

ГЕОФИЗИКА, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВАНИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Беспалов Д. А.

Северо-Восточный государственный университет (СВГУ), г. Магадан, Россия,
e-mail: danilbepalov@yandex.ru

Представлены результаты анализа пространственно-временных закономерностей распределения землетрясений Магаданской области за период инструментальных наблюдений (1968–2013 гг.). На основании разработанной программы построены карты изолиний сейсмической активности A_{10} за различные интервалы времени. Выявлена миграция максимумов сейсмической активности с северо-запада к центральной, а затем к восточной части рассматриваемой территории.

ANALYSIS OF SPATIAL AND TEMPORAL PATTERNS OF DISTRIBUTION OF EARTHQUAKES MAGADAN REGION ON THE BASIS OF A PROGRAM FOR THE CALCULATION OF SEISMIC ACTIVITY

Bepalov D. A.

North Eastern State University (NVSU), Magadan, Russia, e-mail: danilbepalov@yandex.ru

The results of the analysis of spatio-temporal patterns of distribution of earthquakes Magadan region for the period of instrumental observations (1968–2013 gg.). On the basis of the developed program constructed contour maps of seismic activity A_{10} for various time intervals. Spotted migration peaks of seismic activity from the northwest to the center and then to the eastern part of the territory.

Немногие явления природы могут сравниться по разрушительной силе и опасности с землетрясениями. Сильные землетрясения – это бедствие, катастрофа. Под угрозой возникновения этих катастроф находятся огромные территории Земли. Магаданская область также является регионом повышенной сейсмической активности. Учитывая катастрофические последствия, к которым могут привести сильные землетрясения в условиях одного из самых суровых климатов на Земле, изучение сейсмичности территории является жизненно необходимой задачей.

Успешное решение проблемы прогноза землетрясений невозможно без изучения сейсмического режима территории, выявления пространственно-временных и энергетических закономерностей распределения сейсмичности, без комплексных исследований многочисленных сейсмологических и геолого-геофизических данных.

Методика исследования. В данной работе анализ закономерностей распределения сейсмичности базируется на методике Ю.В. Ризниченко [4. 5], позволяющей дискретную ин-

формацию об отдельных землетрясениях преобразовывать в непрерывные распределения. Для этого им введено понятие сейсмической активности.

Сейсмическая активность (A) – это плотность очагов землетрясений в данной пространственно – временной области, то есть их число, отнесенное к единице пространства, времени и приведенное к определенному энергетическому классу.

Для определения сейсмической активности вокруг каждой точки, в которой определяют значение A , выбирают площадку осреднения определенной величины с центром в этой точке. На площадке осреднения определяют общее число N_{Σ} эпицентров землетрясений разной величины от K_{min} и выше (энергетический класс K связан с энергией землетрясения E (Дж) соотношением $K = \lg E$ [2]).

Значение активности A определяется по формуле:

$$A = \frac{1 - 10^{-\gamma}}{10^{-\gamma(K_{min} - K_0)}} \cdot \frac{S_0 \cdot T_0}{S \cdot T} \cdot N_{\Sigma}, \quad (1)$$

где: γ – наклон графика повторяемости землетрясений (для Магаданской области $\gamma = 0,49$); K_{min} – уровень представительности, т.е. минимальный энергетический класс землетрясений, регистрируемый на исследуемой территории без пропусков (для рассматриваемой территории мы принимали $K_{min} = 8$); K_0 – класс величины землетрясений, которому соответствует рассчитываемая активность. В нашей работе рассчитывалась величина A_{10} ; S – площадь площадки осреднения; T – период наблюдения землетрясений; S_0 – единица нормирования по площади ($S_0 = 1000 \text{ км}^2$); T_0 – единица времени ($T_0 = 1 \text{ год}$); N_{Σ} – общее число землетрясений разных энергетических классов наблюдаемых на площади S за время T .

Для расчета сейсмической активности разработана программа «Seismo Security», позволяющая вычислять сейсмическую активность двумя способами - постоянной точности и постоянной детальности [1].

При **постоянной детальности**, размеры площадок осреднения принимают одинаковыми по всей карте. Карту покрывают прямоугольной равномерной сеткой (в данной работе размеры элементарных площадок принимались $0,1^0$ по широте и $0,2^0$ по долготе). Для каждой ячейки определялось общее число N_{Σ} землетрясений энергетического класса $K \geq 8$. Значения сейсмической активности приписывались центрам площадок.

При малой плотности эпицентров в пределах некоторых площадок эпицентры становятся либо одиночными, либо совсем отсутствуют. В этом случае применяют **способ постоянной точности**, при котором размеры площадок осреднения выбираются так, чтобы каждая площадка вмещала одно и то же фиксированное число эпицентров. Тем самым фиксируют точность определения активности. На практике обычно считают, что $N_{\Sigma} = 3$ – минимальное допустимое число эпицентров на площадке осреднения [4].

Пространственно-временные закономерности распределения землетрясений Магаданской области. Для исследования был выбран район, ограниченный координатами $58,5^{\circ}$ с.ш. - 65° с.ш. и 145° в.д. - 163° в.д., включающий в себя Магаданскую область и прилегающие территории Якутии и Хабаровского края.

Сейсмичность территории рассматривалась за период с 1968 г. (год, когда была создана сеть сейсмостанций на территории Магаданской области) по февраль 2013 г. включительно. Пространственные и энергетические характеристики землетрясений получены на основании каталогов Геоинформационной системы «Сейсмичность Магаданской области», разработанной В.М. Шарафутдиновым, первичными материалами являлись сейсмологические данные Магаданского филиала геофизической службы РАН [6, 7].

Всего на рассматриваемой территории с 1968 по 2013 гг. зарегистрировано более 4600 сейсмических событий разных энергетических классов, из них 83 сильных землетрясения с энергетическим классом $K \geq 12$. В год регистрируется от 34 до 305 землетрясений энергетического класса больше 8.

Для изучения пространственно-временных закономерностей распределения землетрясений рассматриваемой территории строились карты изолиний сейсмической активности Магаданской области за весь период инструментальных наблюдений, а также за разные временные интервалы: за год, пять лет, десять лет и др. Построенные карты изолиний сейсмической активности позволили выявить миграцию максимумов сейсмической активности от северо-запада к востоку территории. Наиболее наглядно миграцию максимумов сейсмической активности демонстрирует сравнение карт изолиний сейсмической активности за четыре десятилетия: 1968-1978, 1979-1989, 1990-2000 и 2001-2013.

В период времени 1968-1978 гг. максимальная сейсмичность фиксировалась на северо-западе Магаданской области, на границе с Якутией. Именно здесь произошло крупнейшее сейсмическое событие Северо-Востока России - Артыкское землетрясение 1971 г. (координаты эпицентра – $60,05^\circ$ с.ш., $146,05^\circ$ в.д., $K=16,8$). Также повышенная активность фиксировалась в районе сильного Кулинского землетрясения 1972 г. (координаты эпицентра – $61,8^\circ$ с.ш., $147,1^\circ$ в.д., $K=14$), и в южной, центральной части Магаданской области (60° с.ш. и 153° в.д.) – здесь за это время зарегистрировано несколько землетрясений энергетического класса $K \geq 12$.

В период 1979-1989 гг. сейсмичность территории значительно снизилась, сейсмический максимум сместился на восток (62° с.ш. и 154° в.д.) - к центру Магаданской области. Здесь в это время зарегистрированы сильные Купкинские землетрясения 1979 и 1981 гг. с энергетическим классом 13,3 (координаты эпицентров – $62,2^\circ$ с.ш., $153,6^\circ$ в.д. и $61,78^\circ$ с.ш., $153,43^\circ$ в.д.) и Омсукчанское 1987 г. с $K=12,3$ ($62,74^\circ$ с.ш., $156,64^\circ$ в.д.).

В следующее десятилетие (1990–2000 гг.) северо-запад территории (район Артыкского землетрясения) становится практически асейсмичным. Максимальное количество землетрясений, по-прежнему, соответствует южной, центральной части Магаданской области (60° с.ш. и 153° в.д.). Здесь вновь зарегистрировано несколько сильных землетрясений энергетического класса $K \geq 12$. По-прежнему активен Купкинский район (62° с.ш. и 154° в.д.), где в 1992 г. регистрируется землетрясение энергетического класса $K=13,7$ (координаты эпицентра – $62,1^\circ$ с.ш., $153,9^\circ$ в.д.). Кроме того, новый максимум сейсмичности фиксируется еще восточнее (62° с.ш. и 157° в.д.).

С 2001 по 2013 гг. максимальная сейсмичность также сосредоточена на востоке. Но, при этом северо-западная часть территории становится активнее, по сравнению с предыдущим десятилетием.

Таким образом, за период инструментальных наблюдений (1968-2013 гг.) максимумы сейсмической активности смещались с северо-запада к центральной, а затем к восточной части рассматриваемой территории. Можно предположить, что максимум сейсмичности вновь «вернется» на северо-запад территории в следующие десятилетия, а затем постепенно будет «продвигаться» на восток

Вывод о миграции максимумов сейсмической активности согласуется с результатами анализа тенденций сейсмичности Магаданской области Мишина С.В. и Шарафутдинова В.М., показавшими, что «локальная «вспышка» сейсмической активности продолжается не более десятка лет и сменяется новой «вспышкой» на другом участке» [2].

Литература

1. Брачун Т.А., Калинина Л.Ю., Беспалов Д.А. Seismic Security (ver. 1.0) - программа для расчета сейсмической активности в Магаданской области// Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014617701 от 31/07/2014.
2. Мишин С.В., Шарафутдинов В.М. Тенденции процесса сейсмической активности// Современные проблемы науки и образования. 2009. №5. С. 21-28.
3. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях до 3000 км// Труды института физики Земли АН СССР. 1964. № 32 (199). С. 88-93.
4. Ризниченко Ю.В. Сейсмическая активность территории СССР. М.: Наука, 1979. 192 с.
5. Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г. М.: Наука, 1980. 308 с.
6. Шарафутдинов В.М. Разработка и формирование Геоинформационной системы «Сейсмичность Магаданской Области», возможности ее применения // Геоинформатика. 2009. №3. С. 52–56.
7. Шарафутдинов В.М., Малиновский С.Б. Геоинформационная система «Сейсмичность Магаданской области» // Свидетельство о государственной регистрации Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2011615022 от 24.06.2011.

ЛУЧЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБМЕННЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН ПРИ ГЛУБИННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА АКВАТОРИЯХ

Вяткина Д.В.

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ФГУП «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: *Darya_Vyatkina@vsegei.ru*

Совместное использование в обработке и интерпретации продольных (P), поперечных (S) и обменных (P-S, S-P) волн повышает информативность глубинных сейсмических исследований на акваториях. В данной работе рассматривается методика построения глубинных скоростных разрезов ГСЗ по профилю Арктика-2012. Использование при интерпретации многокомпонентных записей ГСЗ позволяет получить детальные разрезы земной коры и верхней мантии по скоростям продольных и поперечных волн. Полученные скоростные характеристики и отношение V_p/V_s могут применяться для дальнейшей геологической интерпретации и обоснования природы земной коры в данном регионе.

RAY-TRACING SEISMIC MODELING OF CONVERTED AND SHEAR WAVES FOR MARINE DEEP SEISMIC INVESTIGATIONS

Vyatkina D.V.

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (FSUE «VSEGEI»), Saint-Petersburg, Russia, e-mail: *Darya_Vyatkina@vsegei.ru*

A combined use of compressional (P), shear (S) and converted (P-S, S-P) waves in processing and interpretation increases quality of deep seismic studies offshore. The technique of creation of seismic velocity models based on deep seismic sounding (DSS) data along the Arctic-2012 profile is considered in this paper. The use of multi-component DSS records in interpretation allows to obtain detailed both P-wave and S-wave velocity sections of the crust and upper mantle. The received velocity characteristics and V_p/V_s ratio can be applied for further geological interpretation and determination of the Earth's crust nature in this region.

Использование многокомпонентных сейсмических данных позволяет выделять и в дальнейшем использовать в обработке и интерпретации наряду с продольными также поперечные и обменные волны.

В 2012 году были проведены комплексные геолого-геофизические исследования по изучению глубинного строения и определения природы земной коры в Центральной части Арктического бассейна. Основным объектом исследований являлось поднятие Менделеева и его обрамление. В рамках экспедиции «Арктика-2012» были выполнены сейсмические работы в следующих модификациях: метод отраженных волн (МОВ-ОГТ) и глубинные сейсмические исследования (ГСЗ). Метод отраженных волн позволяет оценить преимущественно верхнюю часть разреза, в то время как для освещения глубинного разреза земной коры и верхней мантии используется метод ГСЗ.

Сейсмические работы по методике МОВ-ОГТ 2D выполнялись с буксируемой сейсмической косы длиной 4500 м и групповым пневмоисточником. Длина профиля составила – 690 км.

При наблюдениях методом ГСЗ производилась многокомпонентная регистрация (X,Y,Z-компоненты и гидрофон Н) сейсмических колебаний с применением автономных донных сейсмических станций, которые располагались вдоль профиля с шагом 10–15 км на дне моря. Возбуждение колебаний производилось пневмоисточниками, буксируемыми за кораблем. Длина расстановки профиля ГСЗ составила 480 км, длина линии возбуждения – 740 км.

