

2 ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ
РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ
И АППАРАТУРЫ

2.1 СЕЙСМОРАЗВЕДКА

В области исследований по разработке методов и аппаратуры для сейсморазведки и вычислительной техники основные результаты, достигнутые в 1978 г. сводятся к следующему.

1. Определение некоторых локальных структурных элементов земной коры и верхней мантии методом отраженных волн с многократным перекрытием;

2. Разработка методики наблюдений для изучения угольных бассейнов по вибросейсмическому методу;

3. Успешное проведение морских исследований с использованием системы сбора и обработки данных в реальном масштабе времени, в основе которой лежит ЭВМ Р-10; создание наземного центра для предварительной обработки данных, основывающегося на ЭВМ Р-10;

4. Преобразование устройства сбора данных SD-10-CFS-1 в центр для предварительной обработки данных.

1. Сейсмические работы по изучению *земной коры и верхней мантии* методом отраженных волн с многократным перекрытием были начаты в 1970–1972 гг. в районе Карцаг–Пюшпэкладань. Проведенные в первые годы исследования показали, что система наблюдений, разработанная для этой задачи, позволяет получать информацию о скоростных и структурных условиях земной коры и верхней мантии. Результаты экспериментальных наблюдений, проведенных при помощи цифровой приемной аппаратуры, были обработаны на ЭВМ, причем скорости распространения упругих волн были определены для глубин приблизительно до 100 км.

Начиная с 1976 г. строение литосферы изучалось по профилю KESZ-1, пересекающему зону нарушений в молодых осадочных отложениях (рис. 41). Данные о толще осадочных отложений и об основании третичного бассейна были получены по нефтеразведочным работам, проведенным в районе Хайдушуг по поручению Треста нефтяной и газовой промышленности, а также по работам МОВ, проведенным южнее этого района самым Трестом (см. годовой отчет за 1977 г., рис. 34, 35, 36). По профилю, протягивающемуся в направлении Хоссупай–Бихаркерестеш, работы имеют цель выяснить, проявляются ли признаки движений также и в об-

лее глубоких частях земной коры и в верхней части верхней мантии. Предполагается, что по проявлениям тектонических элементов, наблюдающимся в различных толщах, можно судить и о характере этих толщ. При получении положительных результатов и при повторении исследований в международном сотрудничестве для глубинных разломов различного возраста, можно будет делать выводы также о временном протекании явлений.

Наблюдения проводились с использованием 24-канальной цифровой приемной аппаратуры типа SD-10/20. Расстояние между базами групп сейсмоприемников было 200 м. Группы сейсмоприемников располагались по базе длиной 40 м; применялись по 3 сейсмоприемника типа СВ-205 собственной частотой 5 гц. Наблюдения проводились с перекрытием $12 \times 100\%$, с получением нагоняющих годографов. Для возбуждения упругих колебаний применялось 200–300 кг ВВ в 4–5 скважинах глубиной 30 м.

В процессе обработки данных, при вводе статических поправок, учитывалось и влияние молодой (неогеновой) толщи. После накопления применялись двумерная фильтрация, миграция со взвешиванием, а затем фильтрация, изменяющаяся во времени.

Разрез для изучения литосферы приведен здесь в вариантах с различными фильтрациями, изменяющимися во времени (рис. 42 и 43). Функции времени от частоты представлены на рис. 44. С использованием функции I построен разрез, представленный на рис. 42; здесь к полосе фильтрации ниже 5–10 гц мы перешли только ниже диапазона времен, характерных для коры. При построении разреза с использованием функции II (рис. 43) в низах земной коры мы стремились выделять более низкие частоты.

На рис. 42 на глубине залегания поверхности Мохоровичича выделяется хорошо выраженный горизонт, который опускается с севера к югу с глубины, соответствующей прибл. 8,3 сек., до глубины, соответствующей 9,1 сек. Около пикета 11 км горизонт имеет относительный максимум, а около пикета 14,3 км проявляется сброс.

В верхней части разреза показано основание неогенового бассейна, определенное по нефтеразведочным работам. Основание бассейна погружается к северу. В некоторых местах (ок. пикетов — 4,0; 12,3; 20 км) намечаются явления, указывающие на наличие сброса. В интервале между основанием бассейна и поверхностью Мохоровичича, местами выделяются коррелирующиеся участки горизонта длиной 2–7 км, прекращения которых местами позволяют судить о наличии глубинных разломов. Две такие зоны схематически отмечены на разрезе. Расположение довольно выраженных горизонтов, выделяющихся по обеим сторонам зоны нарушения между пикетами 8–12 км, отражает надвиг: можно предполагать, что севернее сброса горизонты залегают более глубоко, чем те, которые

располагаются южнее сброса. Погружение основания бассейна – по такому представлению – прослеживается на временах до 6–7 сек. в подстилающей его толще.

Ниже поверхности Мохоровичича, на временах прибл. до 15 сек. бросаются в глаза отражения, выделяющиеся в южной части разреза. Около пикета 0 км намечается тенденция слабого подъема к северу, а в то же время ок. пикетов 5–7 км наблюдается резко выраженное падение к северу. В северной части разреза вырисовывается более спокойное залегание. Южная часть с „складчатым“ характером и северная часть с более спокойными условиями залегания, разделяются по всей вероятности зоной нарушений, влияние которой наблюдается и в поверхности Мохоровичича. Наличие сброса вероятно и выше, но там мы его не отметили; в связи с явлениями, намечающимися в концах разреза, более целесообразным оказывается подождать, пока будут обработаны данные наблюдений, проводящихся в 1979 г.

Около времен 15,8 сек. вид разреза в значительной мере изменяется. На этой глубине выделяются хорошо выраженные, почти горизонтальные поверхности. Около сброса, выделенных над ними, небольшое нарушение намечается и на этой глубине. Такой различный характер строения хорошо согласуется с результатами ранее проведенных в районе Карцаг наблюдений, где по снижению интервальных скоростей на этой глубине можно было судить об астеносфере.

На рис. 43 около центра разреза вид поверхности Мохоровичича имеет характер, совершенно отличающийся от ее вида на рис. 42. В диапазоне глубин этой поверхности, между пикетами 7 и 13 км, интервал времен вступлений, характеризующихся высокими по сравнению с их окружности величинами энергии, расширяется. Между пикетами 5–7 км поверхность Мохоровичича прерывается, причем выделенный предполагаемый глубинный сброс хорошо выражается и на глубине залегания поверхности Мохоровичича.

Интерпретация результатов будет проводиться после дополнительных наблюдений в северном направлении и после обработки определений скоростей по профилю; но уже в настоящее время можно делать определенные выводы.

Можно сказать, что метод отраженных волн позволяет получить интересную информацию о строении как земной коры, так и верхней мантии. Наиболее отчетливый отражающий горизонт идентифицируется с поверхностью Мохоровичича; этот горизонт хорошо коррелируется по всему протяжению профиля длиной ок. 25 км (рис. 42). Также выражено выделяется отражающая поверхность, которая интерпретируется как верхняя граница астеносферы.

В земной коре выделяется два горизонта с сравнительно протяженной

коррелируемостью: верхний располагается в интервале 4,5–5 сек, а нижний – в интервале 6–6,5 сек. Зона нарушений между пикетами 8–12 км проявляется в обоих горизонтах. Двойная расчлененность коры и наличие отчетливой границы раздела (Конрад) между двумя комплексами не подтверждаются изучавшимся разрезом. При дополнительных определениях скоростей этому вопросу будет уделено особое внимание.

Линии сбросов с южным наклоном могут интерпретироваться как структурные элементы, создавшиеся за счет напряжения сжатия. Верхняя часть верхней мантии реагировала на это напряжение более эластично, в связи с чем могли образоваться элементы характера складок, выделяющихся на южной стороне сброса в интервале времен 10–15 сек. Вероятно, что кора вела себя более жестко, благодаря чему образовались сбросы и связанные с ними структуры характера надвига. Предполагается, что сброс между пикетами (–2)–(+2) км имеет подобный характер, т. е. южное крыло находится в более глубоком положении по сравнению с центром разреза.

