Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. LXIX, вып. 2, 1976 г.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ КАФАНСКОГО ПОДНЯТИЯ АРМЕНИИ

О.В.МИРОШНИКОВА

Кафанский горнопромышленный район, в пределах которого проводится разведка и эксплуатация месторождений медно-молибденовых руд, наиболее полно изучен поисково-разведочными работами до глубины 300-400 м. Проблема увеличения запасов руд в этом районе тесно связана с необходимостью повышения глубинности разведки. В связи с этим в 1971 г. в комплекс геолого-геофизических исследований были включены сейсмические методы разведки[x], основной задачей которых явилось получение сведений о глубинном строении структур, контролирующих медно-молибденовое оруденение.

Район исследований сложен вулканогенно-осадочными породами, преимущественно юрского и мелового возраста. Породы средней юры (байосский ярус), обнажающиеся в центральной части района, представлены двумя толщами порфиритов и их туфов: плагиоклазовые I_2bj_1 и кварцевые I_2bj_2 порфириты. Вышележащие породы верхнего отдела юрской системы (оксфордский и киммерийский ярусы неразделенные) слагают крылья Кафанского поднятия и состоят из туфоконгломератов, порфиритов с подчиненным количеством туфов и известняков.

Главной структурной особенностью исследуемого района является Кафанская брахи-антиклиналь, которая входит в восточное обрамление Мегри-Ордубадского плутона. Общее простирание Кафанской структурно-фациональной зоны меридиональное, соответствует контролирующему ее Хуступ-Гиратагскому надвигу. Поднятие расчленено серией разнонаправленных нарушений на блоки, которые образуют ступенчатую структуру.

Основным рудоконтролирующим фактором считают стратиграфический, поскольку медно-молибденовое оруденение, как правило, приурочено к верхам

[x] Сейсморазведку выполняют Армянская геолого-геофизическая экспедиция совместно с Ленинградским горным институтом.

среднепорских пород. Структурный контроль оруденения выражен в четкой пространственной связи рудоносных участков с крупными дорудными разломами северо-западного и северо-восточного простираний. Как правило, такие зоны приурочивают к сводовым частям антиклинальных складок высоких порядков. В соответствии с этим перед разведкой встают задачи изучения глубинного строения продуктивной толщи среднепорских отложений, а также выделения и прослеживания крупных зон тектонических нарушений на глубину.

Для решения указанных задач проводят наблюдения МОВ по протяженным региональным профилям, которые дополняют детализационной системой профилей на участках, представляющих разведочный интерес. Расположение профилей и создание сети наблюдений, необходимой для решения геологических задач, в высокогорной местности во многом зависит от проходимости транспорта, поскольку в настоящее время по существу нет серийных сейсмостанций переносного типа. В связи с этим основной объем наблюдений в горах проводят по долинам рек, реже по пологим участкам водоразделов [2].

Преимущество расположения профилей в долинах рек заключается не только в возможности передвижения автотранспорта и близости водоемов, в которых производят взрывы, но также в обеспечении минимального влияния рельефа. Располагаясь в долинах рек и повторяя их изгибы, профили наблюдений разбиваются на ряд прямолинейных участков, которые отрабатывают самостоятельными системами наблюдений. Резкие изломы профилей используют для определения пространственного расположения отражающих границ. Постановка профильных наблюдений требует большого количества пунктов взрыва, размещенных по линии профиля.

Наиболее благоприятными условиями возбуждения в горнорудных районах являются взрывы в водоемах [3], которые не всегда возможны, так как на профиле или вблизи него иногда нет водоема, пригодного для производства взрывов. Поэтому при проведении настоящих исследований, наряду со взрывами в водоемах, использовали скважины глубиной до 15 м. Взрывы в скважинах небольшой глубины (12-15 м), разрез которых представлен плотными породами, не всегда обеспечивают условия, необходимые для возбуждения упругих колебаний: запись значительно ослаблена и осложнена большим количеством мешающих волн поверхностного типа. Запись отраженных волн улучшается за счет группирования 11-15 приборов на базе 10-15 м. Вертикальную составляющую волнового поля регистрировали приборами С-1-30, горизонтальную составляющую – приборами СГ-1-10. Упругие колебания записывали сейсмостанциями СМОВ-I на открытом канале без включения АРУ, ПРУ и сместителя.

