ЗС), который был предложен и теоретически обоснован [1], практически опробован и развит [2] во второй половине сороковых годов. В дальнейшем широко использовались две модификации метода зондирования становлением поля: в дальней [3] и ближней зоне [4]. Эти методы эффективно применялись при решении различных геолого-геофизических задач поиска и разведки месторождений полезных ископаемых. При этом использовались передвижные относительно маломощные генераторные установки, обеспечивающие необходимые по длительности импульсы постоянного тока в 50–100 А. Это позволяло на фоне естественных и промышленных помех проводить зондирование осадочного чехла до глубины 3–4 км и определять основные характеристики геоэлектрического разреза (глубины до хорошо проводящих слоев и их продольную интегральную проводимость).

Для повышения глубинности и детальности метода ЗС необходимо увеличить точность как самих измерений, так и интерпретации наблюдаемых данных. Для увеличения точности измерений на фоне помех необходимо увеличить мощность импульса постоянного тока. В настоящее время активно развиваются методы зондирования с помощью мощных источников тока. К таким источникам относятся генераторные установки постоянного тока, питающие линии электропередач (ЛЭП) и линии электрофицированных железных дорог (ЛЭЖД), магнитогидродинамические (МГД) генераторы [5] и др. Генераторы ЛЭП и ЛЭЖД дают возможность создавать импульсы постоянного тока большой длительности (сотни секунд) и величиной до 2000 А. Электромагнитные зондирования с этими источниками обеспечивают с малыми затратами проведение геофизических исследований до глубин в несколько десятков километров. Для успешного внедрения этих методов зондирования необходимо определенное техническое и математическое обеспечение работ.

Техническое обеспечение связано с необходимостью иметь передвижные выпрямительные установки. Только на некоторых электрических подстанциях страны имеются выпрямители, преобразующие переменный ток в постоянный со средней мощностью в 10 МВт (10 кВ, 1000 А), который используется при плавке "гололеда", возникающего на проводах в зимнее время. Эта схема позволяет проводить зондирование становлением поля. Однако в различных районах страны имеются десятки

тысяч подстанций с понижающими трансформаторами на ЛЭП, а выпрямительные установки существуют в незначительном количестве. Поэтому широкое использование метода ЗС–ЛЭП определяется наличием передвижной выпрямительной установки, подключение которой позволяет с минимальными затратами производить зондирование.

Математическое обеспечение работ по зондированию с помощью мощных источников тока связано с разработкой методов интерпретации результатов зондирования с использованием сложных источников поля. Теоретические интерпретации в методе ЗС базируются на расчете кажущегося сопротивления для дипольного возбуждения поля. Дипольное приближение справедливо, если разнос L (расстояние от центра генераторной установки до точки измерения поля) по крайней мере в 5 раз превышает длину питающей линии l . В обычных методах зондирования длина питающей линии не превышает нескольких километров, поэтому, отходя от нее на 10–25 км, мы имеем право пользоваться дипольным приближением. При ЗС–ЛЭП длина питающей линии составляет десятки и сотни километров. Это означает, что при интерпретации нельзя пользоваться дипольным приближением.

Следует заметить, что отличие генерирующей установки от дипольной проявляется не только в величине поля, но и в его зависимости и от частоты. Это связано с тем, что на малых временах (высоких частотах) поле длинной линии слабо отличается от поля эквивалентного диполя, а на больших временах (низких частотах) это отличие существенно. Этот эффект для случая однородного полупространства представлен на рис. 1, где даны кривые кажущегося сопротивления для составляющей электрического поля E_x при возбуждении поля длинной линией (кривая 2) и эквивалентным диполем (кривая 1). Для более сложных геоэлектрических разрезов различие между кривыми усиливается. Различие кривых кажущегося сопротивления для длинной линии и диполя зависит от разнosa – чем больше разнос, тем больше участок совпадения кривых на высоких частотах. Если разнос в 10–15 раз превышает глубину исследования, то кривые зондирования можно интерпретировать в дипольном приближении. При меньших разнosaх необходимо вносить поправки в кривую зондирования. Так как поправка зависит от геоэлектрического разреза, то строится итерационный процесс, сочетающий внесение поправок и решение обратной задачи. Имея априорный гипотетический разрез, определяем для него поправку на недипольность источника и вносим ее в наблюдаемые данные. Для исправленных данных решаем методом регуляризации [6] обратную задачу, где в качестве стабилизатора используется норма уклонения решения от гипотетического геоэлектрического разреза. Определив приближенный геоэлектрический разрез, пересчитываем поправку и проводим повторное решение обратной задачи. Такой подход позволяет провести интерпретацию данных зондирования при произвольном заданном источнике, используя стандартную методику для зондирования дипольной установкой.