Волновые поля, полученные на профиле ГСЗ, характеризуются сложной структурой и изменчивостью вдоль профиля. Продольные волны наиболее ярко фиксируются на вертикальной компоненте и на записи гидрофона. Для подчеркивания поперечных и обменных волн была проведена специализированная обработка горизонтальных компонент.

В поле продольных волн на удалениях 20–40 км выделяются преломленные (рефрагированные и головные) волны, связанные с осадочным слоем (P_{sed}) и волны, распространяющиеся в верхней части консолидированной коры (P_g). Также на сейсмограммах достаточно выразительны волны, связанные с границей Мохо – преломленная (рефрагированная в верхней мантии) волна (P_n) и отраженная (P_{MP}). Фрагментарно удалось также выделить отраженные волны, связанные с внутримантийной границей M₁. После анализа наблюдаемых волновых полей было выполнено лучевое моделирование по продольным волнам.

Для создания глубинной сейсмической модели по профилю «Арктика-2012» использовался программный комплекс SeisWide, в основе которого лежит лучевой метод. Данная методика позволяет производить расчет теоретических годографов преломленных и отраженных волн от заданной сейсмической модели. В процессе моделирования производится подбор параметров модели (положение границ и скоростные характеристики на кровле и подошве слоев), которые позволяют достигнуть наилучшего совпадения теоретических годографов с наблюдаемыми сейсмическими записями.

На первом этапе формирования модели по сейсмическим данным, полученным при глубинных сейсмических исследованиях, использовался глубинный разрез МОВ-ОГТ. Для увязки двух профилей производился пересчет координат и формирование общей линии профиля. Разрез МОВ-ОГТ использовался преимущественно для уточнения структурных особенностей верхней части разреза до глубины 10 км. Следует отметить, что не все отражающие горизонты, зафиксированные на глубинном разрезе ОГТ, нашли свое отражение на разрезе ГСЗ. Сделана попытка увязать скоростные характеристики двух разрезов. Использование данных МОВ-ОГТ позволило сформировать достаточно детальную верхнюю часть модели. Далее моделирование производилось по данным ГСЗ до глубины 40 км. В результате получена глубинная скоростная модель V_p земной коры и верхней мантии.

Следующий этап обработки многокомпонентных наблюдений ГСЗ включал построение моделей с привлечением обменных и поперечных волн. Специализированная обработка сейсмических записей на горизонтальных компонентах позволила в поле обменных волн выделить преломленные волны в верхней (P_{gS}) и нижней (P_{LS}) части земной коры, претерпевшие обмен на различных границах в осадочном чехле. В поле поперечных волн выделяются преломленные (рефрагированные) волны, распространяющиеся в верхней части консолидированной коры (S_g), а также отраженная волна от границы Мохо (S_{MS}).

Для сопоставления расчетных годографов обменных волн с наблюдаемыми волновыми полями, полученными на R-компоненте, использовалась скоростная модель, построенная по продольным волнам. Для всех пунктов приема производился подбор коэффициентов Пуассона последовательно для каждого слоя модели. Полученные коэффициенты позволили оценить отношение V_p/V_s для верхней части разреза. Для осадочного чехла значе-

ния варьируют в диапазоне 1.91–2.8, для промежуточного слоя с метаморфизованными осадками отношение V_p/V_s составляет 2.0.

При формировании модели по поперечным волнам использовалась геометрия границ модели, созданной по продольным волнам. Для пересчета скоростей для верхней (осадочной) части разреза использовались коэффициенты Пуассона, полученные по обменным волнам. Далее подбирались такие коэффициенты, чтобы рассчитанные годографы преломленных и отраженных S-волн наилучшим образом совпадали с наблюдаемыми волновыми полями. В результате моделирования была получена глубинная скоростная модель, по которой была произведена оценка отношений V_p/V_s на всю мощность земной коры до 40 км. Для верхней части консолидированной коры значения изменяются в диапазоне 1.70–1.74. Нижняя часть разреза характеризуется значениями 1.74–1.78.

На рисунке приведены примеры сопоставления расчетных годографов продольных, поперечных и обменных волн от полученной скоростной модели с наблюдаемыми волновыми полями по профилю.

Таким образом, по данным многокомпонентных наблюдений были построены скоростные разрезы продольных и поперечных волн по профилю «Арктика-2012». Данные разрезы позволили решить несколько важных задач. Во-первых, определить структуру и мощность земной коры поднятия Менделеева и сопредельных с ним структур. Во-вторых, используя, данные по различным видам и типам волн, определить отношения V_p/V_s . Полученные результаты можно использовать для последующей геологической интерпретации, включая оценку вещественного состава глубинных слоев и обоснование природы земной коры.

Литература

1. Кашубин С.Н., Сакулина Т.С., Павленкова Н.И., Лукашин Ю.П. Особенности волновых полей продольных и поперечных волн при глубинных сейсмических исследованиях на акваториях// Технологии сейсморазведки. 2011. №4. С. 88-102.
2. Кашубин С.Н., Павленкова Н.И., Петров О.В., Мильштейн Е.Д., Шокальский С.П., Эринчек Ю.М. Типы земной коры циркумполярной Арктики// Региональная геология и металлогения. 2013. № 55. С. 5-20.
3. Лукашин Ю.П., Семенов В.П. Особенности применения многоволновой сейсморазведки при морских региональных исследованиях// Исследования литосферы в работах Петербургских геофизиков (Развитие идей академика Г.А. Гамбурцева). СПб: ВИРГ-Рудгеофизика – ВНИИОкеангеология. 2003. С. 67-74.
4. Zelt С.А., Ellis R.M. Practical and efficient ray tracing in two-dimensional media for rapid travelttime and amplitude forward modeling// Can. J. Explor. Geophys. 1988. V. 24, N 1. P. 16-31.

ПЛОТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ПОДНЯТИЯ МЕНДЕЛЕЕВА (ПО МАТЕРИАЛАМ ПРОФИЛЯ «АРКТИКА-2012-ГСЗ»)

Гольшиева Ю.С.

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ФГУП «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: *Juliya_Golysheva@vsegei.ru*

В данной статье рассматривается построение плотностной модели земной коры и верхней мантии по данным ГСЗ и по методике 3D структурно-плотностного моделирования (основанной на решении обратной задачи гравиметрии в спектральной области) по профилю ГСЗ экспедиции «Арктика-2012», пересекающему поднятие Менделеева.

Использование данной методики позволяет получить градиентно-гетерогенную модель, более адекватно удовлетворяющую принципиальной модели строения литосферы, чем слоистая или слоисто-блоковая модель, полученная на основании данных скоростной модели ГСЗ.

В результате анализа полученной модели в комплексе с сейсмическими моделями можно сделать вывод, что поднятие Менделеева имеет континентальный тип земной коры.

THE MENDELEEV RIDGE'S EARTH'S CRUST AND UPPER MANTLE DENSITY MODEL (BASED ON THE «ARCTIC-2012» DSS PROFILE DATA)

Golysheva Yu.S.

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (FSUE «VSEGEI»), Saint-Petersburg, Russia, e-mail: *Juliya_Golysheva@vsegei.ru*

This paper describes the development of the Mendeleev ridge's Earth's crust and upper mantle density model. The research is based on the data of the «Arctic-2012» expedition DSS profile. Results of wide-angle refraction data interpretation and 3D structural density modeling (based on solution of the inverse gravity problem in spectral domain) were considered.

Gradient heterogeneous model obtained by 3D structural density modeling satisfies the principal model of the lithosphere structure better than layered or layered-block model based on the wide-angle refraction data.

Also the resulting density and seismic models complex analysis shows that the Mendeleev ridge has continental type of the Earth's crust.

Одним из основных направлений, связанных с обеспечением геополитических интересов Российской Федерации в Северном Ледовитом океане, являются геолого-геофизические исследования по оценке природы земной коры Центрально-арктических поднятий. В связи с этим, в ходе экспедиции «Арктика-2012» по одному из профилей («Арктика-2012-ГСЗ») были выполнены комплексные полевые исследования двумя модификациями сейсморазведки – глубинные сейсмические зондирования (ГСЗ) и метод отраженных волн в варианте общей глубинной точки (МОВ-ОГТ). Исследования проводились вдоль профиля длиной 700 км, пересекающего (с запада на восток) прогиб Вилькицкого, разделяющий поднятия Де-Лонга и Менделеева, поднятие Менделеева, Чукотскую впадину, и западную часть Чукотского плато. Основной задачей исследований являлось построение комплексной геолого-геофизической модели, обосновывающей тип земной коры поднятия Менделеева.

Построение комплексной геолого-геофизической модели потребовало дополнить сейсмические разрезы плотностным. Исходными данными для построения плотностного разреза по линии профиля «Арктика-2012-ГСЗ» явились: фрагмент цифровой модели поля силы тяжести (редукция Буге, $\sigma=2.67 \text{ г/см}^3$) [1]; батиметрические данные экспедиции «Арктика-2012», положение подошвы осадочного чехла (данные МОВ-ОГТ), комплексный скоростной разрез (ГСЗ) [Центр глубинных геофизических исследований ФГУП «ВСЕГЕИ», неопубликованные данные].

Решение выше названных задач осуществлялась с использованием различных подходов структурно-плотностного моделирования. При создании модели основное внимание было сосредоточено на неоднородностях **консолидированной** земной коры. При расчетах были приняты следующие постоянные плотностные параметры: морская вода – 1.03 г/см^3 ; осадочный слой при умеренных мощностях – 2.1 и 2.3 г/см^3 . Для нижних горизонтов мощных осадочных бассейнов (западная часть профиля, бассейн Вилькицкого) – градиентное нарастание плотности до 2.55 г/см^3 ; литосферная верхняя мантия – 3.35 г/см^3 [2].

Предварительный расчет был проведен с использованием скоростного разреза. Согласно данным ГСЗ максимальные значения мощности земной коры отмечаются в районе поднятия Менделеева (до 31 км), минимальные – Чукотской впадины (19 км). Разрез продольных волн характеризуется наличием низкоскоростных слоев ($4.4\text{--}4.9$ и $5.3\text{--}5.7 \text{ км/с}$) небольшой мощности (до 5 км в сумме), подстилающих осадочный чехол; слоем со скоростями $6.1\text{--}6.4 \text{ км/с}$ мощностью до 2 км в западной части разреза, который выклинивается под Чукотской впадиной и достигает мощности 10 км в районе Чукотского плато; мощным ($11\text{--}20 \text{ км}$) слоем со скоростями от 6.5 до 6.9 км/с , и высокоскоростным нижним слоем в западной части разреза ($7.1\text{--}7.2 \text{ км/с}$) – под бассейном Вилькицкого и поднятием Менделеева.

Значения скоростей внутри каждого слоя были осреднены и переведены в плотности по нескольким корреляционным зависимостям: для пересчета скоростей $4.4\text{--}4.9$ и $5.3\text{--}5.7 \text{ км/с}$, предположительно связанных с супракрустальным комплексом, была использована корреляционная зависимость мезо-кайнозойских метаморфических пород [2], для остальной части – кристаллических [2].

Расчет прямой задачи (в программном модуле GM-SYS) показал существенные отклонения модельной кривой от «наблюденного» поля. В среднем значения невязки находятся в диапазоне $\pm 50 \text{ мГал}$, при максимальном размахе – 120 мГал . Также наблюдается ярко выраженный тренд подъема разностной кривой с запада на восток (в западной части вся разностная кривая ниже -20 , а в восточной выше $+20 \text{ мГал}$).

Очевидно, что данная модель требует устранения «ложного» тренда путем перераспределения плотности. Для средней части разреза мощностью $11\text{--}20 \text{ км}$, характеризующейся принятой средней скоростью 6.7 км/с , в стартовой модели расчетная плотность составила 2.88 г/см^3 . С учетом *доверительного интервала* ($D_p = 0.1342 \text{ г/см}^3$) использованной корреляционной зависимости [2], плотность слоя в западной части разреза была увеличена до 2.92 г/см^3 , восточной – уменьшена до 2.86 г/см^3 . В нижнем слое (средняя скорость 7.15 км/с) плотность была аналогично перераспределена со стартовой 3.02 на 3.10 и 2.98 г/см^3 .

В результате внесенных изменений общий уровень наблюдаемой и модельной кривых пришли в соответствие друг другу.

Тем не менее, сохранилась существенная среднеквадратическая ошибка (17 мГал) и невязки (более $\pm 15\text{--}20 \text{ мГал}$). Следовательно, для подбора модели под наблюдаемое поле Δg необходимо ввести *латеральные* плотностные неоднородности.

Так как конечной целью плотностного моделирования является комплексная *геологическая* интерпретация, а с геологической точки зрения консолидированная кора является **гетерогенной** [3], было принято решение аппроксимировать кору не наиболее распространенной слоисто-блоковой моделью, а моделью гетерогенного типа. Поэтому плотностная модель, построенная на основе данных ГСЗ, была дополнена локальными плотностными неоднородностями, полученными по методике 3D структурно-плотностного моделирования (Мильштейн и др., ФГУП «ВСЕГЕИ» [4]).