Наиболее интересными особенностями разреза являются несомненно два горизонта с максимальными величинами энергии: горизонты, интерпретируемые как подошва коры и подошва литосферы, соответственно. На рис. 42 поведение поверхности Мохоровичича хорошо согласуется с такой картиной. Вид поверхности Мохоровичича на рис. 43 заслуживает дополнительного изучения. Надеемся, что закономерности, выводимые из получаемых результатов, вносят дополнительный вклад в выяснение характера поверхности Мохоровичича.

По изменению характера на временах ниже 15 сек, а также по снижению скоростей, предполагаемому на основании ранее проведенных определений скоростей, можно судить о наличии пласта в верхней мантии, характеризующегося значительно меньшей прочностью и упругостью. Вырисовывающаяся структурная картина хорошо согласуется с допущением, по которому астеносфера в меньшей степени сопротивляется напряжению, чем литосфера. Этим объясняется, что изучать влияние такого напряжения в астеносфере труднее.

2. В работах по *разведке угольных и бокситовых месторождений*, кроме сейсморазведочных наблюдений МОВ с взрывным возбуждением колебаний, успешно применявшихся в течение ряда лет, необходимо применять и вибросейсмическую систему.

Использование вибросейсмического метода для изучения мелких глубин связано с методическими затруднениями. Известно, что при вибросейсмических наблюдениях параметры установок должны выбираться с таким расчетом, чтобы первые вступления отфильтровывались группами сейсмоприемников. Однако, кажущиеся скорости глубоких отражений очень быстро убывают с увеличением расстояния между вибропунктом

и сейсмоприемниками, асимптотически приближаясь к кажущейся скорости первых вступлений. Так, на определенном расстоянии от пункта возбуждения, группы сейсмоприемников отфильтровывают, вместе с первыми вступлениями, также и отражения от мелких глубин.

Для преодоления этих затруднений намечается два пути: сужение полосы вибросигналов и сокращение длины установок, соответственно. Первый вариант был испытан в 1977 г., но результат оказался отрицательным, поскольку уменьшение ширины полосы вибросигналов сопровождалось более значительным ухудшением отношения сигнал/шум, чем это ожидалось. Осуществлению второй возможности препятствовал собственным шум вибраторов, в связи с чем пункты возбуждения нельзя приближать к установке больше чем на 120–150 м. Ввиду того, что несмотря на это, решение вопроса ожидалось только за счет сокращения длины установок, для преодоления затруднений, связанных с собственным шумом вибраторов, применялась специальная поперечная система наблюдений, схема которой представлена на рис. 45. Шаг сейсмоприемников был выбран равным 15 м, благодаря чему расстояние точки возбуждения от сейсмоприемников изменялось в пределах от 200 до 270 м.

Полученные результаты подтвердили правильность применявшейся методики наблюдений. В качестве примера здесь приводится вариант разреза по одному из экспериментальных профилей, Zsér-5/78, построенный с фильтрацией низких частот (20–40 гц) (рис. 46). Комплексная геологическая интерпретация разрезов проводится в настоящее время. Так, здесь только схематически отмечены некоторые места, которые в первом приближении интерпретируются как сбросы. Кажется, что даже без точной геологической интерпретации разрез отражает геологическое строение на мелких глубинах и подтверждает эффективность разработанной методики.

3. В рамках советско-венгерского научно-технического сотрудничества (между Государственным комитетом ВНР по техническому развитию и Государственным комитетом СССР по науке и технике) были проведены успешные морские исследования по программе координационного центра ИНТЕРМОРГЕО, *с использованием аппаратуры сбора и обработки данных в реальном масштабе времени*, в основе которого входит вычислительный центр типа Р-10 производства ВИДЕОТОН. Тем самым было начато применение подобного типа аппаратуры в производственном порядке. Полученные результаты будут опубликованы совместно с советской стороной.

В рамках вышеуказанного советско-венгерского сотрудничества был создан и наземный центр для предварительной обработки данных, основывающихся на ЭВМ Р-10. В процессе проектно-конструкторских работ система, разработанная для морских исследований, была расширена

в соответствии с требованиями экспедиционной предварительной обработки данных. Блок-схема центра представлена на рис. 47.

Специальная конфигурация ЭВМ, предназначенная для обработки геофизических данных описывается ниже.

- центральное устройство (с памятью 4 К слова),
- устройство сопряжения дисковой памяти с зафиксированной головкой,
- устройство считывания с перфоленты (FS-1500) с устройством сопряжения,
- перфоратор лент (DT 105) с устройством сопряжения,
- устройство для представления результатов, с сопряжением,
- множителемно-делительное устройство,
- арифметика с плавающей запятой,
- дополнительное запоминающее устройство емкостью до 7×4 Кслов,
- строкочечатающее устройство (латиница/кириллица),
- часы с реальным масштабом времени,
- управление математическим обеспечением,
- устройство считывания с карт,
- сейсмический плоттер с неавтономным сопряжением,
- 8-канальный DMA (непосредственный доступ к памяти),
- специализированный процессор,
- устройства сопряжения для магнитного устройства, подключенного к DMA (2 шт),
- магнитные устройства (до 4 шт),
- сопряжение дисковой памяти, подключенной к DMA (2 шт),
- вибростойкие дисковые памяти с зафиксированными головками (до 4 шт),
- плоттер, работающий в автономном режиме и его управляющее устройство.

По сравнению с морским вариантом, эта конфигурация содержит следующие дополнительные узлы:

На DMA – 2 устройства для управления магнитной лентой,
2 устройства для управления дисковой памятью.

На минибусе Р-10 – консольное индикаторное устройство
устройство считывания с карт.

Два магнитных устройства и два устройства для управления дисковой памятью позволяют осуществлять быстрый перенос данных с магнитной ленты на магнитную ленту и с дисковой памяти на дисковую память, соответственно. Путем усовершенствования контрольного устройства дисковой памяти достигнуто, что любой материал сейсмических наблюде-

ний может подвергаться демультимплексации на внешних устройствах до 128-канального формата. В результате такой демультимплексации, при простой или двойной организации данных на дисковой памяти будут храниться сейсмические материалы в формате, непрерывном по каналам. Это позволяет быстро переорганизовать данные, полученные различными типами сейсмической аппаратуры (SD-10, SD-12, ССЦ-3, DFS-III, DFS-IV) и хранящиеся на магнитных лентах, в формат, непрерывный по каналам.

Вышеописанная экспедиционная система обработки данных, при ее дополнении устройством сбора данных, может применяться в следующих режимах работы:

а) *Система, подключенная к полной конфигурации ЭВМ.* Сейсмические данные в мультимплексном формате постуають в центральное запоминающее устройство из устройства сбора данных, работающего в качестве внешнего устройства. Непрерывно поступающие данные вводятся в дисковую память с таким расчетом, чтобы они могли считываться в демультимплексированном виде. После окончания цикла сбора данных наблюдаемые данные записываются на магнитную ленту и одновременно подвергаются первичной обработке, результаты которой выписываются графопостроителем в процессе нового цикла измерений.

б) *Система, осуществляющая запись и одновременную обработку данных.* Наблюдаемые данные одновременно поступают на магнитную ленту (в мультимплексной форме), а также на первичную обработку в запоминающем устройстве ЭВМ. Одновременное быстрое представление данных измерений является результатом обработки.

в) *Представление разрезов независимо от ЭВМ.* Наблюдение и представление данных осуществляются не одновременно. Данные, записанные на магнитную ленту, после их обработки, представляются графопостроителем, работающим в автономном или неавтономном режиме. В 1977–1978 гг. была создана основная система программ для экспедиционного центра обработки данных, представляющая собой ядро пакета программ, создаваемого для ЭВМ Р-10.

