

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**«Оценка помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем, использованных в сейсморазведке МОГТ-3D на Соболином лицензионном участке»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 403 группы  
направление 05.03.01 геология  
геологического ф-та  
Усова Олега Юрьевича

**Научный руководитель**

К. г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Э.С. Шестаков

**Зав. кафедрой**

К. г.- м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2019

**Введение.** По своей сущности поле упругих колебаний, регистрация которых осуществляется при проведении сейсморазведочных работ, является суперпозицией регулярных и случайных волн различного типа. Метод отраженных волн (МОВ) в качестве инструмента решения геологических задач различной сложности использует однократно отраженные волны от границ раздела в исследуемой геологической среде. В регистрируемом волновом поле они составляют незначительный объем, остальные его компоненты можно рассматривать как помехи.

Одним из основных видов помех в МОВ являются низкоскоростные волны-помехи поверхностного типа. Для их подавления повсеместно используются полевые интерференционные системы (ИС) – группирование приемников и источников упругих колебаний. При совместном использовании групп приёмников и групп источников формируются сложные интерференционные системы, действие которых в классических теориях ИС не рассматривалось.

На кафедре геофизики Саратовского государственного университета в течение ряда лет ведутся инициативные научно-исследовательские работы по развитию энергетической теории ИС с точки зрения разработки подходов, алгоритмов и программ оценки свойств сложных интерференционных систем. В частности, была создана программа CaDiFactor, обкатке которой на полевом материале я принимала участие. Исходные материалы – материалы сейсморазведочных работ МОГТ-3D на Соболином лицензионном участке (ЛУ) – были собраны мной при прохождении производственной практики.

Другим побудительным моментом к выбору данного направления было то, что в Проекте на проведение работ никак не обосновывался выбор характеристик полевых ИС. Целью бакалаврской работы являлась **оценка помехоустойчивости сложных полевых ИС на Соболином ЛУ посредством использования программного комплекса CaDiFactor**, которая предполагает решение следующих задач.

- рассмотреть геолого-геофизические особенности СЛУ;

- изучить методику проведения сейсморазведочных работ МОГТ-3D на Соболином ЛУ;
- исследовать теоретические основы энергетической теории ИС, используемой при оценке помехоустойчивости полевых ИС на СЛУ;
- рассмотреть используемое программное обеспечение;
- выполнить оценку потенциальной помехоустойчивости используемых полевых интерференционных систем.

**Основное содержание работы. Раздел 1 «Геолого-геофизическая характеристика района работ».** Соболинский ЛУ находится на территории Каргасокского района Томской области Российской Федерации. Административный центр – поселок Каргасок – расположен в 75 км к северо-востоку от границ участка. В сжатой форме рассмотрены история исследований, геолого-геофизическая характеристика разреза осадочного чехла, особенности тектонического строения района работ. Необходимость проведения детализационных работ МОГТ-3D обусловлена высокой перспективностью ЛУ в нефтегазоносном отношении: залежи нефти, газа и конденсата в данном НГР выявлены в отложениях триаса, верхней юры и неокома и в пределах Соболиного ЛУ открыты Соболиное, Гураринское и Ясное месторождения с залежами в пластах: Б8, Б9, Б10, Б111+д, Б112, Б121, Б122, Б13, Б141, Ю11, Ю1му, Ю13-4.

Анализ сейсмогеологических особенностей территории исследований показал, что поверхностные неоднородности зависят от форм ландшафта: рек, озер, болот, увалов. Разрез мезозойских и кайнозойских отложений сложен циклическим чередованием песчано-глинистых пород, слои которых отличаются значениями акустической жёсткости, что позволяет получать интенсивное поле отражённых волн от границ этих слоёв, и, соответственно, проследить распространение геологических тел в пространстве.