Основой создания модели служит 3D решение обратной задачи гравиметрии в спектральной области. Полученное решение рассматривается как «стартовая модель» и на основе априорной информации независимо уточняется по двум параметрам: глубина источников поля и значения их аномальных масс. В результате получается 3D модель распределения «локальной плотности» в земной коре и верхней мантии. Из этой модели был получен разрез по линии профиля ГСЗ «Арктика-2012». Дальнейшие преобразования проводились в 2D варианте.

Для того чтобы перейти от локальных плотностных неоднородностей к структурно-плотностной модели необходимо ввести «стандартную» слоисто-градиентную модель земной коры. Согласно обобщениям петрофизических данных и глубинных сейсмических материалов, скорость продольных волн и плотность пород увеличивается вниз по разрезу [5]. Так как в данном случае имеются данные ГСЗ, «стандартная» модель консолидированной коры была рассчитана по линейной зависимости между плотностями на ее кровле и подошве, оцененными по скоростным параметрам, с учетом внесенных ранее изменений в модель по данным ГСЗ (деление на блоки).

Модель, созданная на основе данных ГСЗ, была дополнена полученной градиентно-гетерогенной плотностной моделью консолидированной коры и откорректирована в программном модуле GM-SYS. Итоговая модель содержит среднеквадратическую ошибку менее 5 мГл. С учетом точности исходной цифровой модели поля силы тяжести (визуализация модели с шагом изолиний 5 мГл), глубины подбора модели (40 км) и характера аномалий «невязок» (высокочастотные аномалии, коррелирующие с рельефом дна и неоднородностями самой верхней части разреза), результат подбора может быть признан удовлетворительным.

В латеральном отношении плотностная модель земной коры по сейсмическому профилю представляет последовательную смену пяти крупных блоков. В целом средняя плотность горных пород консолидированной коры снижается с запада на восток. Наибольшей плотностью характеризуется самый западный блок, соответствующий северо-восточному борту бассейна Вилькицкого. Следующие два блока относятся к поднятию Менделеева. Их отличительной особенностью является «многослойность» консолидированной коры, проявляющаяся в неоднородном распределении локальных аномалий в вертикальном разрезе, что позволяет выделить три «слоя». В пределах верхнего «слоя» фрагментарно выделяется два подслоя. Западный блок имеет более высокую среднюю плотность верхнего и нижнего «слоев». Далее к северо-востоку выделяется еще один блок с относительно повышенной плотностью – Чукотская впадина. Самый восточный блок, соответствующий Чукотскому плато, характеризуется самой низкоплотной консолидированной корой.

В данной работе была применена методика структурно-плотностного моделирования. Построение плотностной модели по данным ГСЗ и разделение ее на блоки позволило провести предварительную корректировку «стандартной» слоисто-градиентной модели и избежать некоторых ошибок при создании структурно-плотностной модели. Применение

подобного методического подхода в будущем может сократить время создания модели и многовариантность решений при подборе.

Использованная методика позволяет получить не слоистую или слоисто-блоковую модель, как на основании только данных скоростной модели ГСЗ, а градиентно-гетерогенную модель, более адекватно удовлетворяющую принципиальной модели строения литосферы. На основании полученной модели в комплексе с сейсмическими моделями можно сделать некоторые важные геологические выводы.

По структурному рисунку в плотностной модели, общей мощности коры и соотношению верхней и нижней коры поднятие Менделеева отчетливо разделяется на западный и восточный тектонические блоки. Несмотря на относительно высокие значения скоростных и плотностных параметров и малую мощность, разрез поднятия Менделеева соответствует разрезам маломощной континентальной коры шельфовых морей и утоненной континентальной коры подводных хребтов и поднятий. Больше вопросов вызывает бассейн Вилькицкого ввиду маломощной, плотной и высокоскоростной коры, представленной в основном нижним «слоем». Но с учетом большой мощности осадочных отложений его следует отнести к рифтовым структурам. На всем разрезе выделяется верхняя кора, а местами и супракрустальный комплекс. В целом, профиль ГСЗ «Арктика-2012» пересекает различные структуры с континентальной земной корой, не достигая зоны перехода в океаническую.

Литература

1. http://topex.ucsd.edu/marine_grav/mar_grav.html, 2011
2. Красовский С.С. Гравитационное моделирование глубинных структур земной коры и изостазия. Киев: Наукова думка, 1989, С. 248.
3. Деменицкая Р.М. Кора и мантия Земли. Москва: «Недра», 1967, С. 280.
4. Мильштейн Е.Д., Петров Б.В. Развитие методологических основ и технологии геологической интерпретации глубинных геофизических данных на опорных и региональных профилях с созданием специализированной геолого-картографической продукции и переоценкой минерагенического потенциала территорий // Известия ВСЕГЕИ. 2007. – ВСЕГЕИ, 2008. – Т.7. (55). – С. 135–155.
5. Christensen Ni.I., Mooney W.D. Seismic velocity structure and composition of the continental crust: A global view. /J. of Geophys. Res, 1995, Vol. 100, No B7. P. 9761–9788.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРЕХМЕРНОЙ ИНВЕРСИИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ В РАМКАХ СОЗДАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ГОСГЕОЛКАРТЫ-200/2 (НА ПРИМЕРЕ СТРУКТУР ДОНЕЦКОГО СКЛАДЧАТОГО СООРУЖЕНИЯ И ЮЖНО-ДОНБАССКОЙ МОНОКЛИНАЛИ)

Григорьев Е.К.^{1,2}, Красинский Е.М.¹, Кудрявцев И.В.¹

¹Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ФГУП «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский Государственный Университет (СПбГУ), г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail. *evgeniy_grigorev@vsegei.ru*

Геолого-геофизический разрез является обязательной частью опережающей геофизической основы Госгеолкарты-200/2 (ГФО-200), дающей представление о глубинном строении изучаемого района. В рамках данной работы демонстрируется один из возможных технологических приемов, позволяющих получить стартовые модели распределения эффективных петрофизических характеристик. Технология трехмерной инверсии потенциальных полей, реализованная в модуле VOXI (Geosoft) предполагает создание объемных моделей распределения эффективных петрофизических характеристик в пределах заданных ограничений в плане и по глубине.

Особенности применения технологии трехмерной инверсии потенциальных полей в нашем случае рассмотрены на примере района сочленения Ростовского свода Украинского щита и структур Донецко-Мангышлакской складчатой зоны (район к западу от г. Новошахтинск Ростовской области). Изучаемая территория характеризуется трехъярусным геологическим строением – в пределах Ростовского свода докембрийский фундамент, перекрытый отложениями мезозойского чехла, в пределах Миусской моноклинали докембрийский фундамент начинают перекрывать карбонатные отложения, плавно увеличивающие свою мощность соответственно погружению докембрийского фундамента.

Процесс создания геолого-геофизических разрезов показал, что в целом применение технологии трехмерной инверсии потенциальных полей, возможно только с привлечением дополнительных геолого-геофизических ограничений. Плотностная инверсия наиболее достоверно показала себя в пределах Донецкого складчатого сооружения, и оказалась практически неприменимой для моделирования в условиях областей пологозалегающих структур Ростовского свода и Миусской моноклинали. Петромагнитная инверсия оказалась наиболее информативна для выделения сильномагнитных интрузивных образований.

PETROPHYSICAL MODELING OF GEOLOGICAL CONDITIONS OF DONETSK FOLDED AREA AND SOUTH-DONBASS MONOCLINE BY 3D INVERSION OF POTENTIAL FIELDS.

Grigorev E.K.^{1,2}, Krasinsky E.M.¹, Kudryavtsev I.V.¹

¹A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (FSUE «VSEGEI»), Saint Petersburg, Russia,

²Saint Petersburg State University (SPbU), Saint Petersburg, Russia, e-mail. *evgeniy_grigorev@vsegei.ru*

Petrophysical sections, which describes geological conditions of of Donetsk folded area and South-Donbass monocline, is the important part of geophysical foundation project at the Novoshakhtinskaya area (L-37-III,IV). 3D inversion of potential fields (Geosoft VOXI) enables to observe depth and petrophysical parameters of anomaly sources. Also, application this procedure makes possibility to model petrophysical sections, in case absence seismic data at the observing area

Геолого-геофизический разрез является обязательной частью опережающей геофизической основы Госгеолкарты-200/2 (ГФО-200), дающей представление о глубинном строении изучаемого района. Глубинность моделей распределения эффективных петрофизических характеристик (плотности и магнитной восприимчивости), составляющих разрез ГФО-200, как правило, не превышает 10–15 км, что определяется ограничением длины линии разреза, не позволяющим корректно моделировать аномальный эффект от объектов, находящихся на больших глубинах. С другой стороны, при моделировании потенциальных полей в указанном интервале глубин могут быть максимально использованы дополнительные геолого-геофизические данные, значительно сужающие неопределенность решения обратной задачи. К таким данным относятся, прежде всего, материалы, полученные при бурении скважин, а также при средне- и крупномасштабных сейсморазведочных работах, ориентированных на изучение верхней части разреза. Вместе с тем, построение разреза связано с необходимостью выбора стартовых моделей на глубинах и/или интервалах разреза не обеспеченных априорными данными, что в случае значительной сложности геологического строения изучаемой площади, представляет собой непростую задачу. Корректность полученных в результате последовательного подбора конечных моделей определяется совпадением расчетных кривых потенциальных полей с кривыми, полученными при интерполяции исходных данных на линию разреза. Результирующий геолого-геофизический разрез, включающий модели, проверенные решением прямой задачи и учитывающие ограничения, накладываемые априорными данными, может существенно уточнить представления о глубинном строении района, необходимые при создании Госгеолкарты-200/2.

В рамках данной работы демонстрируется один из возможных технологических приемов, позволяющих получить стартовые модели распределения эффективных петрофизических характеристик. Технология трехмерной инверсии потенциальных полей, реализованная в модуле VOXI (Geosoft) предполагает создание объемных моделей распределения эффективных петрофизических характеристик в пределах заданных ограничений в плане и по глубине. Исходное поле, задаваемое либо по регулярной сети, либо в точках наблюдений моделируется при помощи набора элементарных призм, имеющих квадратное сечение в плане, задаваемое в соответствии с плотностью сети наблюдений. При этом могут быть использованы данные в точках наблюдений, содержащие информацию, в том числе о высоте датчика, а также цифровая модель рельефа местности. Учет высоты для магнитометрических данных позволяет повысить достоверность получаемой модели эффективной магнитной восприимчивости. Кроме того, существенным преимуществом указанного подхода является возможность использования объемных моделей при интерпретации исходных данных в плане, что обеспечивает согласованность между результирующим геолого-геофизическим разрезом и схемой предварительной комплексной интерпретации.

Особенности применения технологии трехмерной инверсии потенциальных полей в нашем случае рассмотрены на примере района сочленения Ростовского свода Украинского щита и структур Донецко-Мангышлакской складчатой зоны (район к западу от г. Новошахтинск Ростовской области). Между указанными крупными региональными тектоническими единицами в рассматриваемом районе выделяется также Южно-Донбасская (Миусская) складчато-блоковая моноклираль.

Изучаемая территория характеризуется трехъярусным геологическим строением – в пределах Ростовского свода докембрийский фундамент, перекрытый отложениями мезозойского чехла, залегает на небольших глубинах (не более 1 км). К северу, на территории Миусской моноклинали фундамент начинает испытывать погружение до 4 километров. На докембрийском фундаменте локализируются полого залегающие отложения каменноуголь-

ного возраста, перекрытые мезозойским чехлом. Мощность каменноугольных отложений плавно увеличивается соответственно погружению фундаменту от 0 до 2–3 километров. На границе Миусской моноклинали и Донецкого складчатого сооружения докембрийский фундамент испытывает резкое погружение до 20 км, мощность отложений соответственно увеличивается, мезозойский чехол практически исчезает. Среди интрузивных образований известных в данном районе присутствуют комплексы в возрастном диапазоне от протерозоя до юры, различающиеся по петрофизическим свойствам.

В связи с достаточно большим разнообразием вещественного состава пород кристаллического фундамента, они отличаются довольно большим разбросом значений петрофизических характеристик и оказывают значительное влияние на характер аномалий потенциальных полей при небольших глубинах залегания кровли фундамента. В пределах Миусской моноклинали и Донецкого складчатого сооружения влияние плотностных неоднородностей внутри фундамента ослабляется за счет погружения его кровли, а также в связи со схожестью его плотностных характеристик с палеозойскими карбонатными породами, его перекрывающими. Необходимо отметить, что Персиановский разлом, отделяющий зону линейных складок Донбасса от зоны блоковых структур, уверенно выделяется по картам аномального гравитационного поля и его трансформант.