В качестве примера практических работ по ЗС–ЛЭП приведем интерпретацию двух кривых зондирования, полученных в различных районах, где на подстанциях имеются выпрямительные установки (рис. 2).

Кривая 1 получена в районе Большого Кавказа между Дагомысом и Туапсе при длине ЛЭП $l = 60$ км и разнosa $L = 48$ км. Время становления приблизительно 110 с. По средним обобщенным геологическим данным под верхним маломощным покровом рыхлых пород находится метаморфизованная толща, непосредственно залегающая на коренном кристаллическом фундаменте и, следовательно, кривая ЗС–ЛЭП B_2 должна была получиться двухслойной типа $\mu_2 > 1$. В действительности же кривая получилась трехслойной типа H . Ее количественная интерпретация дает следующие результаты: $\rho_1 = 100$ Ом · м, $h_1 = 1,12$ км; $\rho_2 \approx 20$ Ом · м, $h_2 \approx 5,0$ км, $\rho_3 = \infty$, $h_3 = \infty$. Таким образом, между верхним и нижним слоями залегают проме-

жуточный, сравнительно хорошо проводящий слой мощностью $\sim 3,9$ км с удельным сопротивлением пород порядка $10\text{--}12$ Ом \cdot м. Выявление промежуточного проводящего слоя в геоэлектрическом разрезе является новым важным результатом.

Кривая 2 на рис. 2 получена в Ставропольском крае с разномом $L = 30$ км. Использовалась в качестве источника поля ЛЭП между населенными пунктами Прохладный—Прикумск длиной $l = 113$ км. Время становления около 145 с. В строении геологического разреза данного района выделяются три структурно-тектонических этажа породы, которые хорошо дифференцируются по удельным электрическим сопротивлениям, что вполне четко отражается этой кривой. Вместе они составляют весь осадочный комплекс пород, залегающий на породах кристаллического или метаморфического фундамента. В результате интерпретации данных ЗС получены следующие средние геоэлектрические характеристики разреза: $\rho_1 = 40$ Ом \cdot м, $h_1 = 1,5$ км, $\rho_2 \approx 4$ Ом \cdot м, $h_2 \approx 5,5$ км, $\rho_3 = \infty$. Таким образом, суммарная мощность осадочного комплекса пород равна около 7 км.

Важно отметить особое значение результатов, полученных в этом районе методом ЗС—ЛЭП. Дело в том, что на протяжении ряда лет здесь получают нефть и газ из структур на глубинах до 3 км. Геофизические работы в этом регионе проводятся на протяжении 12 лет трестом "Ставропольнефтегеофизика" методами сейсморазведки, с помощью которых оказалось возможным иметь информацию только до указанных глубин (3 км). Ниже этих глубин сейсмические отражения не определяются. Многочисленные попытки получать сейсморазведкой отражения с больших глубин до настоящего времени не увенчались успехом. Вот почему оказались неясным наличие более глубоко залегающих комплексов осадочных пород и, следовательно, дальнейшие перспективы на нефть и газ.

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

Поступило
18 V 1987

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов А.Н. — Изв. АН СССР. Сер. географ. и геофиз., 1946, т. 10, № 3.
2. Энгштейн Б.С. — ДАН, 1948, т. 9, № 2.
3. Ваньян Л.Л. Становление электромагнитного поля и его использование для решения задач структурной геологии. Новосибирск: Наука, 1966.
4. Сидоров В.А. Импульсная индуктивная электроразведка. М.: Недра, 1985, с. 192.
5. Велихов Е.П., Волков Ю.М. Перспективы развития импульсной МГД-энергетики и ее применение в геологии и геофизике. Препринт ИАЭ, 1981, № 3436/6.
6. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач М.: Наука, 1986. с. 287.