Проведение сейсморазведки в исследуемом районе осложняют многочисленные источники промышленных помех, главными из которых являются высоковольтные магистрали, проходящие преимущественно по дорогам и в долинах рек. С помощью компенсатора промышленных помех, изготовленного по схеме Иркутского геофизического треста, удалось уменьшить их влияние на 30-40%, однако полностью компенсировать наводки практически невозможно из-за нестабильности их частотного состава.

Волновое поле рассматриваемых сред отличается сложным характером записи, обилием волн различных типов – продольных, поперечных и обменных.

Состав волнового поля, особенно его верхней части, неоднородный и резко меняется в зависимости от строения исследуемого разреза. Волны, регистрируемые в первых вступлениях записи, по своим характеристикам относятся к типу слабопрефрагированных или преломленно-рефрагированных. По данным обработки годографов рефрагированных волн установлено незначительное изменение скорости с глубиной ($\beta = 0{,}01 \div 0{,}04\ с^{-1}$). Мощность градиентного слоя 200-300 м. Ниже значение скорости сохраняется практически постоянным: имеющиеся изменения лежат в диапазоне погрешности определения скорости по годографам преломленно-рефрагированных волн ($\pm$100-150 м/с). Графики лабораторных определений скорости упругих волн на образцах керна скважин глубиной до 1 км и материалы скважинных наблюдений обнаруживают разнообразие форм зависимости изменения скорости с глубиной: для относительно однородных толщ (или толстых слоев мощностью более 200 м) четко выражен градиент скорости; для тонкослоистых неоднородных эффузивно-осадочных пород характерен большой разброс значений и отсутствие какой-либо закономерности в ее изменении с глубиной.

В последующей части записи регистрируется большое количество разнонаправленных осей синфазности. Эта область насыщена продольными и обменными волнами, отраженными от наклонных криволинейных границ, которые характеризуются широким диапазоном изменения кинематических и динамических параметров. Выделить среди них доминирующие волны не всегда удается, поскольку образование устойчивых отражений от наклонной границы зависит от большого количества факторов, связанных не только со строением среды, но и с методикой получения волновых полей.

Данные изучения скоростного разреза свидетельствуют о наличии границ с большим перепадом скорости, достаточным для образования интенсивных отражений. Однако из-за перекрытия интервалов значений скорости для основных разностей пород это условие не всегда выполняется. Материалы сейсмических наблюдений подтверждают отсутствие маркирующих горизонтов, которые могли быть прослежены на большой площади. Наиболее устойчивыми перепадами скорости и плотности характеризуются кровля и подошва продуктивной толщи кварцевых порфиритов. Особенно четко выражен этот перепад на контакте конгломератов верхней юры и кварцевых порфиритов средней юры (рис.1).

Существенную роль в формировании волнового поля играют волны, связанные с тектонически ослабленными зонами, характеризующимися аномально пониженными и реже повышенными значениями скорости. Крутопадающие зоны тектонических нарушений являются источниками интенсивных отражений, не уступающих по устойчивости волнам, отраженным от контактов пород. Нередко эти зоны контролируют литологические контакты (особенно интрузивы, дайки) и границы блоков вторично измененных пород, что во много раз усиливает отражающие свойства этих границ. В некоторых случаях, например при изучении морфологии интрузивов, только из-за такого сочетания удается получить отражение от контактов пород слабо различающихся по физическим параметрам [1, 3].