Расчет объемных моделей распределения эффективной магнитной восприимчивости (петромагнитной модели) и эффективной плотности (петроплотностной модели) производился с учетом следующих параметров:

- расчет объёмных моделей производился с размером ячейки в плане 500x500 метров, исходные магнитометрические и гравиметрические данные были представлены матрицами с ячейкой аналогичного размера

- в качестве верхнего ограничения моделей служила поверхность рельефа, представленная его цифровой моделью с ячейкой 250 × 250 метров

- нижнее ограничение моделей было выбрано путем оценки глубин источников по радиально осредненному энергетическому спектру (Geosoft Oasis Montaj) – максимальная глубина магнитоактивных источников составляет 7 км, гравиактивных – 8 км

- при расчете петромагнитной модели использовались данные по средней высоте полета носителя над уровнем рельефа и параметры полного вектора магнитного поля Земли для данного района (склонение, наклонение)

Исходными для создания геолого-геофизических разрезов явились материалы аэромагнитных съемок масштаба 1 : 50 000 и 1 : 25 000, а также материалы наземных гравиметрических съемок масштаба 1 : 200 000 и 1 : 50 000.

Линии геолого-геофизических разрезов были выбраны вкрест простирания основных геологических структур, в субмеридиональном направлении. Положение линий геолого-геофизических разрезов представлено на рисунке 1.

По линиям геолого-геофизических разрезов А1-А2 и Б1-Б2 в пределах Ростовского свода и Миусской моноклинали сравнение результатов плотностной инверсии с имеющимися сейсмическими данными и материалами скважин показало принципиально неверную рисовку распределения плотностных характеристик в пределах моноклинали. Отдельные аномалии гравитационного поля, интерпретируемые наличием сбросо/взбросовых разрывных нарушений в пределах моноклинали, в картине плотностной инверсии представляются отдельными «интрузивными» блоками с резко избыточной, либо недостаточной эффективной плотностью.

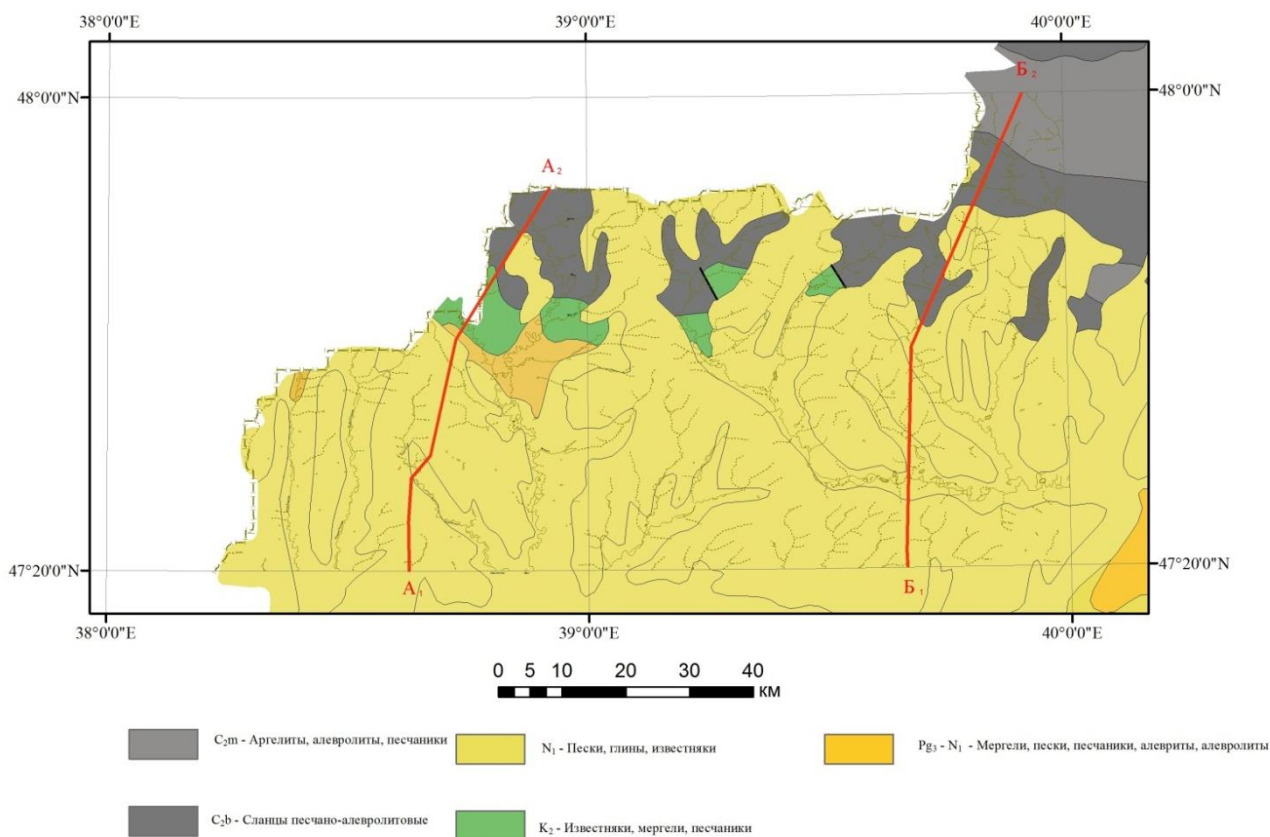


Рис. 1. Фрагмент геологической карты Новошахтинской площади с нанесенным положением линий геолого-геофизических разрезов.

В пределах Донецкого складчатого сооружения результаты плотностной инверсии представляются более достоверными. По линии геолого-геофизического разреза Б1-Б2, размер и форма полученных плотностных неоднородностей локализуемых в пределах карбонатной толщи складчатого сооружения в целом согласуются с положением синклинальных складок, локализованных наземной геологической съемкой и заверенных бурением в верхней части разреза.

Аналогичные плотностные неоднородности по данным инверсии в пределах Донецкой складчатой системы локализованы по линии А1-А2. Выделение плотностных блоков в рамках полученных распределений, в целом, согласуется с общими геологическим представлении о строении Донецкого складчатого сооружения.

Использование инверсии магнитного поля при создании геолого-геофизического разреза также имеет ряд специфических особенностей. Исходя из известных физических свойств пород структур изучаемой области, существенный вклад в аномальное магнитное поле могут вносить только породы докембрийского фундамента и отдельных интрузивных образований. Таким образом, петромагнитное моделирование, в пределах изучаемой площади, становится актуально только для структур Ростовского свода и Миусской моноклинали. В пределах Донецкого складчатого сооружения докембрийский фундамент погружается на глубину более 20 км, и не вносит значимого аномального эффекта в рамках граничных условий рассматриваемой модели.

По линии разреза А1-А2, в пределах Ростовского свода по данным петромагнитной инверсии локализуются резко магнитные блоки на границе докембрийского фундамента и мезозойского чехла. Положение и форма полученных аномалий в целом согласуется с положением железистых кварцитов, заверенным данными бурения (скважина 6306, 6243).

Блоки с аналогичной морфологией и интенсивностью локализующиеся по данным инверсии, на юг по линии разреза, в пределах Миусской моноклинали.

В процессе создания геолого-геофизической модели были сделаны выводы о применимости технологии трехмерной инверсии в пределах изучаемой площади:

Плотностная инверсия является наиболее информативной в пределах Донецкого складчатого сооружения, в пределах которой форма получившегося распределения может являться опорой для выделения блоков различной плотности. Для моделирования в условия областей пологозалегающих структур Ростовского свода и Миусской моноклинали значения и формы распределения плотностной инверсии следует интерпретировать исключительно с позиций имеющейся сейсмической информации – границы и геометрия блоков должны соответствовать выделенным сейсмическим границам, а срез объемного распределения можно использовать как дополнительный источник информации о распределении плотностей блоков.

Магнитная инверсия оказалась наиболее информативна для выделения сильномагнитных образований в приповерхностных областях разреза.

Для более корректного использования петромагнитной инверсии в целях разделения докембрийского фундамента на блоки с различными магнитными свойствами, следует ограничить объем инверсии подошвой немагнитной карбонатной толщи.

Литература

1. Левин Ф.Д., Агеев С.Н. и др, «Отчёт о результатах работ по объекту «Комплексные аэрогеофизические исследования (аэрогравиметрия, аэромагниторазведка) масштаба 1:50 000 – 1:100 000 в пределах листов М-37-XXII-XXIV, XXIX, XXX, XXXIV-XXXVI, М-38-ХІХ, XXV-XXVII, XXXI-XXXIV, L-37-III-VI, IX-XII, L-38-I-IV, VII-X, XIII-XV, XX-XXII», ФГУНПП «Аэрогеофизика», Москва, 2011
2. Касымова Г.Н., Безукладнов В.А., «Отчёт о проведении аэромагнитной съёмки м-ба 1 : 25 000 на Донском объекте в 1988–1991 годах», Ленинградская геофизическая экспедиция ПГО «Севзапгеология», Ленинград, 1991
3. Маева Е.А., Орлова Р.П., 1969 «Отчет о работах Восточно-Донбасской аэромагнитной партии за 1969год (изучение структуры поверхности кристаллического фундамента восточной части Донбасса)»
4. Зайцев А.В., Терентенко Г.А. и др. «Отчёт по глубинному геолого-геофизическому изучению Восточного Приазовья и зоны его сочленения с Донбасом.»
5. Ульшина В.Н., Терентенко Н.А., Лихачёв В.А. и др. «Отчёт о результатах геологического доизучения площадей масштаба 1: 50 000 южной части Восточного Донбасса»
6. Драгунов О.Д. и др. «Информационный отчёт о результатах незавершённых работ по объекту "Поисковые работы на нефть и газ в пределах Анастасиевского лицензионного участка"
7. Калинин Н.С., Скоробогач Ю.А. «Геофизические работы в Матвеево-Курганском районе. Отчёт геофизической партии №1 за 1985–1989 гг.»
8. Калинин Н.С. «Геофизические работы с целью выявления нефтегазоперспективных объектов в каменноугольных отложениях (Восточный Донбасс) и подготовка объектов в каменноугольных и мезозойских отложениях (южная часть Восточного Донбасса) в Неклиновском и Родионово-Несветайском районах»
9. Калинин Н.С. «Отчёт о комплексных геофизических работах в пределах северного склона Ростовского выступа»

СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ПРИВЯЗКА ОПОРНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТОВ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Дараган-Суцкова Л.А.¹, Гринько Л.Р.¹, Петровская Н.А.², Дараган-Суцков Ю.И.³

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ФГУП «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: *ldaragan@vsegei.ru*

² ОАО «Дальморнефтегеофизика», г. Южно-Сахалинск, Россия, e-mail: *petnat@dmng.ru*

³ Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга (ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И. С Грамберга»), г. Санкт-Петербург, Россия, *ydarag@vniio.nw.ru*

Современные достижения в геолого-геофизической изученности области Центрально-Арктических поднятий и Восточно-Арктического шельфа выявил основные проблемы в стратификации осадочного чехла. Стратиграфическая привязка основных отражающих горизонтов в пределах глубоководной части СЛО остается достаточно неопределенной, ввиду отсутствия геологических реперов. Для различных регионов Арктики в статье даны существующие варианты корреляции сеймостратиграфических подразделений и их возрастная привязка. Для примеров выбраны: приполюсная часть хр. Ломоносова и зоны его сочленения с котловинами Амундсена и Макарова, профиль МОВ ОГТ А7, расположенный в зоне сочленения хр. Ломоносова с российским шельфом, Северо-Чукотский прогиб.

STRATIGRAPHIC ASSIGNMENT OF THE KEY SEISMIC HORIZONS ON THE NORTH-EAST PART OF RUSSIAN ARCTIC

Daragan-Sushchova L.A.¹, Grinko L.R.¹, Petrovskaya N.A.², Daragan-Sushchov Yu.I.³

¹ A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: *ldaragan@vsegei.ru*

² "Dalmorneftegeophysica" JSC, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, e-mail: *petnat@dmng.ru*

⁴ FSUE VNIIOkeanologia named after I.S. Gramberg, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: *ydarag@vniio.nw.ru*

Modern geological and geophysical studies of Central Arctic uplifts area and East-Arctic Shelf has revealed the basic problems in stratigraphic subdivision of sedimentary cover. Basic approach for subdivision of Arctic Ocean sedimentary cover is based on the wave field's characteristics and tracing of regional seismic horizons. Their age identification still depends on general geological ideas. Different correlative models of seismic-stratigraphic units and their ages are given in this work for different Arctic regions. The following regions were selected for analyses: cis-polar part of the Lomonosov Ridge and zone of its connection with the Amundsen and the Makarov basins, profile CDP A7, located in the transition zone of the Lomonosov Ridge, the Russian Shelf, and the North-Chukchi shelf trough.

Море Лаптевых

Работы по сбору и систематизации сеймостратиграфических моделей Хатангского залива, Притаймырско-Оленекской прибрежной зоны, дельты реки Лены, залива Буор-Хая, Центральной части моря Лаптевых, хребта Ломоносова и глубоководных впадин Нансена и Амундсена, а также экспедиции 2011–2012 г. на Новосибирские острова позволили обосновать стратиграфическую привязку опорных сейсмических горизонтов (ОГ) на Лаптево-морском шельфе.

Профиль МОВ ОГТ А7, расположенный в зоне сочленения хр. Ломоносова с российским шельфом, демонстрирует корреляционные возможности сеймостратиграфии. Он

берет начало практически от о. Котельный Новосибирской системы грабен и горстов, КССК и ОГ осадочного чехла прослежены непрерывно почти на 800 км по всему шельфу и далее на север через континентальный склон вдоль гребневой и частично склоновой частей хр. Ломоносова (рис. 1).