Использование центра первичной обработки данных в производственном масштабе начинается с 1979 г. в нескольких промышленных организациях СССР.

4. В годовом отчете Геофизического института за 1976 г. уже было указано, что для вибросейсмических работ создана аппаратура сбора данных, скомбинированная из устройств SD-10-CFS-1. Данная система с успехом применяется для решения различных геологических задач. Управление полевыми работами и оптимальное размещение профилей требуют своевременной обработки данных, что не может осуществляться в центрах, удаленных от района работ.

Система CFS-1 – если не учитывать внешние устройства, служащие специально для приема сейсмических данных –, представляет собой вычислительную машину, используемую для любых целей, которая полностью не загружена сбором полевых данных. Если основная конфигурация дополняется определенными внешними устройствами (2 магнитными устройствами, графопостроителем), то из нее можно создать центр первичной обработки сейсмических данных и тем самым решить полевую первичную обработку, без значительного капвложения.

Ввод необходимых для обработки внешних параметров (напр. статических поправок) может осуществляться при помощи внешнего устройства ВВОДА/ВЫВОДА, содержащего два магнитных устройства с магнитными лентами в кассетах типа ASR-700, в то время, как для передачи большого объема данных с большой скоростью (плоттер, 2 магнитных устройства), необходимо обеспечить непосредственный доступ к памяти.

В 1978 г. было осуществлено сопряжение плоттера типа КОРОЛЛ-ПРЕСС разработанного в Институте, и второго магнитного устройства с аппаратурой типа CFS. Блок-схема аппаратуры показана на рис. 48. Созданная таким образом аппаратура с расширенной конфигурацией может использоваться, в зависимости от математического обеспечения, как для сбора, так и для первичной обработки данных и построения разрезов. Система программ для центра первичной обработки разрабатывается в настоящее время. К концу года, по всей вероятности, будет решена задача построения суммолент.

Наиболее важные результаты работ по разработке методики и аппаратуры, полученные в 1978 г. в связи с методом *ВП*, сводятся к следующему.

1. Измерение *ВП* на буровых кернах

По поручению ЭЛГИ, Геофизическая кафедра Института тяжелой промышленности (г. Мишколец) разработала лабораторный прибор и методику для измерения *ВП*. Данные измерения интерпретировались по двум различным способам. Была определена кажущаяся динамическая возбуждаемость (η_{ik}) (метод вычисления был разработан в Ленинграде в НПО Геофизика), а динамические параметры (w_i ; τ_i) определялись по методу, разработанному в ЭЛГИ.

Измерения проводились на кернах, полученных в глубокой скважине Р-18 района Бэржэнь. На рис 49/а показаны результаты измерений, проведенных на керне, взятом с глубины 175,7 м и состоящем из мелкозернистых андезитов. В горной породе имеются пиритовые жилы, через каждый метр с 3–4 пиритовыми, слабо калькопиритовыми поверхностями отслоения. Величины как амплитуд экспоненциального приближения (w_i), так и кажущейся динамической возбуждаемости (η_{ik}) оказываются низкими. Подобные результаты были получены для всех кернов, в которых наблюдалось лишь слабое вкрапленное оруденение. Керн, взятый с глубины 100,8 м состоит из андезитовой брекчии, в которой по поверхностям отслоения с наклоном 30–40°, наблюдается чешуеобразное покрытие из пирита и небольшого количества калькопирита. Величины как амплитуд, так и кажущейся динамической возбуждаемости приблизительно на порядок выше, причем последние имеют выраженный максимум около 2 сек. (рис. 49/б). В андезите, полученном с глубины 1184,6 м имеются пиритовые жилы крутого наклона. Как видно из рис. 49/с, величины w_i и $\tilde{\eta}_{ik}$ очень высоки, причем кажущаяся динамическая возбуждаемость имеет максимум ок. 25 сек.

На каждом из трех графиков указаны также величины $\tilde{\eta}_{ik}$ относящиеся ко временам выборки аппаратуры ДИАПИР-4005. Эти величины были подсчитаны по экспоненциальным членам, лучше всего аппроксимирующим серию измеренных величин η_{ik} пренебрегая при этом членом с весьма низкой постоянной времени, описывающим собственный процесс регистратора. При обработке подсчитанных величин были определены амплитуды (w^D) и постоянные времени (τ^D) двухкомпонентного приближения, определяемого также по данным измерений ДИАПИР-4005. В таблице 1, кроме этих данных содержится также сумма амплитуд экспоненциального приближения ($\sum w_i$), описывающего всю кривую затухания.

Таблица 1.

| | 100,8 m | 174,7 m | 1184,6 m |
|----------------|---------|---------|----------|
| w_1^D (%) | 37,0 | 3,17 | 85,8 |
| w_2^D (%) | 12,1 | 1,31 | 9,0 |
| w_1^D/w_2^D | 3,1 | 2,41 | 9,6 |
| τ_1^D (s) | 4,4 | 3,8 | 12,8 |
| τ_2^D (s) | 0,26 | 0,35 | 0,23 |
| $\sum w^D$ (%) | 49,1 | 4,48 | 94,8 |
| $\sum w_i$ (%) | 48,7 | 4,39 | 94,6 |

По измерениям, проведенным на буровых кернах, можно сделать следующие основные выводы:

– методы интерпретации, разработанные советской и венгерской сторонами, соответственно, дают почти одинаковую информацию;

– параметры ВП указывают на отчетливую анизотропию, причем максимальные величины получаются при токе возбуждения, протекающем параллельно плоскости оруденения;

– по динамической возбуждаемости – как показывает и опыт НПО Геофизика – можно определить прежде всего различия, намечающиеся в текстуре оруденения. Увеличение содержания сульфида приводит к увеличению лишь амплитуд, однако текстура влияет и на форму кривой $\tilde{\eta}_{ik}$;

– поднобные выводы можно делать и по параметрам, определенным на основании измерений „ДИАПИР“ (см. таблицу 1);

– величина вторичного сигнала, сохраняющегося в момент выключения ($\sum w$), может определяться с достаточной точностью также по 2-секундным измерениям.

Вышеуказанные выводы отчасти совпадают с выводами, сделанными по полевым измерениям в прошлом году (см. Годовой отчет за 1977 г.), однако, новым результатом является заключение, по которому в величинах аномалий ВП роль играют не только содержание сульфида, но и текстура оруденения и анизотропия. Полевые и лабораторные исследования теперь уже совместно подтверждают, что кажущиеся динамические параметры, определяемые по начальному отрезку кривой затухания, позволяют распознавать оруденения, характеризующиеся различной текстурой.

2. Краткое описание аппаратуры ДИАПИР-Е

Результатом работ по разработке аппаратуры, проведенных в 1978 г., является прямоточный цифровой автоматический прибор типа ДИАПИР-Е (рис. 50), предназначенный для измерения удельного сопротивления (т. е. первичного напряжения, создающегося на измерительных электродах) и трех различных параметров ВП. Кроме величин кажущегося удельного сопротивления, прибором в цифровом коде выводятся величина поляризуемости (P_a), относящаяся ко времени 0,25 сек, или величины заряжаемости для времен 0,775 и 5,325 сек (продолжительность интеграции для последней равна 0,65 сек). Измерение кривой затухания ВП запускается либо сигналом, поступающим с электродов MN, либо синхронным сигналом, получаемым с контура АВ. В последнем случае эталонный сигнал тока, необходимый для определения удельного сопротивления, поступает к измерительному устройству также из контура АВ. Компенсация ПС осуществляется совершенно автоматически посредством двухкаскадного компенсатора. Входное усиление может изменяться в пределах от 1 до 1000, шагами 10 дБ.