Количество регистрируемых отражений, их интенсивность и частотный состав меняются по профилю наблюдений в зависимости от структурно-тектони-

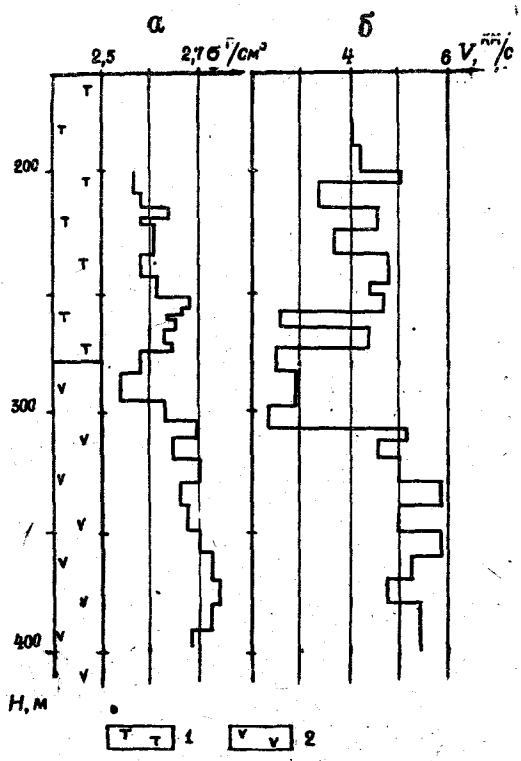


Рис.1. Распределение значений плотности (а) и скорости (б) в области контакта туфоконгломератов и порфиритов по данным определений керна скважины 796
1 – туфоконгломераты; 2 – порфириты

ческих условий исследуемого разреза. В области развития интенсивной тектоники преобладающее значение в волновом поле имеют отражения с короткими отрицательными осями синфазности. Они более высокочастотны, чем отражения, соответствующие литологическим контактам пород. Различие этих двух групп волн по частотному составу объясняется, главным образом, строением отражающих границ, с которыми они связаны: зоны нарушений в сейсмическом диапазоне частот представляют собой тонкие слои или пачки тонких слоев.

Прослеживание отрицательных осей синфазности отраженных волн в области первых вступлений, несмотря на мешающие волны, не представляет особых трудностей. Коррелируемость полезных сигналов значительно улучшена за счет частотной и веерной фильтрации на оптическом фильтре „Когерент-1". Геологическую природу этих границ уверенно определяли по точкам подхода отрицательных осей синфазности к первым вступлениям и сопоставлению их с выходом геологических границ на дневную поверхность.

Отраженные от литологических контактов волны характеризуются сложной формой записи, наличием широких зон интерференции, локальных участков резкого разрастания и ослабления сигнала. Ослабление сигнала связано как с неоднородностью верхней части разреза, так и со сложным строением самих границ. Качество записи этих волн – протяженность прослеживания и динамическая выдержанность – неодинаковы для различных участков профиля. В сводовой части Кафанского поднятия, где развита разрывная тектоника, протяженность осей синфазности отраженных волн минимальна (500–1000 м), наблюдаются частые разрывы фазовой корреляции в пределах одной группы колебаний. На периклинальных частях поднятия волны, отраженные от основных горизонтов, представлены протяженными устойчивыми группами колебаний на относительно спокойном фоне.

Таким образом, результаты анализа волнового поля позволяют качественно характеризовать сейсмогеологический разрез и выделить в его пределах участки с различным строением. Сложные волновые поля, насыщенные отрицательными