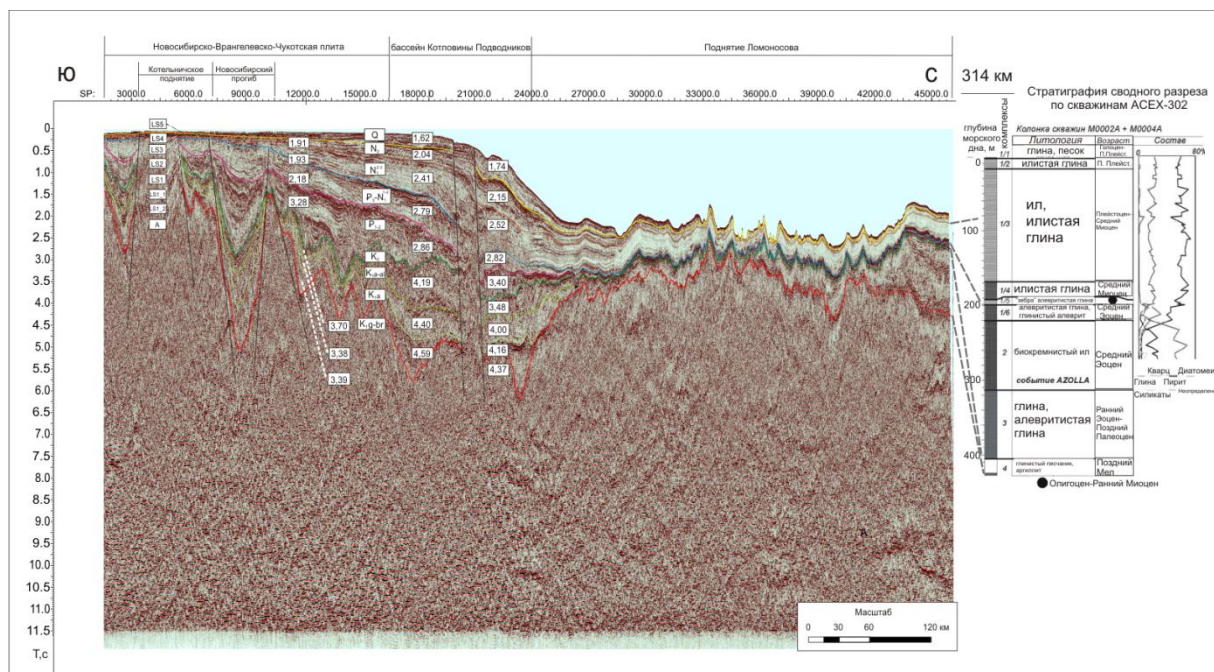


Рис. 1. Временной разрез по профилю А-7 с привязкой к скв. АСЕХ-302(материалы МАГЭ, интерпретация авторов).

В разрезе осадочного чехла выделено 6 сеймостратиграфических комплексов, структуру которых определяют главные региональные границы, соответствующие региональным стратиграфическим несогласиям. Наиболее яркими являются 2 сейсмических горизонта: акустический фундамент и региональное несогласие LS_2 [3].

Возрастная привязка выделенных сейсмических горизонтов на настоящем этапе исследований может осуществляться лишь по косвенным данным, поскольку ни одной скважины в зоне сочленения хр. Ломоносова с шельфом нет. Невозможно привязать КССК шельфа и к определенным толщам чехла Новосибирских островов – здесь не было смены мелководных осадков глубоководными, и толщи кайнозойского чехла островов, как правило, имеют мощность ниже разрешающей возможности сейморазведки. Что касается приполюсной части хр. Ломоносова, здесь определяющую роль в стратификации кайнозойских отложений сыграло наличие глубоководных скважин АСЕХ-302 (Arctic Coring Expedition)[4].

Информация, полученная с помощью этой скважины, позволяет предположить, что возраст регионального несогласия LS_2 – поздний эоцен – ранний миоцен. Именно в это время, т.е. по крайней мере, в течение всего олигоцена, на хр. Ломоносова осадки не накапливались, а в средне миоцене в море Бофорта происходил региональный перерыв в осадконакоплении (5–6-я аномалии Ламонтской шкалы). Здесь в скважинах фиксируется не только размыв, но и угловое несогласие [2]. Лишь в миоцене (особенно с плиоцена) появляются явный шельф, континентальный склон и собственно глубоководная впадина

Евразийского бассейна СЛО. Это определенно следует из рисунка волнового поля и соотношения мощностей верхнего сейсмокомплекса на пр. А7 [1].

Говоря о возрасте фундамента, следует отметить, что более точно определить его возраст на южном конце профиля позволили данные экспедиций ВСЕГЕИ на Новосибирских островах 2011–2012 гг. Плитный комплекс осадочного чехла, который прослежен сейсмическими методами на шельфе, начинается с раннего мела (апт-альб).

Восточно-Сибирское, Чукотское моря и Северный Ледовитый океан.

Разными авторами по-разному определяется стратиграфическая полнота разреза на шельфе. Примером этому является сопоставление сейсмических разрезов Северо-Чукотского прогиба. Здесь на двух сближенных профилях 5-AP и ES 10Z23_m с прекрасно стратифицированным разрезом разными исследователями дается различная корреляция ОГ и возрастная привязка КССК. Это происходит несмотря на относительно близко расположенные глубокие скважины, пробуренные в хорошо изученной американской части Чукотского моря. Для решения проблем корреляции и возрастной привязки ОГ мы в своей работе привязали волновое поле американского сейсмического пр. D84-33, любезно переданного нашей организации французской фирмой «Total» S.A. к скважинам Бургер1 и Попкорн1. Пр. D84-33 находится в 3,7 км от скв. Бургер1 и 0,5 км от скв. Попкорн1. В верхней части разреза на уровне 0,3 с в районе скв. Бургер1 выделяется интенсивная 4–5-фазная волна, связанная с аптскими отложениями нижнего мела.

Подобным образом мы передали корреляцию ОГ JU от кровли верхнеэлсмирского комплекса. В районе скв. Бургер1 это интенсивная «шероховатая» волна, наблюдаемая под слоистой толщей на 1,7–2,0 с, явно связанная с эрозионной поверхностью, а в скв. Попкорн-1 – на 1,3–1,4 с.

Дополнительную информацию для стратификации и корреляции ОГ дают кинематические характеристики разреза. Интервальные скорости по американским скважинам не опубликованы. Мы владеем информацией лишь о некоторых в районе скважин, полученных ДМНГ расчетным путём.

Стратиграфическая привязка с американского профиля D84-33 была передана на ближайший композитный профиль, в российском секторе Чукотского моря, который находится в 32 км от пр. D84-33. На композитном профиле непрерывно прослежены опорные горизонты по всему осадочному чехлу, начиная с элсмирского комплекса. Присутствие его в Северо-Чукотском прогибе не вызывает сомнения, что подтверждают динамические и кинематические характеристики осадочного чехла в целом (непрерывное прослеживание всех комплексов с их характерными особенностями, высокие пластовые скорости двух нижних комплексов. Кроме того, о каледонском возрасте фундамента говорит и динамика ОГ от фундамента. Она выглядит как интенсивное 3–4-фазное опорное отражение, характерное для древнего плотного метоморфизованного фундамента, а не относительно молодого киммерийского, как предполагают коллеги из Севморгео.

Далее, положение опорных сейсмических горизонтов были переданы на профиль Arc12-01 (рис. 2).

К сожалению, он по объективным причинам был отработан по худшей методике (с короткой сейсмической косой), что сказалось на качестве его волнового поля. Тем не менее, два верхних ОГ прослежены достаточно надёжно, а корреляция нижних не противоречит имеющемуся волновому полю и скоростным характеристикам по профилям ES10z23m, ES10z22m, ES10z02_1, 5-AP, Arc12-03 и зондам КМПВ, полученным на профиле Arc12-01. В точке пересечения привязка была передана на пр. Arc12-03

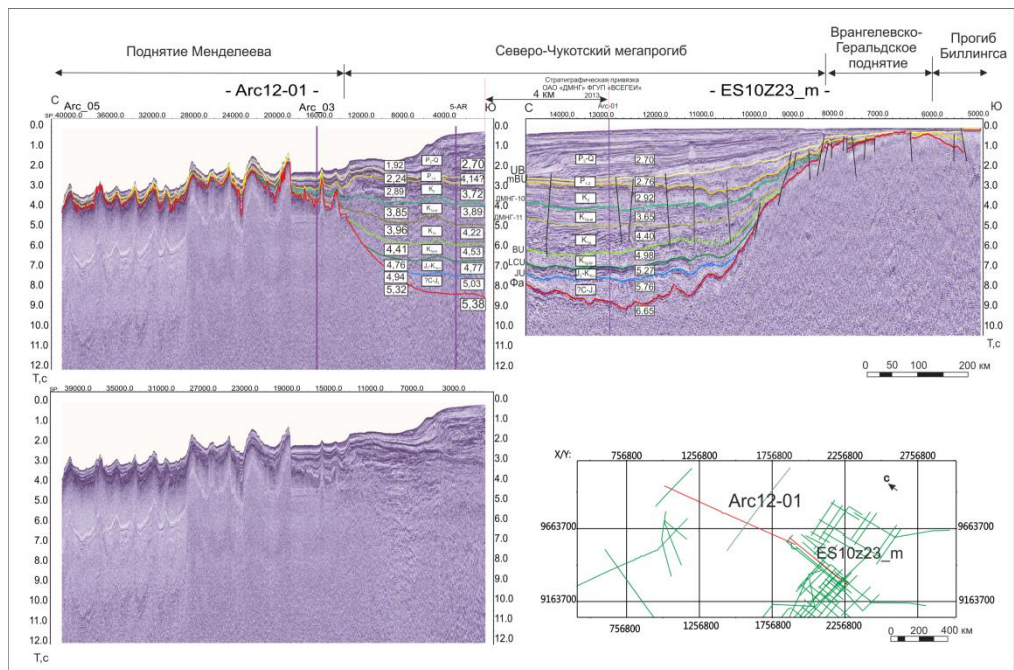


Рис. 2. Композитный профиль Arc12-01 (материалы ОАО «Севморгео») – ES10z23_m (материалы ОАО «ДМНГ»). Интерпретация авторов.

Получается, прогибы Вилькицкого (западная часть пр Arc12-03) и Северо-Чукотского (северные части профилей 5-AP, ES10z23m, ES10z22m) имеют сходную структуру волновых полей, динамических (характер, количество комплексов) и кинематических (значение пластовых скоростей) характеристик. На основании этого разумно предположить, что прогиб Вилькицкого – это не самостоятельная структура, а прибортовая часть на севере Северо-Чукотского прогиба, которая при продвижении на север, вливается в восточную область котловины Подводников. Можно предположить, что граница разновозрастного фундамента проходит по котловине Подводников в районе отрога Геофизиков [1].

Проделанная работа убеждает в малой продуктивности использования общих геологических соображений для стратиграфической привязки опорных сейсмических горизонтов. Общие рассуждения, как правило, базируются на парадигмах, которые нельзя ни доказать, ни опровергнуть. Конкретные исследования по региону должны опираться на кропотливую процедуру непрерывного прослеживания ОГ и КССК и их динамических и кинематических характеристик по латерали и разрезу.

Литература

1. Дараган-Сушова Л.А., Соболев Н.Н., Петров Е.О., Гринько Л.Р., Петровская Н.А., Дараган-Сушов Ю.И. К обоснованию стратиграфической привязки опорных сейсмических горизонтов на восточно-арктическом шельфе и в области Центрально-Арктических поднятий // Региональная геология и металлогения. 2014. № 58. С. 5–21.
2. Enachescu M.E. Structural Setting and Validation of Direct Hydrocarbon Indicators for Amaligak Oil Field, Canadian Beaufort Sea // The Amer. Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1990, vol. 74, № 1, p. 41–59.
3. Franke D., Hinz K., Oncken O. The Laptev Sea Rift // Mar. Petrol. Geol. 2001. № 18. –P. 1083–1127.
4. Сайт сети Интернет <http://www.eso.ecord.org/expeditions/302/302.php>.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ В РАМКАХ ЗАДАЧ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

Гулин В.Д.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (Горный университет),
г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: *gulin_vd@mail.ru*

Исследования глубинного строения земной коры в последние десятилетия активно проводятся в рамках государственных программ создания опорных геофизических профилей (геотравверсов) и Государственного геологического картирования. В работе рассматриваются основные методические приемы изучения строения наиболее значимых структурно-вещественных подразделений (СВП) земной коры (блоки, межблоковые зоны, осадочные бассейны и рифтогенные структуры, разрывные нарушения и магматические комплексы) в складчатых областях, на примере листа Госгеолкарты-1000 N-45. Кроме того, по результатам моделирования, приводится набор геолого-геофизических параметров СВП земной коры.

«METHODODOLOGICAL APPROACH TO THE INTERPRETATION OF GEOPHYSICAL POTENTIAL FIELDS WITHIN THE OBJECTIVES OF GEOLOGICAL MAPPING FOLDED AREAS»

Gulin V.D.