Аппаратура ДИАПИР-Е обслуживается весьма просто, вес ее небольшой (6,5 кг), в связи с чем она применяется прежде всего в рекогносцировочных съемках и в площадных наблюдениях, при которых при помощи одного питающего диполя можно измерять по нескольким профилям. Одновременно можно использовать 3-4 измерительных прибора.

3. Аппаратура типа GP-1/77

На основании большого объема полевых экспериментальных работ был создан окончательный опытный образец одноканальной аппаратуры высокой мощности и большой глубинности для изучения сульфидных оруденений, который был разработан в рамках соглашения по совместным работам, заключенного между Государственным комитетом технического

развития, Центральным геологическим управлением и ЭЛГИ. Эта аппаратура предназначена для высокоточного измерения как первичных, так и вторичных сигналов. Генератор работает в двух режимах. При выборках с линейно равными шагами, ряд времен выборок:

$$t_k = kt_0 2^{(n-1)}$$

где $t_0 = 25,6$ мсек

$$\text{и } 1 \leq n \leq 9.$$

При выборках с логарифмически равными шагами, ряд времен выборок:

$$t_{ki} = t_0 2^{(k-1)} (1 + 0,1 i)$$

где $t_0 = 16$ мсек

$$1 \leq k \leq 17$$

$$\text{и } 0 \leq i \leq 9.$$

Количество выборок может изменяться от 10 до 1000. Максимальная длина измерительного интервала равна 6547 сек. при линейных выборках и 1992,29 сек. при логарифмических выборках. Величина первичного сигнала, принятого в момент включения (U_T), а также потенциал, сохраняющийся в конце измерительного интервала (остаточный потенциал $U_{\text{ост}}$) компенсируются аппаратурой автоматически. Выбор степени усиления осуществляется также автоматически, в шести двоичных каскадах:

$$\varepsilon_k = \varepsilon_0 2^{(k-1)},$$

где ε_0 – усиление входного усилителя, и

$$1 \leq k \leq 7.$$

Для непрерывной проверки правильности работы аппаратуры служат данные, представленные в численной форме. Для записи данных применяются кассетные магнитные ленты 1/4" или перфоленты. Данные записываются в коде ГОСТ или ASCII.

Цифровая запись позволяет увеличить число каналов, с одной стороны, и непосредственную их обработку на ЭВМ – с другой.

4. Обработка кривых затухания ВП на ЭВМ

Обработка данных, получаемых при помощи аппаратуры типа GP-1/77 осуществляется на вычислительном устройстве типа HP-9815A. Основные особенности программы сводятся к следующему:

а) Для улучшения отношения сигнал/шум необходимо проводить как можно больше измерений. Записанные на перфоленду кривые затухания вводятся в вычислительное устройство; возможное смещение нулевой линии сигналов обратной полярности, или весьма медленно изменяющиеся компоненты удаляются цифровой фильтрацией. Одновременно с вычислением средних величин определяется и разброс, причем величины, отклоняющиеся от средних более значительно по сравнению с разбросом, не учитываются. Средняя оставшихся величин не содержит ни медленно изменяющиеся, ни импульсовидные шумы.

б) Из исправленных данных величины с одинаковым шагом во времени выбираются исходя из самого большого времени выборки и определяются их частные по парам. На основе частных – интерактивным путем – выбирается интервал, в котором содержится лишь составляющая с наибольшей постоянной времени. По данным, приходящимся на этот интервал, определяются параметры (w_1, τ_1) составляющей с наибольшей постоянной времени.

в) Из всех исправленных данных вычитывается составляющая, подсчитанная по (w_1, τ_1) и по остаткам, по способу, изложенному в предыдущем пункте, определяется величина $(w_2; \tau_2)$. Эта процедура повторяется до тех пор, пока остатки не попадают в порядок величины шума.

г) Затем определяются разности между исправленными данными и экспоненциальным приближением. Разностная кривая представляется при помощи плоттера.

Подобная разностная кривая приведена на рис. 51. В большинстве случаев разности не достигают 0,5% от исправленных величин. Разброс, определяемый по повторным измерениям, имеет подобный порядок величины, следовательно экспоненциальное приближение может считаться весьма хорошим.

Разностная кривая позволяет дополнительно исправлять приближение. Если в более значительном интервале времени отмечается систематическое отклонение, то путем небольшого изменения величин (w_1, τ_1) в большинстве случаев можно прекратить систематичность отклонений.

В настоящем отчете в качестве примера приводится график динамических параметров, определенных по кривым затухания, записанным при двух различных временах возбуждения в одном из пунктов наблюдений района Бэржэнь (рис. 52). Путем увеличения времени возбуждения (T) можно определить и составляющие, характеризующиеся повышенными постоянными времени. Кривизна обеих кривых $(w; \tau)$, т. е. отношения амплитуд, почти одинаковы. А это означает, что динамические параметры, получаемые при более коротких временах возбуждения, также могут использоваться для классификации кривых затухания ВП.

Отделом экспериментальной электроразведки Института с 1976 г. проводятся искусственные частотные зондирования (ЧЗ). Измеряя горизонтальную электрическую и вертикальную магнитную составляющую заземленного электрического диполя, изучаются различные зоны поля питающего диполя (рис. 53). Теоретически можно показать, что при наличии среды с удельным сопротивлением ρ на данном периоде (T), на расстоянии R от датчика, меньшем двадцатой части длины волны (λ) (ближняя зона), можно осуществлять только геометрическое зондирование, т. е. различная глубинность достигается только путем геометрического изменения установки электродов. На более значительных расстояниях (переходная зона), или даже при больших длинах волн, с применением более значительных расстояний между питающим и приемным диполями (волновая зона), благодаря скин-эффекту, можно проводить и частотное зондирование.

Зависимость точек кривых удельного сопротивления (ρ_E) от частоты получается по следующей формуле:

$$P_E(f) = K_E \cdot \frac{\Delta U(f)}{I(f)} \quad K_E = \frac{\pi \cdot R^3}{AB \cdot MN}$$

где K_E – постоянная, зависящая от геометрии,
 $\Delta U(f)$ – сигнал, измеренный на электродах MN,
 $I(f)$ – амплитуда тока, введенного в землю.

Интерпретация кривых зондирования могла бы осуществляться и стандартным путем с использованием семейства теоретических кривых, но такие не имеются в нашем распоряжении. Разработан метод количественно-качественной интерпретации, сущность которого заключается в том, что параметры кривых ЧЗ получаются по вспомогательным кривым [$S(H)$, $T(H)$]:

$$S(H) = H/\rho_E; \quad \rho_S(H) = \frac{\rho_E}{1 - \frac{d \log \rho_E}{d \log H}}$$

$$T(H) = H \rho_E; \quad \rho_T(H) = \rho_E \left(1 + \frac{d \log \rho_E}{d \log H} \right)$$

$$H = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{10^7 \rho_E}{f}},$$

где H – эффективная глубина,

$S(H)$ – суммарная проводимость,

$T(H)$ – суммарное сопротивление и

$\rho_S(H)$ } – дифференциальные удельные сопротивления, полученные
 $\rho_T(H)$ } по производным S и T, соответственно.

Для выполнения весьма большого объема вычислительных операций, и для представления кривых разработан пакет программ для вычислительного устройства типа НР 9815 А.

Величины естественных (магнитотеллурических) и искусственных помех (50 гц, и высшие гармоники этой частоты, СДВР и прочие радиоволны), которые с точки зрения измерений по методу ЧЗ считаются шумами, измерялись в различных частях территории страны в диапазоне частот от 1,5 гц до 150 кгц. Для иллюстрации ожидаемого спектра электрических помех (при кажущихся сопротивлениях ок. 20 ом) здесь приводятся результаты измерения помех, полученные в 1976 г. в районе Пецел (рис. 54). Из рисунка видно, что искусственное частотное зондирование можно проводить с использованием сигналов амплитудами 200–500 мкв/км и фильтров узкой полосы, в диапазоне частот до 10 кгц за исключением полосы ок. 50 гц и ее высших гармоник, а также в диапазоне от 25 до 50 кгц.