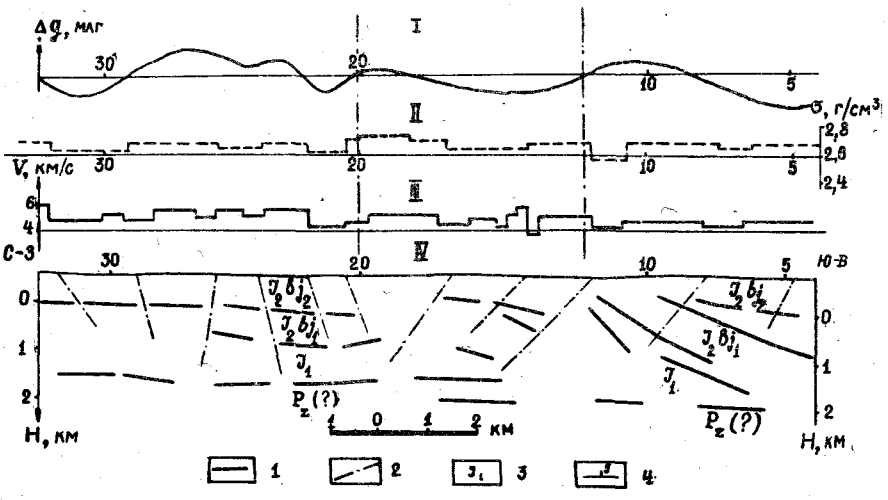


Рис.2. Результаты геофизических работ на участке широтного профиля У, пересекающего присводовую часть Кафанского поднятия

I – график локальных аномалий гравитационного поля; II – график плотности образцов, отобранных из обнажений и скважин; III – график скорости $V_г$ продольных волн первых вступлений записи; IУ – сейсмогеологический разрез; 1 – отражающие площадки, отождествляемые с литолого-стратиграфическими контактами пород; 2 – зоны разломов по сейсмическим данным; 3 – стратиграфические индексы пород; 4 – пикеты профиля

осями синфазности, свидетельствуют о развитии разрывной тектоники. Участки относительно спокойного моноклинального залегания слоев с менее развитой разрывной тектоникой проявляются в волновых полях отражениями, коррелируемыми на значительные интервалы и хорошо сопоставимыми на встречных системах наблюдений.

Особенности глубинного строения отдельных участков сейсмогеологического разреза сказываются не только в волновых полях отраженных волн, регистрируемых в первых вступлениях, их динамические и кинематические характеристики четко отражают вертикальные неоднородности среды. Графики скорости $V_г$, построенные по годографам первых вступлений, в сочетании с результатами лабораторных определений скорости вдоль профилей характеризуют изменение этого параметра в горизонтальном направлении. На участках значительной рефракции первых волн удается определить изменение скорости не только в горизонтальном направлении, но и по вертикали. Максимальное изменение скорости с глубиной отмечается на участках развитой тектоники и в пределах интрузивных массивов.

Отмеченные выше изменения волновой картины и скоростной дифференциации пород на различных участках исследования детально отражают особенности разреза, прежде всего, его блоковое строение. Блоковое строение Кафанского поднятия наглядно иллюстрируется сейсмогеологическим разрезом профиля У, пересекающего северную часть свода структуры в широтном направлении (рис.2). В пределах профиля выделяют три основных структурных зоны с различным сейсмогеологическим строением. Для периклинальных частей поднятия

типично спокойное слабонаклонное залегание отражающих границ, в то время как в центральной части возрастает роль крутопадающих границ и отдельных отражающих элементов. Прослеженные на крыльях структуры протяженные сейсмические границы не находят продолжения в центральной, сводовой, части, где основные направления напластований и складчатости затушевываются мощными зонами нарушений.

Выявляемые сейсморазведкой вертикальные границы связаны с разломами, которые контролируют литолого-физическую вертикальную неоднородность разреза. Ограниченные этими разломами участки отличаются значениями и характером распределения физических параметров в разрезе, который находит отражение в геофизических полях в виде локальных аномалий небольшой интенсивности. Особенно отчетливо устанавливается связь элементов вертикальной неоднородности разреза с локальными аномалиями гравитационного поля.

Для выяснения этой зависимости были использованы материалы высокоточной гравиметровой съемки и сейсмические разрезы по протяженным профилям. Интерпретацию этих данных осуществляли методом подбора по программе Г.Г.Кравцова[X], позволяющей описывать тела сложной формы с учетом простирания (y – компонента поля Δg). Прямую задачу решали для гравитационной модели, в основу которой положен сейсмический разрез и данные определения плотности образцов, взятых из обнажений и скважин. Для глубоких горизонтов распределение плотности было установлено путем перебора значений плотности в диапазоне, полученном при статистической обработке лабораторных определений для основных разностей пород. При этом геометрию границ в разрезе сохраняли неизменной.