National Mineral Resources University (University of Mines), Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: *gulin_vd@mail.ru*

Research of the deep crustal structure is conducted actively in recent decades under government programs for the creation of geophysical profiles (geotraverses) and state geological mapping. The paper is considered basic methodological techniques studying the structure of the most important structural and material units of the earth crust (blocks, interblock zones, sedimentary basins and rift structures, faults and igneous complexes) in the folded areas, on the example of State Geological Map N-45 scale 1 : 1 000 000. Moreover, the paper is given set of geological and geophysical parameters of structural and material units of the earth crust, according to the results of simulation.

Введение

Одной из наиболее сложных задач исследований глубинного строения земной коры в рамках государственных программ создания опорных геофизических профилей (геотравверсов) и Государственного геологического картирования является моделирование геолого-структурного каркаса площади исследований. В настоящее время, под руководством научно-методического отдела **глубинных геофизических исследований ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского**, разработана в значительной степени унифицированная методика проведения полевых геофизических работ, обработки и интерпретации геофизических данных. Однако, в составе методической схемы геологической интерпретации комплекса геолого-геофизических данных вдоль геотравверсов имеется большое многообразие подходов к определению набора параметров исследования геологической среды. В связи с этим, представляется необходимым выделить наиболее информативные методические приёмы обработки и интерпретации геолого-геофизических данных для изучения параметров основных структурно-вещественных подразделений земной коры.

Моделирование геолого-структурного каркаса

Анализ опыта работ по выполнению геолого-геофизического моделирования в полой зоне геотраверсов свидетельствует о возможности повышения достоверности моделирования наиболее значимых структурно-вещественных параметров изучаемой геологической среды с использованием набора унифицированных приемов и условных обозначений.

В рамках этого подхода первоочередными элементами моделирования рассматриваются блоки (палеоплиты с корой континентального типа) и разделяющие их межблоковые зоны, сформированные в геодинамических обстановках растяжения сжатия и сдвига. Блоки в значительной мере уверенно выделяются в геофизических полях как области стационарности расчетных геофизических параметров (сейсмических, геоэлектрических, гравиметрических, магнитометрических, геотермических). [1] Блоки могут отвечать континентальным частям древних литосферных палеоплит или их автономным сегментам, смещенных относительно основной части блоков. Межблоковые зоны, проявляющиеся в геофизических полях как градиентные зоны или зоны радикального изменения инфраструктуры геофизического поля и соответствующие глубинным тектоническим швам, представляют собой структуры растяжения (рифты), сжатия (сутурные зоны коллизионных орогенов) или региональные сдвиги. [2]

Важными элементами моделирования являются осадочные бассейны и рифтогенные структуры, локализованные в базальной части осадочных бассейнов. Рифтогенные структуры, залегающие в основании древних (Восточно-Европейская платформа) и молодых (Западно-Сибирская геосинеклиза) осадочных бассейнов хорошо изучены и достаточно уверенно выделяются по данным геолого-геофизического моделирования. Существенно более сложной задачей является изучение впадин в пределах складчатых областей. Так, на территории листа Госгеолкарты-1000 N-45 выделяются Кузнецкий, Минусинский (Северо-Минусинский и Южно-Минусинский) и Кулундинский осадочные бассейны средне- и верхне- палеозойского возраста. Положение кровли эпикаледонского консолидированного фундамента достаточно уверенно устанавливается по результатам решения обратных задач для магнитного и гравитационного поля. Промежуточное положение в разрезах этих бассейнов, предположительно, занимают средне- девонские рифтогенные грабены, заложение которых обуславливается тыловодужным растяжением активной окраины Сибирской палеоплиты. Структуры этого типа, широкое развитие которых предполагается нами в основании осадочных бассейнов, выведены на дневную поверхность в зонах развития региональных сдвиговых дислокаций, например, Кузнецкого Алатау.

Принципиальное значение для изучения тектонической истории региона и оценки глубинной морфологии блоков и межблоковых зон являются разрывные нарушения. Чаще всего они подразделяются на 2 уровня (ранга): Разрывные дислокации I ранга, как правило, играют роль тектонических границ блоков (древних литосферных плит), хотя в ряде структур имеют секущий по отношению к блокам характер. В зависимости от характера взаимодействия блоков разрывные дислокации I ранга классифицируются как региональные сдвиги, надвиги или структуры смешанного сдвиго-надвигового морфокинематического типа. К разрывным дислокациям II ранга относятся оперяющие дислокации региональных сдвигов или надвиговые дислокации складчатых поясов. Среднедевонские рифтогенные структуры также относятся нами ко II-му рангу дислокаций и, в обстановках региональных сдвигов часто играют роль оперяющих дислокаций.

Весьма значимым элементом моделирования являются магматические комплексы и их приконтактные ареалы. На территории листа N-45 ГГК-1000 наиболее контрастными объектами для объемного моделирования являются интрузивные гранитоидные массивы

кембрийского и средне- верхне- палеозойского возрастов. Параметры морфологии этих геологических объектов на разных глубинных срезах оцениваются по результатам спектрального разложения гравитационного и магнитного полей. При моделировании морфологии интрузивных массивов наиболее информативны разночастотные составляющие гравитационного поля; при изучении приконтактных геологических тел, используются составляющие магнитного поля.

Заключение

Применение различных методических подходов обработки и интерпретации геолого-геофизических данных вдоль опорных геофизических профилей (геотравверсов) дает возможность оценить параметры основных структурно-вещественных подразделений земной коры в латеральном и радиальном измерении; получить детальное представление о глубинном строении земной коры исследуемой территории.

В результате выполненных исследований в рамках ГГК-1000 по листу N-45 было выявлено: глубинное строение АССО сформировано большим числом блоков с древней корой континентального типа – палеоплит и сутурных межблоковых зон.

Структуры региональных сдвигов развиваются вдоль границ континентальных блоков и имеют касательный характер сочленения с характерными зонами развития оперяющих дислокаций. С развитием региональных сдвигов связывается погружение зон локального растяжения и заложение трогов, выполненных девонскими вулканитами.

Литература

1. Егоров А.С. Глубинное строение и геодинамика литосферы Северной Евразии (по результатам геолого-геофизического моделирования вдоль геотравверсов России). СПб, Изд-во ВСЕГЕИ, 2004, 200 с.
2. Egorov A.S., Gulin V.D. Geological and Geophysical Deep Structure Researches of Northern Eurasia in the Zone-block Model of the Earth's Crust. 6th Saint Petersburg International Conference and Exhibition, EAGE, 2014.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗОН РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА УЧАСТКЕ МОРСКОЙ НАБЕРЕЖНОЙ г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Данильев С.М., Данильева Н.А.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (Горный университет),
г. Санкт-Петербург, Россия

Данная статья посвящена выявлению новых геодинамически активных областей в верхней части геологического разреза по геофизическим данным, которые могут существенно оказывать влияние на эксплуатационную надежность вновь возводимых и уже эксплуатирующихся объектов гражданского назначения.

В настоящее время намечается тенденция к образованию новых зон разрывных нарушений на территории Санкт-Петербурга, что отмечается в многочисленных исследованиях территории города различными геолого-геофизическими методами [отчеты по бабушкина и морской].

PREDICTION ZONES OF BREAKING VIOLATION ON THE BASIS OF GEOPHYSICAL INFORMATION ON AREA MORSKAYA EMBANKMENT OF SAINT-PETERSBURG

Daniliev S. M., Danilieva N.A.

National Mineral Resources University (University of Mines), Saint-Petersburg, Russia

This paper is dedicated to identification new geodynamical active areas in the upper part of geological section on the geophysical data, which can significantly affect the operational reliability of new constructed and already exploited civilian objects.

At this time there is a tendency to formation a new zones of faulting on the territory of Saint-Petersburg, as noted in numerous studies of the territory town of different geological and geophysical methods.

Выбор участка проведения комплексных экспериментальных геофизических работ обоснован следующими факторами:

1) анализом банка информационных данных, включающего сведения об аварийности на подземных коммуникациях водоканала, сведения о геологическом строении, информацию о предполагаемых геодинамически активных зонах разломов, данные «экспресс-методов» и др.

2) анализом техногенной активности предполагаемого участка работ, с целью установления интенсивности техногенных помех

3) анализом перспектив внедрения в комплекс инженерно-геофизических методов требующих больших территорий для расстановок профильных линий наблюдений.

Целевое назначение проведения экспериментальных комплексных инженерно-геофизических исследований заключается в апробации комплекса геофизических методов для изучения верхней части геологического разреза, картирования тектонических нарушений в условиях сильных техногенных помех мегаполиса.

В рамках комплексных инженерно-геофизических методов исследования на территории выбранного участка Василеостровского района Санкт-Петербурга проведены следующие работы: электроразведочные исследования методом сопротивления в модификации

вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), а также сейсморазведочные исследования методом преломленных волн (МПВ) в модификации сейсмотомографии (рис. 1).



Рис. 1. Карта расположения линии профиля. Общая протяженность – 308 м. Пикетаж начинался с 200 м.

В результате проведенных комплексных инженерно-геофизических исследований в пределах выбранного участка Василеостровского района Санкт-Петербурга по профилю наблюдения «Морская набережная», общей протяженностью 308 м, можно сделать следующие выводы:

1. Электроразведка методом сопротивлений в модификации вертикального электрического зондирования подтвердила свои возможности при нахождении геоэлектрических границ пластов горных пород и техногенных насыпей в черте города Санкт-Петербурга, оценивать их влажность и глинистость, также на геоэлектрических разрезах проявились неоднородности, обусловленные несогласием в распределении удельного электрического сопротивления по профилям наблюдений. Следует отметить, что по результатам работ методом ВЭЗ выявлены условия обеспечивающие получения ожидаемого положительного результата в методе сопротивлений: отсутствие в верхней части разреза значительных по

размерам техногенных объектов (фундаментов зданий, подземных коммуникаций, труб кабелей и т.д.), а также при наличии условий, обеспечивающих качественное заземление электродов (рис. 2.) [2];

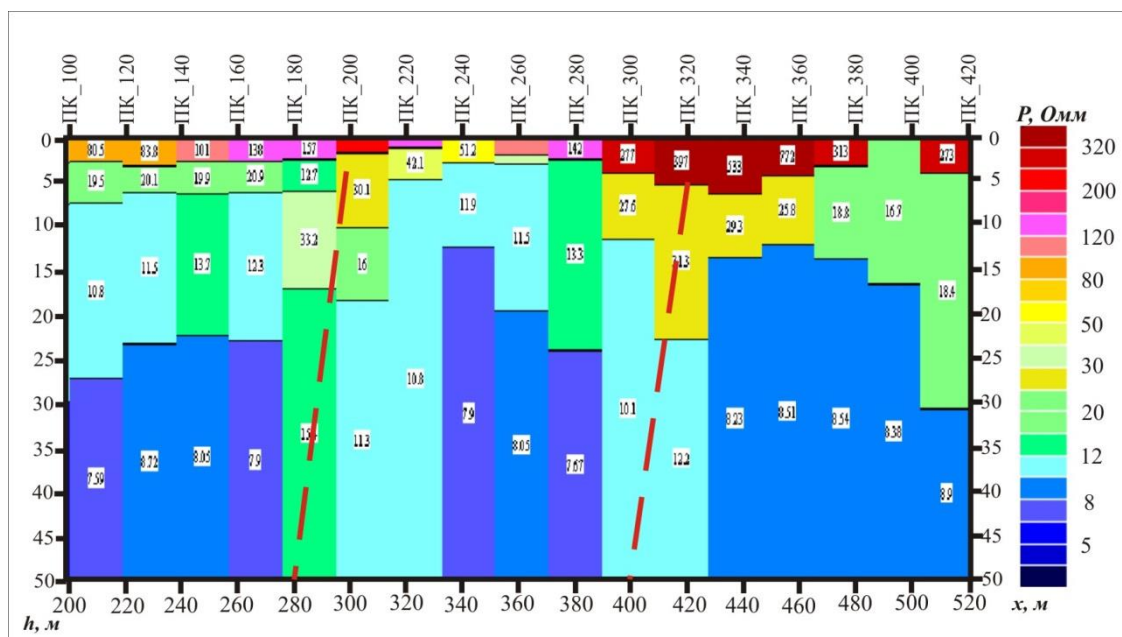


Рис. 2. Геоэлектрический разрез по профилю с выполненной интерпретацией.

Следует отметить, что при проведении измерений выявлены следующие ограничения в использовании метода ВЭЗ в условиях активной жизни мегаполиса:

1) при наличии мощных техногенных геоэлектрических помех (фундаменты зданий, подземные кабели, трубы и т.д.) существенно снижается эффективность использования метода, резко снижается глубинность исследований.

2) Необходимость большого однородного пространства при проведении исследований для соблюдения геометрических параметров электроразведочной установки, а также обеспечения исследований требуемой глубинности.

3) Таким образом, эффективная глубина исследований методом ВЭЗ в условия города едва может превысить 50 метров.