Нижний структурно-тектонический этаж представляет собой доюрское осно-вание, которое соответствует геосинклинальному и парагеосинклинальному этапам развития Западно-Сибирской плиты. Он

представлен эффузивными, интрузивными и осадочными сильно дислоцированными и метаморфизированными породами. Многочисленные разломы, установленные в доюрских отложениях, обусловили блоковый характер строения его поверхности, многие из которых прослеживаются вплоть до верхнего структурно-тектонического этажа.

Верхний структурно-тектонический этаж сложен мощной толщей мезозойских и кайнозойских образований, накопившихся в условиях длительного и стабильного прогибания доюрского основания. Этот этаж, или собственно осадочный чехол плиты, изучен наиболее полно. Он характеризуется слабой дислоцированностью, полным отсутствием метаморфизма пород и контролирует основные известные в пределах плиты скопления углеводородов. Наблюдается относительно плавное нарастание значений пластовых скоростей с глубиной от 1790 м/с в неоген-палеогеновых отложениях до 3400 м/с в породах юрского возраста.

В интервале времени от 0 до 2700 мс видна группа осей синфазности, отражённых волн, ниже отражения практически не выделяются, наблюдаются интенсивные низкоскоростные волны-помехи, а помехи с более высокими скоростями выделяются относительно слабо. Для определения характеристик волн-помех далее используется центральная сейсмограмма представленного выше фрагмента.

**Раздел 2 «Методика полевых сейсморазведочных работ».** Целью рассматриваемых работ МОГТ-3D было уточнение деталей геологического строения установленных нефтяных и газовых залежей в границах Соболиного ЛУ с для оптимальной организации добычи в процессе разработки, а также прогноз и выявление новых ловушек УВ.

Использовалась ортогональная система наблюдения типа «крест», представляющая собой 14 параллельных линий наблюдения (ЛН) и одну ортогональную им линию возбуждения (ЛВ). Пункты возбуждения (ПВ) располагались равномерно в интервале между двумя центральными ЛН с шагом 50 м. На каждой ЛН располагалось 108 пунктов приёма, в которых

устанавливалась линейная группа из 12-ти сейсмоприёмников на базе 25 м, ориентированная вдоль линии наблюдения. В качестве источников упругих колебаний использовались взрывы из одиночных скважин с погружением зарядов на  $\frac{1}{4} \lambda$  прямой волны под подошву ЗМС для уменьшения влияния волн-спутников и повышения временной разрешенности сейсмической записи.

**Раздел 3 «Основы энергетической теории интерференционных систем».** В сейморазведке существует 2 типа волн, полезные и помехи, полезная информация представляет собой запись регулярных волн, образовавшихся на исследуемых границах, помехи в свою очередь могут быть как регулярными, так и нерегулярными (случайными).

Разделение полей полезных волн и волн-помех по  $V^*$  осуществляется так называемыми интерференционными системами (ИС), основанными, главным образом, на суммировании сейсмических колебаний, зарегистрированных в разных точках пространства, с учетом кинематических характеристик выделяемых и подавляемых волн. При этом обеспечивается синфазное сложение выделяемых колебаний и несинфазное – подавляемых.

Интерференционные системы, как правило, можно свести к совокупности входов (источников сигналов), располагающихся на плоскости наблюдения, каждый из которых может быть охарактеризован координатами, определенными на этой плоскости, и чувствительностью входа (интенсивностью излучения отдельного источника). По характеру расположения входов на плоскости наблюдения ИС можно подразделить на линейные, где входы располагаются вдоль некоторой линии (профиля), и площадные. Рассмотрение одномерных, то есть линейных свойств является фундаментом энергетической теории ИС.

В энергетической теории интерференционных систем целевой функцией, описывающей действие ИС на сигнал регулярной волны, является **коэффициент направленного действия (КНД)**. Под КНД понимается отношение энергии сигнала некоторой ( $i$ -той) волны на выходе конкретной ( $j$ -той) ИС к максимально возможной энергии той же волны на выходе той же

системы, КНД можно высчитать по формуле 1:

$$\text{КНД}_{ij} = \frac{E_{ij \text{ Вых}}}{E_{ij \text{ Вых max}}}, \quad (1)$$

т.е.  $\text{КНД}_{ij}$  показывает насколько  $j$ -тая ИС ослабляет  $i$ -тую регулярную волну.