Исследования для изучения небольших глубин проводились с использованием советской аппаратуры типа НЧЗ-73 непрерывно в диапазоне частот от 70 гц до 10 кгц, а с использованием собственной аппаратуры – в диапазоне частот от 20 гц до 20 кгц на 40 дискретных частотах; исследования для изучения больших глубин выполнялись с использованием генераторной станции типа ЭРС-67 и пятиканальной цифровой измерительной аппаратуры типа DEF-1 в диапазоне частот от 0,02 гц до 20 кгц на 21 дискретной частоте.

Наблюдения для изучения как малых, так и больших глубин были проведены в различных частях территории страны приблизительно на 15 профилях, в переходной или волновой зонах, как правило, с дипольной экваториальной установкой.

Одна из кривых зондирования и ход интерпретации показаны на рис. 55. В описании работ, проведенных для изучения конуса наносов р. Марош (раздел 1.5) приведен интерпретированный разрез по всему профилю ЧЗ.

Электромагнитные исследования

В 1977 г. были начаты методические эксперименты с использованием аппаратуры канадской фирмы Сцинтрекс типа SE-77 для изучения возможности применения электромагнитной съемки системы ТУРАМ в разведке бокситовых месторождений Венгрии. Задачей работ было изучение рельефа фундамента высокого сопротивления, перекрытого хорошо проводящими осадочными отложениями и выявление небольших прогибов, карстовых воронок в основании. Специальной проблемой здесь является

то, что при такой геологической модели ожидаемые аномалии намного меньше тех, которые встречаются в стандартных рудоразведочных задачах. Кроме этого, в связи с наличием хорошо проводящих пластов в покрове, общеизвестная поправка за открытый воздух уже не оказывается достаточной.

Было обнаружено, что взаимная индуктивность двух измерительных обмоток и зависимость величин ТУРАМ от напряженности поля представляют собой факторы, отрицательно влияющие на точность измерений. Разработаны техника наблюдений и способ поправок, позволяющие снизить погрешности, связанные с указанными эффектами, до соответствующих пределов для всей территории съемки. Разработан соответствующий алгоритм для теоретического вычисления магнитного поля, возбужденного прямоугольной петлей конечного размера, располагающейся на поверхности проводящего полупространства. Отклонения от этих нормальных полей могут считаться электромагнитными аномалиями. Метод обработки данных позволяет определять удельное сопротивление нормирующей модели исключительно по данным наблюдений ТУРАМ. В результате полевых наблюдений – в соответствии с вышеизложенной системой обработки – вводятся поправки при помощи применяемого в полевых условиях вычислительного устройства типа НР 9815-А и в конечном итоге получается карта аномалий, представленная в виде изолиний.

Измерения, проводимые на нескольких частотах, дают возможность выяснить также вопрос о том, вызваны ли аномалии неоднородностями приповерхностной толщи, или же изменениями глубины залегания основания. Для того, чтобы эффективно использовать метод для более широкого диапазона глубин залегания основания и удельных сопротивлений покровной толщи, необходимо в значительной мере увеличить количество частот.

Эффективность метода при величинах параметра $\mu = \sqrt{\frac{f}{\rho}} > 5$ (где f – частота, ρ – удельное сопротивление покровной толщи) и при глубинах залегания основания $h = 200$ м, непосредственно подтверждена проведенными экспериментальными исследованиями. В качестве примера здесь приведены результаты экспериментов, проведенных в районе залежи № 1 Баконьослоп (рис. 56). На карте аномалий частных напряженности поля нанесены и изогипсы глубины залегания доломитового основания высокого сопротивления, построенные по данным скважин. Так корреляция между прогибом основания и величиной аномалии может непосредственно проверяться. В южной части района работ было проведено и прямоточное потенциальное картирование. Вышеуказанные величины сопоставляются по геологическому разрезу А–А'. Прогиб ос-

нования выявляется и в результатах потенциального картирования, но границы оврага более точно выделяются по данным, полученным аппаратурой SE-77.

Метод инвариантного сопротивления СДВР

Для геофизического оконтуривания неглубоко залегающих бокситовых тел применялся метод инвариантного сопротивления СДВР, являющийся усовершенствованным вариантом метода сверхдлинноволнового радиокипа.

Недостатком стандартного метода СДВР является то, что угол между датчиком и простиранием геологической структуры влияет на аномалию, образующуюся над структурой. Разработанный вариант этого метода, в котором исключена эта зависимость от направления, имеет достаточно высокую разрешающую способность для его применения в детальных работах по оконтуриванию структур.

Пользуясь формальным подобием теорий электромагнитных волн СДВР и магнитотеллурики, аналогично тензору магнитотеллурического импеданса, можно определить тензор кажущегося удельного сопротивления.

Аппаратурой СДВР типа EM-16R измеряются кажущееся удельное сопротивление ϱ_{xy} , соответствующее импедансу Z_{xy} , а также его фазовый угол (φ). Для этих величин действительно соотношение

$$\varrho_{xy}(\alpha)e^{-i\varphi} = 0,2 T \left| \frac{\bar{E}_x}{\bar{H}_y} \right|^2 e^{-i \text{Arg} \frac{\bar{E}_x}{\bar{H}_y}} \quad (1)$$

где T – время периода электромагнитной волны СДВР,

α – разность углов направлений датчика и наблюдений

\bar{E}_x – вектор напряженности электрического поля в направлении датчика,

\bar{H}_y – вектор напряженности магнитного поля перпендикулярно датчику.

Кажущееся удельное сопротивление ϱ_{xy} зависит от геометрического угла α . В магнитотеллурике для построения полярной диаграммы импеданса Z_{xy} используется изменение (вращение) электромагнитного поля во времени. В рассматриваемом методе измеряется поле, создаваемое датчиками СДВР в трех различных направлениях и на этом основании можно вычислить кажущееся удельное сопротивление $\varrho_{xy}(\alpha)$ для любого геометрического направления α , следовательно, можно построить полярную диаграмму $\varrho_{xy}(\alpha)$.

Исходя из соотношения Бердичевского, можно записать:

$$\varrho_{xy}(\alpha)e^{-i\varphi} = \bar{\varrho}_{xy} \sin^2 \alpha + \bar{\varrho}_{yx} \cos^2 \alpha + (\bar{\varrho}_{xx} - \bar{\varrho}_{yy}) \sin \alpha \cos \alpha. \quad (2)$$

где $\bar{\varrho}_{xy}$, $\bar{\varrho}_{yx}$, $\bar{\varrho}_{xx}$, $\bar{\varrho}_{yy}$ элементы тензора кажущегося удельного сопротивления.

По величинам $\varrho_{xy}(\alpha)$ трех различных направлений и величинам φ можно вычислить постоянные, входящие в правую сторону уравнения (2).

При помощи инвариантного метода СДВР для каждого пункта наблюдений можно построить полярную диаграмму $\varrho_{xy}(\alpha)$, которая интерпретируется точно так же, как магнитотеллурические полярные диаграммы Z_{xy} .

При наличии полярной диаграммы можно определить *инвариантное* кажущееся удельное сопротивление:

$$\varrho_{INV} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [\varrho(\alpha)]^2 d\alpha}. \quad (3)$$

В этих величинах ложные аномалии, возникающие за счет поляризации волн, намечаются лишь в пренебрегаемой мере, благодаря чему они лучше отражают истинные удельные сопротивления.

По данным наблюдения полярные диаграммы и карты сопротивлений вычисляются и строятся вычислительным устройством НР 9815-А.

Метод инвариантного сопротивления СДВР успешно применялся и на практике в работах по оконтуриванию залежей в районе Ихаркут (см. раздел 1.1, рис. 6).