2. Сейсморазведочные исследования методом преломленных волн (МПВ) в модификации сейсмотомографии на данном участке представляют наиболее информативные результаты даже при условии наличия мощных техногенных помех. По результатам сейсмотомографии получена скоростная модель геологического разреза, разделенная по скоростным горизонтам. На сейсмотомографическом разрезе отчетливо прослеживаются скоростные неоднородности в пределах изучаемого разреза, с проявление скоростных несогласий, которые могут быть обусловлены геодинамически активными зонами разломов (рис. 3) [1].

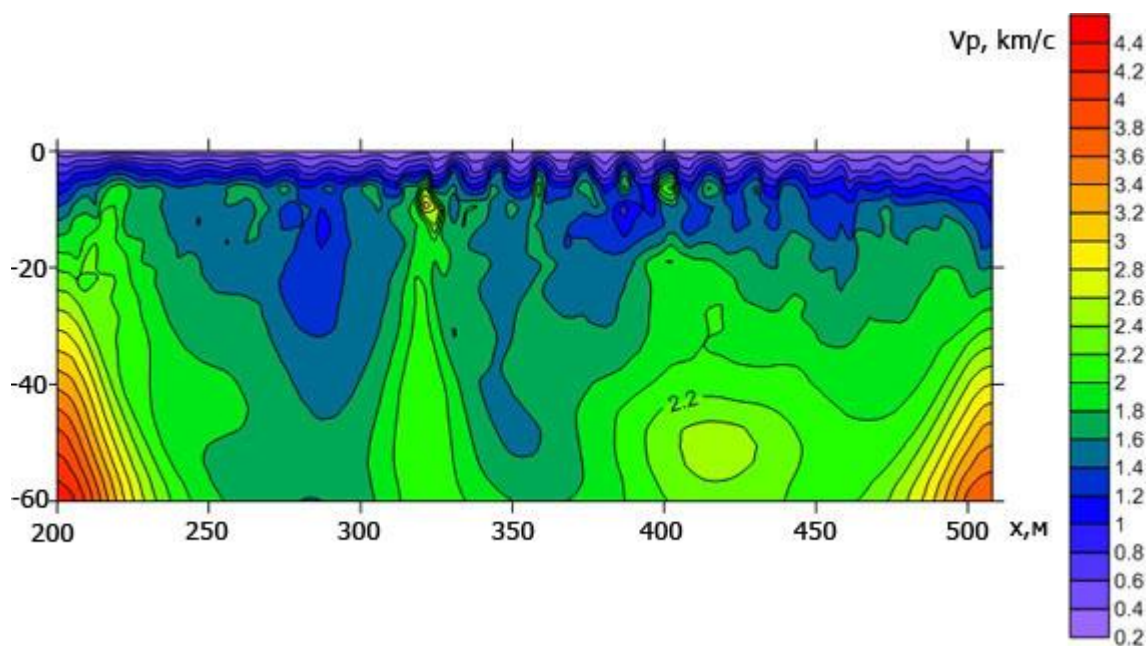


Рис. 3. Сейсмотомографический разрез вдоль профиля «Морская набережная».

Сейсмотомографическая обработка данных выполнена с помощью пакета сейсмической томографии XТomo LM2.0. Система XТomo LM2.0 служит мощным 2D-инструментом интерпретации времен прихода сейсмических волн и их моделирования или, иначе, кинематической интерпретации сейсмических данных.

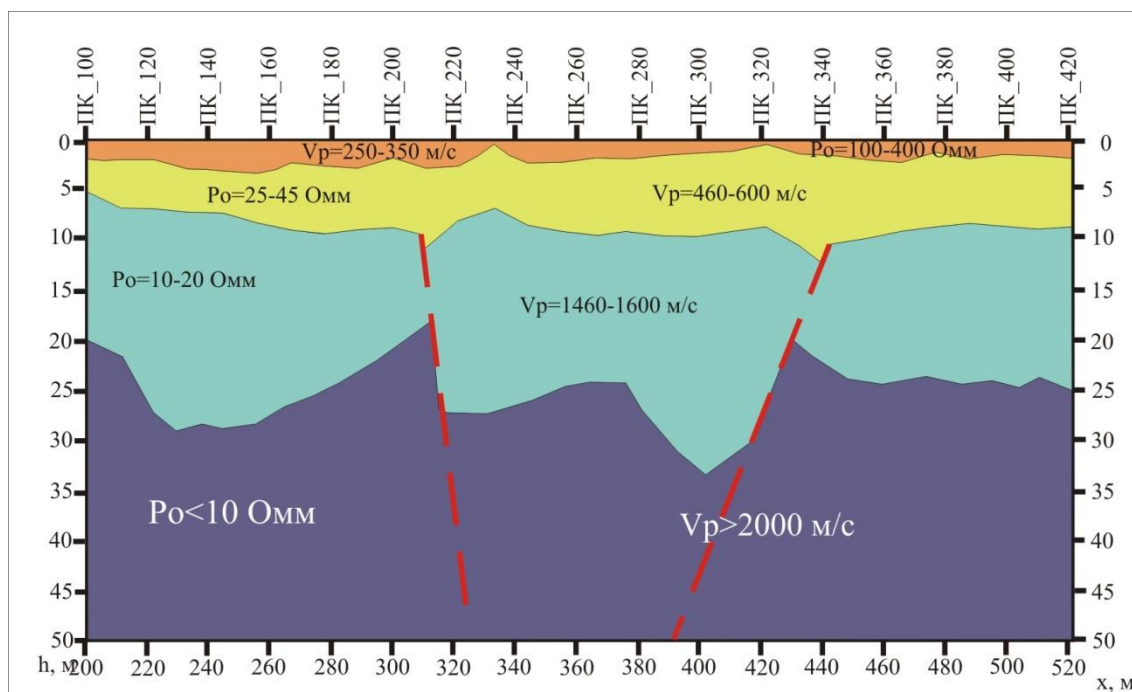


Рис. 4. Сводная геофизическая модель вдоль линии профиля, с выделенными зонами с предположительными зонами разрывных нарушений.

На полученной скоростной модели можно выделить ряд сейсмических скоростных горизонтов. Верхний горизонт - низкоскоростной ($V = 250-350$ м/с), наблюдается на глуби-

нах до 3–6 метров и, предположительно, соответствует верхней части геологического разреза. Среднескоростной горизонт ($V = 1460\text{--}1800$ м/с) прослеживается в интервалах глубин от 6 до 25 метров и, предположительно, соответствует слою влагонасыщенных су-глинков, высокоскоростной горизонт ($V > 2500$ м/с) прослеживается в интервалах глубин от 25 метров и, предположительно, соответствует слою глин. По данным сейсмотомографии проявились предполагаемые геодинамически активные зоны разломов в виде резкой смены скоростной характеристики разреза в латеральном направлении.

Анализируя результаты комплексных инженерно-геофизических методов исследования по профилю «Морская набережная», по которому выполнены геофизические исследования методами электроразведки и сейсморазведки была предложена комплексная геофизическая модель по данному профилю (рис. 4).

Литература

1. Телегин А.Н. Сейсморазведка методом преломленных волн. СПб.: Изд-во Санкт-петербургского университета, 2004 г. 95 с.
2. Якубовский В.Ю. Электроразведка. Учебник для ВУЗов. М.: Недра, 1980 г. 383 с.

ПРИМЕНЕНИЕ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ ФУНДАМЕНТА, ВЫДЕЛЕНИЕ ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ ГРАНИЦ ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ И ИНТЕНСИВНЫХ ГЛИНИСТЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ФУНДАМЕНТЕ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СТРЕЛЬЦОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Дёмин А.А. Злобин В.П.

«Урангеологоразведка» БФ «Сосновгеология» (ФГУП «Урангеологоразведка»), г. Иркутск, Россия,
e-mail: dema705@mail.ru

В данной статье рассматривается комплекс геофизических методов, используемых для прогнозирования и исследования месторождений урана на примере Стрельцовской вулканогенно-тектонической структуры. В частности рассматривается пример выявления признаков ураноносности, локализации и прослеживания ураноносных структур, выявления тектонически ослабленных зон и систем с рудоконтролирующими факторами.

THE APPLICATION AND SELECTION OF OPTIMAL SET OF GEOPHYSICAL METHODS TO DETERMINE THE DEPTH OF THE FOUNDATION, THE SEPARATION OF LITHOLOGICAL BOUNDARIES TO IDENTIFY ZONES OF TECTONIC DISTURBANCES AND INTENSE CLAY ALTERATION IN THE FOUNDATION OF THE VOLCANIC – SEDIMENTARY DEPOSITS ORE FIELD STRELTSOVSKY

Demin A.A., Zlobin V.P.

«Urangeologorazvedka» Bb «Sosnovgeology» (FSUSE Urangeologorazvedka), Irkutsk, Russia,
e-mail: dema705@mail.ru

This paper considers complex of geophysical methods used for forecasting and investigations, uranium deposits on the example Strel'tsovskaya volcanic-tectonic structures. In particular, consider an example to identify signs of uranium-bearing, localization and tracking of uranium-bearing structures, identifying tectonically weakened zones and systems with ore-controlling factors.

Скрытый характер уранового оруденения, сложность картирования традиционными геологическими методами факторов рудоконтроля (продуктивных зон развития гидротермально-метасоматические процессов вулканогенно тектонической структуры) предопределяют решающую роль в составе комплекса структурной геофизики.

Изучаемый разрез весьма изменчив по физическим параметрам слагающих пород, как в плане так и в разрезе. Применительно к поставленной технической задаче необходимо отметить следующее:

– фундамент ВТС сложен преимущественно гранитами и гнейсовидными гранитами , средне статистическая плотность которых составляет 2.6 и 2.65 г/см³, магнитная восприимчивость- $20 \cdot 10^{-6}$ ед. СГС, сопротивление – 1500–3500 ом.м.

– эффузивно-осадочные породы существенно дифференцированы по физическим свойствам. Так плотность андезитов, базальтов, андезито-базальтов и других эффузивов среднего и основного состава приближается к плотности пород фундамента и изменяется от 2.50 до 2.65 г/см³. Сопротивление пород верхнего структурного этажа существенно

ниже сопротивления пород фундамента, оно составляет 50–100 ом для различных конгломератов, песчаников, фельзитов, туфов различного состава и достигает 1000–1500 ом.м. для базальтов, андезито-базальтов, трахидацитов и базальных конгломератов. Эффузивы среднего и основного состава, как правило, характеризуются высокой магнитной восприимчивостью.

Четкая дифференциация пород отмечается по радиоактивности. Фельзиты имеют радиоактивность 35–40 мкр/час, базальты около 10 мкр/час, трахидациты 25–30 мкр/час, граниты 20–25 мкр/час.

К существенным изменениям петрофизических характеристик горных пород приводят наложенные гидротермально-метасоматические процессы. Процессы пиритизации и сульфидизации, в целом имеющие ограниченное распространение, приводят к повышению плотности пород. По мере возрастания нарушенности пород и естественно интенсивности метасоматических изменений, как аргиллизация, хлоритизация, гематитизация, электрическое сопротивление их падает. Лишь при существенном окварцевании и флюоритизации сопротивление повышается. Для пород из зон интенсивной трещиноватости и дробления происходит почти полное сближение электрической проводимости различных образований.

Таким образом, анализ физических свойств горных пород позволяет выделить в разрезе ВТС несколько границ раздела пород по физическим свойствам. По электрическим свойствам можно отметить следующие границы, которые характеризуются резкой сменой сопротивления. Это кровля пород фундамента, кровля нижнего горизонта базальтов, кровля трахидацитов, подошва фельзитов. По плотностным свойствам достаточно уверенно разделяются породы фундамента и верхнего структурного этажа.

С целью оценки эффективности комплекса геофизических методов при решении задач поиска и разведки урановых месторождений был проведен комплекс методов в составе: электрические зондирования ЗМПП, ЭМЗВП, гравиразведка, магниторазведка, электропрофилирование и эманационная съёмка методом САН (способ активного налёта) по профилям в объеме 32.1 п.км.

По результатам проведенных работ на Стрельцовой ВТС были построены планы графиков и геолого-геофизические разрезы на (рис. 1) приведен пример таких графиков по одному из профилей.

Как отмечалось в предыдущем разделе, дифференциация петрофизических свойств горных пород позволяет выделить в разрезе несколько границ раздела по электрическим и плотностным свойствам, которые, как показывает опыт предыдущих работ, картируются электрическими зондированиями и гравиразведкой.

Комплексирование электрических зондирований с измерением сигнала ВП и гравиразведки с магниторазведкой позволяет выделить блоки с различным составом горных пород и соответственно, повысить достоверность построения разрезов.

Сопутствующие рудному процессу гидротермально-метасоматические изменения пород приводят к изменению физических свойств в сторону их уменьшения, в т.ч. и сопротивления, что является благоприятной предпосылкой для их картирования с применением электрических методов. Линейными аномалиями магнитного поля, которые выделяются по карте масштаба 1 : 50 000, фиксируется, возможно, сложно построенная зона глубинного разлома широтного простирания. Поэтому для картирования крутопадающих зон тектонических нарушений было выполнено электропрофилирование в комплексе с магниторазведкой. Места выхода радона на дневную поверхность могут контролироваться тектонически ослабленными зонами, поэтому была проведена эманационная съёмка методом САН (способ активного налёта) для подтверждения этого предположения.