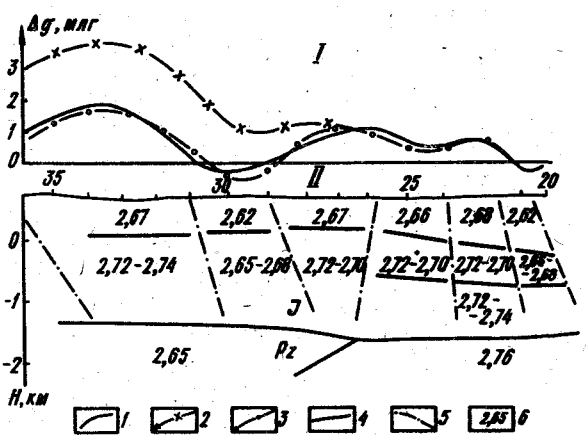


Рис.3. Влияние неоднородного состава юрской толщи и пород палеозойского фундамента на гравитационное поле (участок профиля V , Кафанский район)

I – кривые гравитационного поля: 1 – экспериментальная кривая; 2, 3 – теоретические кривые соответственно с постоянной (σ = 2,76 г/см^3) и переменной плотностью в породах фундамента; II – сейсмоплотностной разрез: 4 – сейсмические границы, связанные с литолого-стратиграфическими горизонтами; 5 – сейсмические границы раздела вертикальных блоков, проходящие по разломам; 6 – значения плотности пород в блоках, принятые при решении прямой задачи гравиразведки

Расчеты проводили для двух вариантов строения среды: с учетом вертикальной неоднородности и без учета ее, когда аномалеобразующим фактором счита-

[X] См. наст. сборник. Г.Г.Кравцов, В.И.Сегалович. Методика подбора геолого-структурных моделей по заданному полю силы тяжести с помощью укрупненных многогранных элементов.

от пликативные формы горизонтальной слоистости разреза. Хорошее соответствие теоретических и экспериментальных кривых гравитационного поля получено для моделей, учитывающих вертикальную неоднородность среды. Добиться такого же соответствия теоретических и экспериментальных кривых гравитационного поля для пликативных форм литолого-стратиграфических границ в предположении их плотностной однородности не удается. Таким образом, расчеты показали, что локальные аномалии вызваны в основном вертикальной слоистостью (блоковым строением среды).

Примером может служить выбор гравитационной модели для сейсмического разреза профиля $\overline{V}$, фрагмент которого представлен на рис.3. На поведение поля локальных аномалий может влиять изменение вещественного состава пород „фундамента", что наглядно иллюстрируется теоретическими графиками гравитационного поля в интервале пикетов 30-35 профиля $\overline{V}$.

Выявленное сейсморазведкой блоковое строение Кафанского поднятия находит отражение в локальных аномалиях гравитационного поля. Это дает основание использовать материалы гравиметрической съемки для прослеживания структурно-тектонических элементов между сейсмическими профилями и перейти таким образом к построению структурных схем на исследуемой площади.

Литература

1. Картирование рудоконтролирующих интрузий на Малом Кавказе комплексом геофизических методов. В кн.: „Геофизические методы при крупномасштабном прогнозировании сульфидных месторождений. Методы разведочной геофизики", вып.24, Л., „Недра", 1974. Авт.: Ю.Г.Шопин, О.В.Мирошникова, Н.Н.Громова, А.Ш.Мамед-Заде.

2. Хесин Г.Э. Рудная геофизика в горных областях. М., „Недра", 1969.

3. Шопин Ю.Г., Мирошникова О.В., Громова Н.Н. Сейсморазведка при изучении морфологии интрузивных тел Малого Кавказа. В кн.: „Геофизические исследования при крупномасштабном прогнозировании сульфидных месторождений". Л., „Недра", 1970.