Автоматическое представление геолого-геофизических карт

В результате разработки алгоритмов для построения карт, в 1978 г. была решена задача *построения изолиний по неправильной сети*.

Из математических требований этой задачи здесь следует упомянуть о двух существенных факторах:

- поверхность, строимая по величинам, характерным для неправильно распределенных пунктов, отражает оцениваемые тенденции геологического строения и места с экстремальными величинами, даже в том случае, если на точки максимума или минимума не приходятся пункты наблюдений;

- поверхность должна быть устойчива против погрешностей измерений, небольшое изменение величин отдельных пунктов должно лишь в незначительной мере влиять на поверхность, и только вблизи этого пункта.

Первое требование вызывает необходимость связывания вторичных поверхностей, а второе – необходимость того, чтобы такая привязка была не строгой, т. е. не предъявляется требование точно восстановить измеренные величины в пунктах наблюдений, а требуется привести отклонения до минимума по весовой функции, быстро затухающей с расстоянием.

Построение изолиний осуществляется в двух основных этапах. Сначала проводится интерполяция для точек правильной сети с таким расчетом, чтобы для каждой точки сети решить следующую задачу:

$$\sum_i \mu_i(r_i)(Z_i - F(\bar{P}, r_i))^2 = \min$$

где $\mu_i(r_i)$ – весовая функция, зависящая от расстояния,

Z_i – величина, заданная в i -евом пункте наблюдений;

$$F(\bar{P}, \bar{r}_i) = a + bx_i + cy_i + dx_i y_i + ex_i^2 + fy_i^2$$

где x_i, y_i – означают относительные координаты между точкой сети и пунктом наблюдений r_i (рис. 57).

Решая задачу минимума для вектора P , состоящего из коэффициентов a, b, c, d, e, f , величина, интерполированная на точки сети, при подстановке $x - y = 0$, будет постоянным членом „ a “.

Весовая функция $\mu_i(r_i)$ была подобрана в виде (рис. 58):

$$\mu_i(r_i) = \begin{cases} W_i \frac{1}{r_i^{2k}} & \text{при } r_{\min} \leq r_i \leq r_{\max} \\ 0 & \text{при } r_i > r_{\max} \\ W_i \frac{1}{r_{\min}^{2k}} & \text{при } r_i < r_{\min} \end{cases}$$

где W_i – вес (входные данные) характеризующий достоверность отдельных наблюдаемых величин,

r_{\max} – расстояние, за которым пункты не учитываются программой для экономии машинного времени (входные данные),

r_{\min} – параметр, предыдущий переполнению весовой функции: в пределах этого пункты имеют уже равный вес (входные данные),

k – значение, определяющее затухание весовой функции, которое было принято нами по эмпирическим данным, равным 2.

На втором этапе построение изолиний по правильной сети выполняется по стандартным алгоритмам, служащим для этой цели.

Программа создана для ЭВМ Минск-32 и накопленный до сих пор опыт показывает, что она позволяет получить соответствующую картину, если плотность пунктов в различных частях района *не различается* в значительной мере. Программа использовалась для построения карт глубин по данным скважин. В качестве примера приводится тектоническая карта,

построенная для юго-восточного предгорного участка гор Герече (рис. 59). Для облегчения интерпретации карта глубин представлена и в аксинометрически построенной форме.

Трехмерное математическое моделирование

В области математического моделирования электроразведочных данных, после решения двумерных задач (см. Годовой отчет за 1976 г.) было показано, что метод интегральных уравнений, выводимый из теории потенциалов, позволяет вычислять влияние тел конечных размеров, располагающихся в слоистой среде, также в трехмерном поле.

Принцип метода сводится к следующему. Дредполагается, что при определенной основной модели – которая может быть представлена напр. однородным или горизонтально-слоистым полупространством – известна потенциальная функция $G(x, y)$ для любого положения источника \bar{y} и пункта наблюдений \bar{x} , т. е. электрический потенциал точечного заряда, помещенного в y на месте \bar{x} .

Затем основная модель дополняется элементом конечного протяжения. Потенциал для новой модели находится как наложение вторичного потенциала на первоначальный:

$$U(\bar{x}, \bar{y}) = G(\bar{x}, \bar{y}) + V(\bar{x}, \bar{y}) \quad (4)$$

Вторичный потенциал V возбуждается (пока неизвестной) плотностью заряда, образующегося на поверхности возмущающего тела:

$$V(\bar{x}, \bar{y}) = \iint_S G(\bar{x}, \bar{\eta}) \varphi(\bar{\eta}, y) dS_{\bar{\eta}}, \quad (5)$$

где S – поверхность возмущающего тела.

Для определения плотности заряда введем следующие обозначения: пусть в пункте $\bar{\xi}$ поверхности S , $V(\bar{\xi})$ будет нормальный вектор, „направленный наружу“, и

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial^+ F(\bar{\xi}, \bar{y})}{\partial \nu(\bar{\xi})} \\ \frac{\partial^- F(\bar{\xi}, \bar{y})}{\partial \nu(\bar{\xi})} \end{array} \right\} \text{предел производной } F(\bar{x}, \bar{y}) \text{ по } \nu(\bar{\xi}),$$

взятый на месте $(\bar{x} \rightarrow \bar{\xi})$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{снаружи} \\ \text{изнутри} \end{array} \right.$

$$\text{где } F = \begin{Bmatrix} G \\ V \\ U \end{Bmatrix}.$$

По теории потенциалов для $V(x, y)$ имеются соотношения:

$$\frac{\partial^+ V(\bar{\xi}, \bar{y})}{\partial v(\bar{\xi})} = -\frac{1}{2}\varphi(\bar{\xi}, \bar{y}) + \int_S \int \frac{\partial^+ G(\bar{\xi}, \bar{\eta})}{\partial v(\bar{\xi})} \varphi(\bar{\eta}, \bar{y}) dS_{\eta} ;$$

$$\frac{\partial^- V(\bar{\xi}, \bar{y})}{\partial v(\bar{\xi})} = +\frac{1}{2}\varphi(\bar{\xi}, \bar{y}) + \int_S \int \frac{\partial^- G(\bar{\xi}, \bar{\eta})}{\partial v(\bar{\xi})} \varphi(\bar{\eta}, \bar{y}) dS_{\eta} .$$

С использованием вышеуказанных двух соотношений, при выполнении условия, предписанного для составляющей нормального направления тока, протекающего через поверхность, получаем интегральное уравнение:

$$\varphi(\bar{\xi}, \bar{y}) = \int_S \int 2 \frac{\rho^-(\bar{\xi}) \frac{\partial^+ G(\bar{\xi}, \bar{\eta})}{\partial v(\bar{\xi})} - \rho^+(\bar{\xi}) \frac{\partial^- G(\bar{\xi}, \bar{\eta})}{\partial v(\bar{\xi})}}{\rho^-(\bar{\xi}) + \rho^+(\bar{\xi})} \varphi(\bar{\eta}, \bar{y}) dS_{\eta} =$$

$$= 2 \frac{\rho^-(\bar{\xi}) \frac{\partial^+ G(\bar{\xi}, \bar{y})}{\partial v(\bar{\xi})} - \rho^+(\bar{\xi}) \frac{\partial^- G(\bar{\xi}, \bar{y})}{\partial v(\bar{\xi})}}{\rho^-(\bar{\xi}) + \rho^+(\bar{\xi})} ; \quad (6)$$

где $\left\{ \begin{array}{l} \rho^-(\bar{\xi}) \\ \rho^+(\bar{\xi}) \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{внутреннее} \\ \text{внешнее} \end{array} \right\}$ сопротивление в пункте $\bar{\xi}$ поверхности.

Интегральное уравнение (6) представляет собой уравнение Фредгольма второго рода, следовательно, существует однозначное решение. Предполагая, что по этому уравнению величина φ определена, новый потенциал, т. е. его градиент может быть определен по формулам (4, 5).