Поскольку в работах на Соболином ЛУ использовалось линейное группирование сейсмоприёмников, конкретизируем КНД применительно к линейным ИС, где каждый приёмник характеризуется  $l_i$ - координатой и чувствительностью  $\mu_i$ , здесь  $i$  – номер приёмника в группе ( $1 \leq i \leq n$ , здесь  $n$  – число приёмников в группе). Если сигнал рассматриваемой регулярной волны в ближайшем к источнику приёмнике описывается функцией  $f(t)$ , то на входе  $i$ -того приёмника его можно записать как

$$f(t + \Delta t_i),$$

где  $\Delta t_i$  – запаздывание волны в точке  $i$ -того приёмника.

Тогда сигнал на выходе ИС (группы) можно записать как

$$f_{\text{Вых}}(t) = \sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i), \quad \text{а его энергию } E_{\text{Вых}} = \int_{-\infty}^{\infty} (\sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i))^2 dt$$

Если  $f(t)$  – знакопеременный импульс, то максимальная амплитуда и, соответственно, максимальная энергия будут при синфазном суммировании сигналов, т.е. при  $\Delta t_i \equiv 0$ :  $E_{\text{Вых max}} = (\sum_{i=1}^n \mu_i)^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt$ , из чего выходит формула 2:

$$\text{КНД} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (\sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i))^2 dt}{(\sum_{i=1}^n \mu_i)^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt} \quad (2)$$

Поскольку математическое выражение функции  $f(t)$ , как правило, неизвестно, для практических расчётов она заменяется аппроксимирующим сигналом. В энергетической теории ИС с этой целью используется нуль-фазовый гармонический сигнал с экспоненциальной огибающей (импульс Пузырёва), формула 3:

$$f(t) = e^{k^2 t^2} \sin \omega(t + \psi) = e^{k^2 t^2 (t/T)^2} \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{\psi}{T} \right), \quad (3)$$

здесь  $t$  – параметр времени,  $k$  – коэффициент затухания экспоненциальной огибающей,  $\omega$  – круговая частота,  $\psi$  – фазовый сдвиг,  $T$  –

период гармонической заполняющей.

Правомерность и эффективность такой замены доказана эмпирически и теоретически.

Подстановка выражения (3) в выражение (2) и выполнение некоторых математических преобразований позволяют получить выражение КНД, явным образом зависящее от характеристик ИС и параметров волны. В частности, выражение КНД однородной ИС, являющееся основой используемого настоящей работе программного обеспечения, показана в формуле 4:

$$\text{КНД} \approx \frac{1}{n^2} \left[ n + 2 \sum_{\substack{l=1, \\ r=l+1, \\ l \neq r}}^{(n-1), n} e^{-\frac{k^2 T^2}{2} (\Delta t / T)^2 (l-r)^2} \times \cos 2\pi \frac{\Delta t}{T} (l-r) \right], \quad (4)$$

здесь  $l, r$  – индексы элементов ИС, а отношение  $\Delta t / T$  или тождественное ему отношение  $D / \lambda^*$  является безразмерным аргументом функции КНД, где  $\Delta t$  – максимальное запаздывание волны в ИС ( $0 \leq \Delta t_i \leq \Delta t$ ),  $T$  – преобладающий период импульса,  $D$  – база ИС, а  $\lambda^*$  – кажущаяся длина волны.

Для расчета КНД согласно выражению (4) по рекомендации [Бесп] исходные данные представляются в виде амплитудно-временного аналога (АВА) – таблицы, где каждый элемент ИС описывается номером, значением относительной чувствительности (или интенсивности излучения) и относительным запаздыванием волны. АВА определяется как характеристиками ИС, т.е. в конкретной Системе каждой волне соответствует свой АВА.