При численном применении метода интегралы заменяются конечными величинами, в связи с чем (6) превращается в систему линейных уравнений.

На рис. 60 показана карта теоретических потенциалов, получаемых над прогибом формы прямоугольного тела, располагающегося в двухслойной среде. В процессе работ по рассматриваемой теме в настоящее время проводится проверка численных результатов и условий сходимости. Внедрение результатов в практику интерпретации геофизических данных представляет собой задачу следующих лет.

2.3 ПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОФИЗИКА

В области *разработки аппаратуры ПК* было создано два типа зондов для изучения нефтегазовых скважин, которые работают с наземной аппаратуры ПК типа КРФ, ранее разработанной в Институте. Трехпараметровый зонд ПК типа КРГНН – 3-150-43сНУ позволяет одновременно записывать кривую ПК и кривые ННК при двух различных длинах зонда.

Зонд для измерения плотности жидкости типа КРФД-1-150-43сМ предназначен для непрерывного измерения плотности жидкости, заполняющей скважины. Измерение плотности жидкости основывается на „просвечивании“ жидкости, протекающей через перфорированный корпус зонда между источником мягкого гамма-излучения и детектором. Возмущающее влияние скважины уменьшается за счет направленности источника лучей и экранирования сцинтилляционного счетчика. Зонд типа КРФД-1-150-43сУ может быть связан с локатором муфт типа КЛ-1-150-43У, разработанным в Институте, так, одновременно с измерением плотности жидкости, заполняющей скважины, определяется и положение муфт обсадной колонны скважины.

Для рентгенорадиометрических измерений разработан скважинный прибор КРГЕ-1-50-36Х диаметра 36 мм, предназначенный для селективного по энергии измерения гамма-лучей и для определения количественного и качественного состава горных пород. Зонд, прижимаемый к стенке скважины, при использовании пары выравненных в соответствии с изучаемым элементом фильтров, управляемых с поверхности, позволяет проводить и горнокаротажные работы на небольших глубинах.

Электроника зонда, блок-схема которого представлена на рис. 61, построена с использованием интегральных схем CMOS, характеризующихся низким уровнем шумов. Скважинный прибор подключается к наземной энерго-селективной каротажной аппаратуре посредством четырехжильного кабеля.

В области *разработки ядерных методов* в лабораторных условиях проведено сопоставление результатов анализа серии порошковидных образцов с известной концентрацией меди (в диапазоне 0–5%), полученных при помощи рентгенорадиометрического зонда типа КРГЕ-1-50-36х и пере-

носной рентгенорадиометрической аппаратуры типа NE 5017, соответственно. При этом было получено весьма хорошее совпадение.

Основные характеристики зондов содержатся в таблице II.

Таблица II

| | KRGNN-3-150-43sHY | KRFD-1-150-43sY |
|--|--|---|
| Теплостойкость | (-5) - (+150 °C) | (-5) - (+150 °C) |
| Головка зонда | соединитель 36/3 стандарта СЭВ | соединитель 36/3 стандарта СЭВ |
| Диаметр зонда | 43 мм | 43 мм |
| Детекторы: | | |
| - чувствительный элемент для гамма-излучения | высокочувствительная сцинтилляционная система | высокочувствительная сцинтилляционная система |
| - чувствительный элемент для нейтронов | пропорциональные счетчики, наполненные газом ^3He | - |
| Источник излучения | Am-Be или Pn-Be 10 ⁷ -10 ⁸ нейтронов в сек, 190-370 GBq (ок. 5-10 кюри) | 170 T 37 GBq (1 кюри) |
| Расстояние между источником и детектором | 300-400 и 600-700 мм, соответственно | 300 мм |
| Устойчивость зонда к давлению | 49 МПа (500 ат) | 49 МПа (500 ат) |
| Диапазон измерений | - | 0,85-1,3 г/см ³ |
| Точность измерений | - | 0,03 г/см ³ |
| Применяемые типы каротажного кабеля | одножильный бронированный кабель или две жилы любого многожильного каротажного кабеля, сопротивление шлейфа которого 200 ом; емкость между жилами - 0,75 мкФ | |

В районе исследований Надьэдъхаза-Чордакут в скважинах, содержащих бокситы и уголь, с использованием спектральных зондов типа KRGE-1-120-76s и KRGE-1-120-60s были начаты основные исследования. При этом изучались концентрации калия (1,37-1,55 мэв), урана (1,58-1,95 мэв) и тория (2,45-2,85 мэв) в указанных диапазонах энергии. При изучении общего распределения радиоактивных веществ в районе (серии анализов на образцах с 3-4 составляющими) были получены результаты, согласующиеся с ранее проведенными измерениями.

В скважинах малого диаметра, пробуренных для разведки на полезные ископаемые, были продолжены экспериментальные исследования. Количественная интерпретация полученных данных была проведена по диа-

граммам моделирования. Каротажные работы проводились в основном в районах Чордакут и Рудабанья, где наблюдения по изучаемым методам (ГГК, ННК) были повторены для контроля с использованием других типов зонда. По кривым, полученным зондом типа KRNG-2-130-36sH была подсчитана пористость по нейтронам. Представляя полученные величины в виде диаграммы частоты пористости, можно хорошо разделить между собой различные горные породы. По кривым, полученным при помощи зонда типа KRG-2-120-36s определялись величины плотности. Результаты представлены в виде графика частоты плотности, на котором отдельные горные породы хорошо различаются между собой. Зная величины плотности, с использованием известных в районе матричных данных, вычислялись величины пористости. По серии результатов построены графики плотности – нейтронной пористости, на котором отдельные типы горных пород хорошо разделяются.

С использованием трехпараметрового зонда РК типа KRGNN-3-150-35sHY каротажные наблюдения проводились в толще осадочных отложений, залегающей на больших глубинах. Опыт получения и интерпретации данных показал, что для получения реальных величин пористости отложений, за исключением известковых-доломитовых толщ, необходимо учитывать также данные других видов каротажных работ.

В связи с рассматриваемой темой были проведены и теоретические исследования с двухгрупповыми нейтронно-диффузионными уравнениями для изучения полей нейтронов на трехслойной модели.

С учетом изменений окружающей скважину среды в радиальном направлении, изучались следующие модели:

а) Слои насыщены соленой водой содержащей NaCl, скважина заполнена пресной водой и зона обводнения насыщена пресной водой;

б) пласты насыщены пресной водой, скважина заполнена соленой водой, содержащей NaCl, зона обводнения насыщена соленой водой.

Изучение матрицы горных пород типа известняка и кварцевого песчаника показало, что пористость изменяется в обоих случаях от 0 до 40%. Для вычислений применялись постоянные, опубликованные в Годовом отчете за 1977 г.

Изучались величины потока групп Φ_1 и Φ_2 для трехмерной модели $[\Phi_{1A}(0; z)$ и $\Phi_{2A}(0; z)]$ причем они были сопоставлены с величинами Φ_{1A}^∞ и Φ_{2A}^∞ потоков, относящихся к соответствующим двухслойным моделям:

$$Q_1 = \frac{\Phi_{1A}(0; z)}{\Phi_{1A}^\infty(0; z)} \quad \text{и} \quad Q_2 = \frac{\Phi_{2A}(0; z)}{\Phi_{2A}^\infty(0; z)}$$

Индексы 1 и 2 относятся к тепловым и сверхтепловым нейтронам. По ранее проведенным вычислениям $Q = 1$, поскольку зона обводнения и не-

нарушенный слой различаются между собой только по постоянной группе сверхтепловых нейтронов L_2 .

Полученные результаты и сделанные по ним выводы сводятся к следующему:

- коэффициент Q больше единицы, если обводнение происходит соленой водой, ненарушенный пласт насыщен пресной водой и Q меньше единицы, если обводнение осуществляется пресной водой и пласт насыщен соленой водой;

- с увеличением глубины обводнения и диаметра скважины уменьшается влияние третьего слоя;

- коэффициент Q имеет максимум и минимум при наименьшем диаметре скважины и наименьшем обводнении, соответственно. Так, по результатам исследований, проведенных Геофизической кафедрой Университета им. Этвеша в 1978 г., для известняка, при диаметре скважины равном 150 мм и обводнении на 10 см, максимальное изменение потока равно +6% и –15%, соответственно (см. рис. 62);

- коэффициент Q достигает своего максимума в диапазоне величин пористости ок. 10–20%;

- при наличии песчаных отложений влияние зоны обводнения оказывается более значительным, чем при наличии известняков.

По линии усовершенствования каротажной аппаратуры для изучения небольших глубин, для замены фоторегистраторов, с использованием элемента „Analcont“ выпуска завода ГАММА были созданы серии регистраторов-самописцев. Их преимуществами являются, между прочим, лентопротяжка при помощи шагающего двигателя и их питание с аккумулятора, благодаря чему потребляемая ими мощность исключительно низка.

Записывающее устройство типа KRG-2101 предназначенное для решения более простых задач, позволяет одновременно записывать данные двух каналов на бумагу шириной 100 мм. Маркировка глубин осуществляется резкими отклонениями.

Регистрирующее устройство типа KRG-4101 позволяет записывать одновременно четыре кривые на две бумаги шириной 100 мм каждая. Благодаря своей конструкции это устройство может осуществлять запись данных двух каналов дважды, в различных масштабах глубины, что имеет большое значение особенно при разведке на угли и руды, поскольку тем самым уменьшается количество каротажных операций.

Устройство типа KRG-4251 предназначена для одновременной записи данных четырех каналов на бумагу шириной 260 мм по шкале 2×100 мм. Для маркировки глубин служит отдельный канал.

Была расширена область применения цифровой системы каротажной аппаратуры К-3000 путем сопряжения ее с скважинными приборами ин-

дукционного и акустического каротажа. В процессе первых экспериментов по обработке полевых методических исследований по методу АК, по кривым, полученным в толще триасового карбонатного основания бокситоносного района Задунайской области, были определены механические параметры (число Пуассона, модуль Юнга, модуль сжатия, модуль среза).

В области разработки *системы каротажной аппаратуры и устройства для экспресс-обработки данных, управляемой микровычислительной машиной*, за отчетный год был создан опытный образец системы (рис. 63). Полевое испытание последнего будет начато во второй половине 1979 г. и до конца 1980 г. будет создано два образца для производственной работы.

При конструкторских работах учитывались, главным образом, требования разведки на твердые полезные ископаемые и на воды. Для применения аппаратуры в нефтегазовых скважинах, необходимо ввести изменения как во внешние устройства, так и в матобеспечение.

Основные характеристики системы сводятся к следующему:

– она позволяет одновременно получить 9 аналоговых кривых и записать их в цифровой код; измерять радиоактивные импульсы с селекцией по интенсивности с не более чем 2 детекторами, с дискретизацией по 128 каналам (максимальная суммарная частота импульсов обоих детекторов равна 2500 имп. в сек.);

– она позволяет присоединить кривые, полученные в процессе следующих друг за другом подъемов правильно по глубине, т. е. в процессе измерений за „n“-овый подъем, имеются в распоряжении все кривые предыдущего „n-1“-ого подъема и актуального (n-вого) подъема в мультиплексной форме, упорядоченной по глубине;

– между существующими (записанными за определенный подъем) кривыми и операндами определенного типа, можно задать операции, выполняемые по пунктам, для чего в системе предусмотрены специальные функции;

– параметры измерений и алгоритм обработки данных могут задаваться по клавишам или с кассетной магнитной ленты. При обработке данных используется разработанный в Институте специализированный язык „КАРОЛИН“;

– результаты обработки могут быть представлены в виде кривой, но и записаны на магнитную ленту. С результивной кривой можно обращаться точно так же, как и с наблюдаемыми, т. е. они пригодны для дальнейшей обработки;

– любая из наблюдаемых или результивных кривых может быть представлена на фоторегистраторе или на экране осциллоскопа, или же выдана по точкам цифровым индикатором. На фоторегистратор одновре-

менно можно выводить не более 9, на экран – не более 4, а на цифровой индикатор – 1 кривую; в процессе измерений они могут быть произвольно выбираться;

– изменение пределов измерений и связанные с этим калибровки осуществляются автоматически;

– в интервалах маркировки системой вводятся поправки в величины глубин.

Были проведены вычисления на моделях для определения теоретических величин удельного сопротивления для вертикально-слоистой среды большой мощности, характеризующейся симметрией вращения в отношении к оси скважины. Величины, действительные для семи- и девяти-электродных потенциал- и градиент-зондов с направленным полем тока были вычислены с использованием алгоритма дискретной конволюции, разработанного Геофизической кафедрой Университета им. Этвеша (Д. Драхош и П. Шалат) и серии подсчитанных ими же коэффициентов фильтрации, на ЭВМ Минск-32. Точность метода была сопоставлена с результатами, достигнутыми авторами ранее опубликованных работ (см. список литературы). При этом было получено в основном, хорошее совпадение, более значительные отклонения наблюдаются только в величинах, определенных аналоговым способом электронным интегратором.

Таблицы семейства кривых, действительных для зондов с направленным полем тока, относятся к зондам со следующим расположением электродов:

Зонд большой глубинности: $A_0 0, 2M_1 0, 2N_1 1, 1A_1 \infty B_1$

Оптимальный зонд: $A_0 0, 3M_1 0, 2N_1 0, 5A_1 \infty B_1$

Короткий псевдобоксозой зонд: $A_0 0, 1M_1 0, 1N_1 0, 1A_1 0, 2B_1$

Длинный псевдобоксозой зонд: $A_0 0, 2M_1 0, 2N_1 0, 2A_1 0, 9B_1$

Разумеется, теоретические кривые могут быть вычислены и для зондов с длинами отклоняющимися от вышеуказанных. Таблицы теоретических кривых опубликованы в отдельном сборнике.

В рамках программы морских исследований продолжались работы по разработке комплексной ядерной анализирующей системы. Аппаратура устанавливается на судне или монтируется на автомашину и предназначена для количественного анализа составляющих образцов морских и наземных россыпей или прочих типов горных пород и металлов.

Основные составляющие (Al и Si) изучаемых веществ определяются при помощи устройства типа ВЕА-1000, разработанного на основе теории активационного анализа, проводимого с закрытым источником нейтронов. В соответствии с специальными требованиями, связанными с помещением аппаратуры на борту судна, она имеет соответствующие малые габариты и массу. Выполнение измерений, определение процентных ве-

личин изучаемых составляющих, запись результатов осуществляются полностью автоматически.

Погодоустойчивость автоматического спектрального анализатора типа ASA 1024-16, используемого для спектральных анализов XRF была повышена и с использованием устройств венгерского производства, был создан экспрессный анализатор XRF. Аппаратура позволяет одновременно определять 10–12 произвольно выбранных составляющих с порядковым номером $z > 20$.

Закончены работы по созданию матобеспечения микро-ЭВМ типа EMG 301, выполняющей автоматическую интерпретацию данных наблюдений. При помощи созданной аппаратуры анализировались образцы руд, взятых в районе Речк.

Для расширения применения анализа XRF в Венгрии, по поручению Венгерского завода стальных изделий, а также Чепельского завода железной и металло-промышленности, были проведены металло-технологические испытания материалов на стали для клапанов, сплавах олова-бронза, а также на специальных металлургических шлаках.

В 1978 г. было проведено приблизительно 7000 анализов для 20 элементов, для диапазонов концентрации, указанных в таблице III (см. стр. 92).