На кафедре геофизики Саратовского государственного университета в развитие идеи АВА было предложено использовать амплитудно-геометрический аналог ИС (АГА), где каждый элемент ИС описывается номером, значением относительной чувствительности и относительным удалением элемента. АГА зависит только от характеристик системы, соответственно инвариантен к характеристикам волнового поля и легко пересчитывается в АГА путём деления относительного удаления на кажущуюся скорость конкретной волны.

При продольном профилировании характеристики линейных ИС полностью описываются графиком зависимости КНД( $\Delta t/T$ ), который не зависит от местоположения системы по отношению к источнику колебаний. При непродольном профилировании, которое является основой 3D системы наблюдения типа «крест», использованной на Соболином ЛУ, относительные запаздывания волны на элементах ИС зависят от местоположения системы по отношению к источнику колебаний. КНД становится функцией четырёх параметров и для изображения целевой функции на двумерной плоскости необходимо понижать размерность её, фиксируя значения некоторых аргументов.

В рассматриваемой задаче фиксировались значения параметры волны и строились карты распределения  $\sqrt{\text{КНД}}$ , по площади шаблона (темплейта) системы наблюдения.

**Раздел 4. «Оценка потенциальной помехоустойчивости полевых интерференционных систем».** Для расчета КНД в 3D-системах наблюдения типа «крест» на кафедре геофизики Саратовского университета была разработана программа «KND SLIS 3D карта». Она написана на языке Visual Basic и имеет в своём составе 3х служебных блока (блок загрузки программы, блок декларации переменных, блок инициализации) и четыре подпрограммы (подпрограммы расчета АГА, визуализации АГА на экране дисплея, расчёта таблицы КНД, визуализации таблицы КНД). Служебные блоки необходимы для организации работы программы, подпрограммы реализуют общий алгоритм, рассмотренный выше.

В 2017 г Веселовым Н.А. при подготовке бакалаврской работы на базе выше упомянутой программы на языке C# была разработана программа CaDiFactor, реализующая расчет КНД сложных ИС в 2D и 3D системах наблюдений. Особенностью её было то, что она ориентирована на групповые источники колебаний и задать единичный источник во вкладке «Группа источников» невозможно.

В данной выпускной квалификационной работе показана возможность

имитации одиночного источника в режиме «KND 3D» комплекса CaDiFactor при задании группового источника из 2-х элементов с базой группы равной 0.5 м, что позволило использовать его в данной работе. Расчет карт распределения параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$  выполнялся общедоступном картосоставительском пакете Surfer.

На полевых сейсмограммах были выделены пять доминирующих помех с параметрами:

Волна 1 –  $V^* = 195$  м/с,  $T^* = 0.1$  с, длительность импульса  $2T^*$  ;

Волна 2 –  $V^* = 333$  м/с,  $T^* = 0.1$  с, длительность импульса  $2T^*$ ;

Волна 3 –  $V^* = 722$  м/с,  $T^* = 0.1$  с, длительность импульса  $2T^*$ ;

Волна 4 –  $V^* = 1154$  м/с,  $T^* = 0.1$  с, длительность импульса  $2T^*$ ;

Волна 5 –  $V^* = 1467$  м/с,  $T^* = 0.1$  с, длительность импульса  $2T^*$ .

В комплексе программ CaDiFactor для всех волн были рассчитаны распределения параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$  по полю темплейта, а в комплексе Surfer построены карты. Анализ карт показал, что волны 3-5 практически не ослабляется, поскольку на всем поле темплейта она находится в области пропускания (область, где  $\sqrt{\text{КНД}} \geq 0.707$ ). На картах распределения  $\sqrt{\text{КНД}}$  для волны 1 область пропускания тяготеет к ЛВ, а полоса гашения ориентирована вдоль линий наблюдения, наименьшее значение параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$  наблюдаются у ЛН-5 и ЛН-10 (0,2), что соответствует ослаблению волны-помехи в 5 раз, для волны 2 область пропускания также тяготеет к ЛВ и полоса гашения тоже, как и у первой волны, ориентирована вдоль линий наблюдения, наименьшее значение параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$  наблюдаются у ЛН-4 и ЛН-10 (0,35), что соответствует ослаблению волны-помехи в 2,86 раза,

Полученные оценки степени подавления выделенных волн-помех свидетельствуют о низких характеристиках применённых полевых ИС. Поэтому представляло интерес оценить возможность их улучшения за счёт добавления группового источника упругих колебаний. Рассматривалась линейная группа из 3-х источников на базе 25 м, ориентированная вдоль ЛВ.

На полученных картах отмечается общее уменьшение значений параметра  $\sqrt{\text{КНД}}$ , вплоть до того, что на карте для волн 1 и 2 отсутствуют область пропускания. Во-вторых, изменились области максимумов и минимумов – для первой волны области глобального минимума ориентированы вдоль диагоналей темплейта, область глобального максимума ориентирована вдоль ЛВ, область локального максимума ориентирована вдоль центральных ЛН. Для второй волны области глобального минимума имеют субдиагональную ориентацию, тяготея к ЛВ, область глобального максимума ориентирована вдоль центральных ЛН, область локального максимума ориентирована вдоль ЛВ.

У волны 3 появилась область отсутствия пропускания, которая тяготеет к линии возбуждения.

Волны 4-5 по-прежнему находится в области пропускания по всему полю темплейта. Что касается численных значений параметра для волны 1, то в области минимума  $\sqrt{\text{КНД}} = 0.12$ , что соответствует ослаблению волны в 8,3 раза. В области максимума  $\sqrt{\text{КНД}} = 0.42$ , что соответствует ослаблению в 2,38 раза, для волны 2, то в области минимума  $\sqrt{\text{КНД}} = 0.25$ , что соответствует ослаблению волны в 4 раза. В области максимума  $\sqrt{\text{КНД}} = 0.306$ , что соответствует ослаблению в 3,28.

Выполненный эксперимент свидетельствует о том, что в сложных ИС даже незначительные изменения существенно меняют из характеристики. Из этого следует, что при проектировании систем наблюдения в обязательном порядке следует оценивать помехоустойчивость и оптимизировать характеристики полевых ИС.

**Заключение.** В результате проделанных работ все задачи, поставленные перед выполнением работы, были выполнены полностью:

– были рассмотрены геолого-геофизические особенности СЛУ, было расписано история изучения района работ, а также литология;

– рассмотрели методику проведения сейсморазведочных работ МОГТ-3D на Соболином ЛУ, были рассмотрены условия района работ, рассмотрены параметры сеймостанции, а также получен шаблон системы наблюдения;

– рассмотрены теоретические основы энергетической теории ИС, используемой при оценке помехоустойчивости полевых ИС на СЛУ;

– рассмотрены особенности используемого программного обеспечения;

– выполнена оценка потенциальной помехоустойчивости используемых полевых интерференционных систем. Были выделены 5 волн помех, при этом сколь либо заметное подавление помех в этой системе наблюдения возможно только для первых двух волн с кажущимися скоростями 194 и 333 м/с. и то, не по всей площади темплейта, волны с  $V^* \geq 722$  м/с используемые группы сейсмоприёмников не подавляют;

– был выполнен эксперимент с включением в систему наблюдения группового источника с невысокими направленными свойствами, показавший существенное улучшение характеристик сложных полевых ИС;

– выше упомянутый эксперимент свидетельствует о том, что в сложных ИС даже незначительные изменения существенно меняют из характеристики. Из этого следует, что при проектировании систем наблюдения в обязательном порядке следует оценивать помехоустойчивость и оптимизировать характеристики полевых ИС.