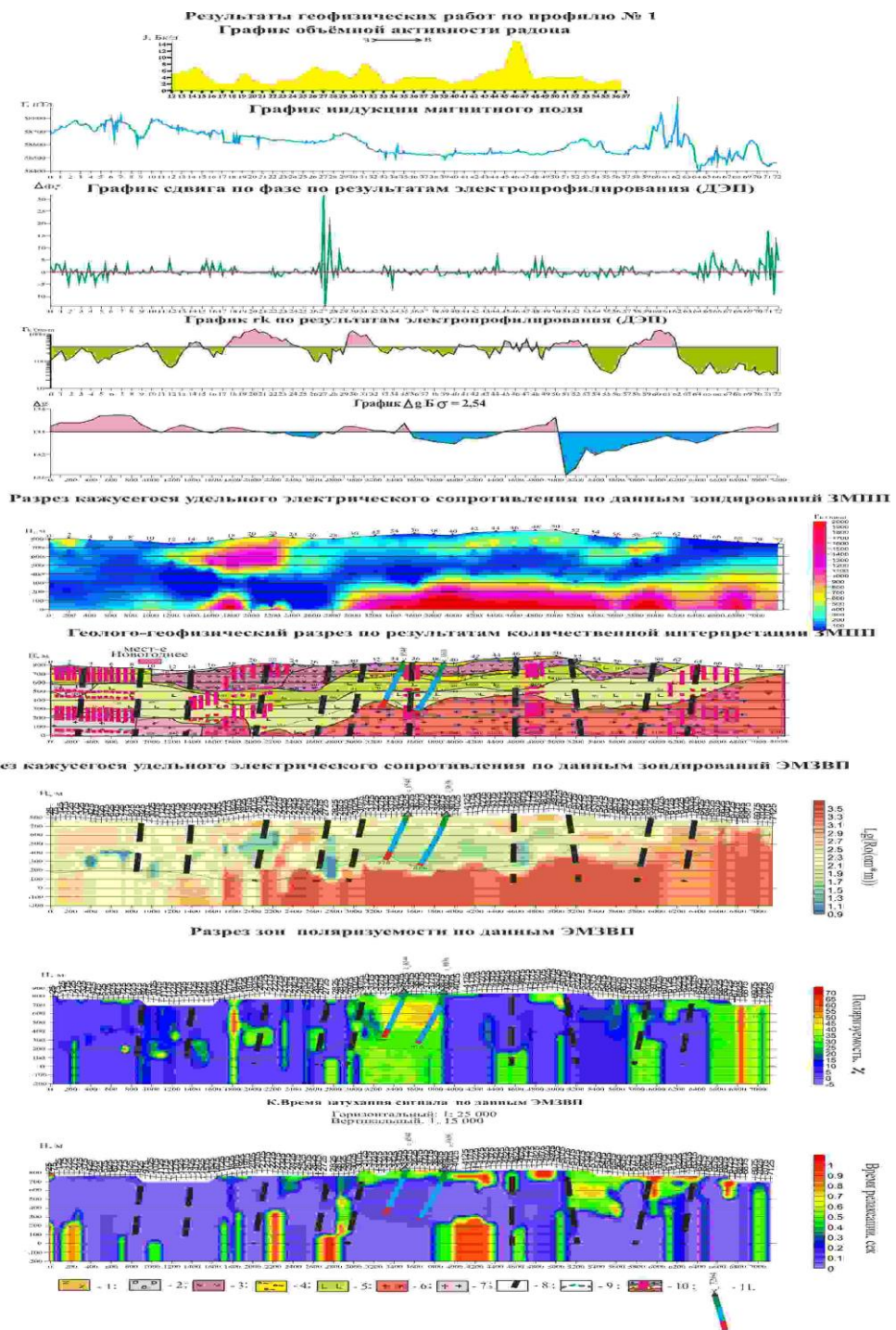


Рис. 1. Сопоставление результатов профильных работ методами эманационной съёмки САН, магниторазведки, электропрофилирование методом ДЭП, гравиразведки, методов зондирований МПП, ЭМЗВП.

1 – предположительно трахидацинты; 2 – предположительно конгломераты; 3 – предположительно фельзиты; 4 – предположительно туфы туфобрекчии; 5 – предположительно базальты; 6, 7 – кристаллический фундамент; 8 – тектонические нарушения; 9 – рельеф кристаллического фундамента по данным бурения; 10 – зоны повышенной поляризуемости по данным МПП; 11 – скважины с горизонтами базальтов, фельзитов с выходом на гранитный фундамент.

При оценке эффективности геофизических работ по картированию контактов пород в разрезе ВТС можно отметить следующее:

Наиболее четко геофизическими методами прослеживается кровля фундамента. При этом погрешность в определении глубины залегания фундамента значительно зависит от разреза эффузивно-осадочных образований.

Таким образом, по геофизическим данным с высокой степенью надежности выделяются зоны тектонических нарушений, проявленные в верхнем структурном этаже. При этом наиболее информативными являются компоненты гравитационного и магнитного полей. Достоверность расчленение разреза эффузивно-осадочной толщи с помощью геофизических методов в значительной мере зависит от геологического строения. Но даже в благоприятных случаях погрешность определения глубины залегания литологических границ может достигать 30%.

Из проведенного экспресс анализа полностью выпали результаты геохимических исследований прошлых лет, особенно по скважинам. Можно надеяться, что систематизация и увязка между собой геохимических данных с последующей математической обработкой позволит несколько по-новому взглянуть на направление поисковых работ.

Литература

1. Никифоров О.С. Отчёт о результатах аэропоисковых и наземных работ «Сосновская экспедиция» Партия № 327, Южная партия 1964 г.
2. Филипченко Ю.А. Отчёт «Обобщение и анализ результатов применения гравиметрической съемки м-ба 1:10 000» «Сосновская экспедиция» Партия № 324. 1979 г.
3. Бойцов В.Е. Павлович Г.Д. Исследование особенностей слоистой структуры, геохимических полей с применением ЭВМ и некоторые результаты изучения ураноносности южной части Стрельцовского рудного поля. «МГРИ» 1981 г.
4. Методические рекомендации по комплексированию геофизических методов при крупномасштабных геологосъёмочных работах и поисках месторождений полезных ископаемых. Ленинград, 1982. – 179 с.

АНАЛИЗ ДАННЫХ МАЛОГЛУБИННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ВИБРАЦИОННОГО ИСТОЧНИКА НА ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТАХ

Дергач П.А., Дробчик А.Н.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (ИННГ СО РАН), г. Новосибирск, Россия, e-mail: dergachpa@ipgg.sbras.ru

Представлены и проанализированы результаты опытных работ по малоуглубинной сейсмозондировке с использованием наземного вибрационного сейсмического источника на пьезоэлементах. Продемонстрирована возможность прослеживания первых вступлений преломленных волн на достаточно больших удалениях от виброисточника (около 300 метров). Полученные результаты свидетельствуют о высокой разрешающей способности предлагаемого метода возбуждения, и о потенциальных возможностях использования поверхностного вибрационного сейсмического источника в задачах малоуглубинной сейсмозондировки.

ANALYSIS OF NEAR-SURFACE SEISMIC DATA OBTAINED WITH THE USE OF HIGH-FREQUENCY SOURCE ON PIEZOELECTRIC ELEMENTS

Dergach P. A., Drobchik A.N.

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russia, e-mail: dergachpa@ipgg.sbras.ru

The results of near-surface seismic experiments with the high-frequency source on piezoelectric elements are presented in this paper. We have demonstrated that the first breaks of refracted waves can be correlated in offsets about 300 meters. The results show that the method is better than the traditional methods of wave generation due to high resolution of the obtained data.

Введение

Малоглубинная сейсмозондировка является одним из основных геофизических методов, входящих в состав комплекса работ при инженерно-геологических изысканиях. С ее помощью получают детальные сведения о строении верхней части геологического разреза (ВЧР), выделяют тектонические нарушения, определяют физико-механические свойства грунтов и прочее [1].

Информативность малоглубинных сейсмических работ улучшается с повышением разрешающей способности метода [2]. Для этого представляется перспективным использовать вибросейсмические источники [3]. По сравнению с импульсными, они позволяют лучше контролировать форму сигнала при его накоплении и формировать более высокочастотный зондирующий сигнал. Повышение частоты в зондирующем сигнале ведет в последующем к значительному повышению разрешающей способности получаемых разрезов.

В ИННГ СО РАН создан экспериментальный образец наземного вибрационного сейсмического источника на пьезоэлементах. Он имеет ряд преимуществ перед импульсными и взрывными аналогами, и позволяет формировать высокочастотный зондирующий сигнал. Источник малогабаритен, и с его помощью можно без особых затрат выполнять повторные наблюдения в фиксированных точках среды. Кроме того, в конструкции отсут-

ствуют механически подвижные части, что уменьшает затраты на эксплуатацию прибора и повышает его надежность в полевых условиях.

Анализ экспериментальных данных

В опытный порядок были проведены работы с наземным вибрационным сейсмическим источником на пьезоэлементах. Колебания возбуждались вдоль линейного профиля с расстоянием между сейсмоприемниками 5 метров. Первые вступления удалось проследить на расстоянии более 250 метров. На (рис. 1) изображены фрагменты коррелограммы и сейсмограммы от виброисточника и кувалды до удалений источник-приемник 150 метров.

Сравнивая амплитудные спектры волн в первых вступлениях по мере удаления от источника, необходимо отметить хорошую прослеживаемость высокочастотной составляющей сигнала даже на больших удалениях.

Важно отметить, что амплитуды поверхностных волн от виброисточника на порядок ниже, чем от кувалды, что может быть очень полезным при выделении отраженных волн, использование которых особо актуально в задачах изучения особенностей строения толщи мерзлых пород, когда использование преломленных волн затруднено или вообще невозможно.

Прямоугольниками на (рис. 1) отмечены окна, в которых рассчитывались амплитудные спектры, показанные на (рис. 2).

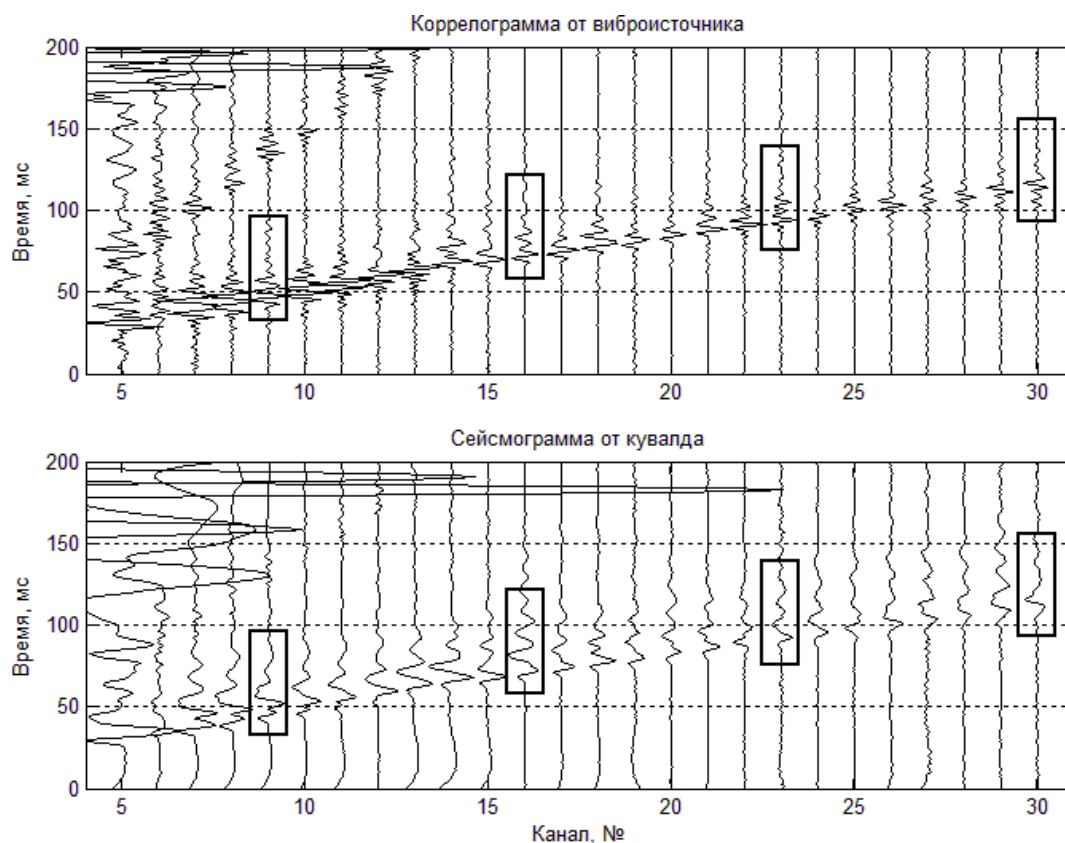


Рис. 1. Данные от виброисточника и кувалды, прямоугольниками обозначены окна, в которых рассчитывался амплитудный спектр, расстояние между соседними каналами 5 метров.

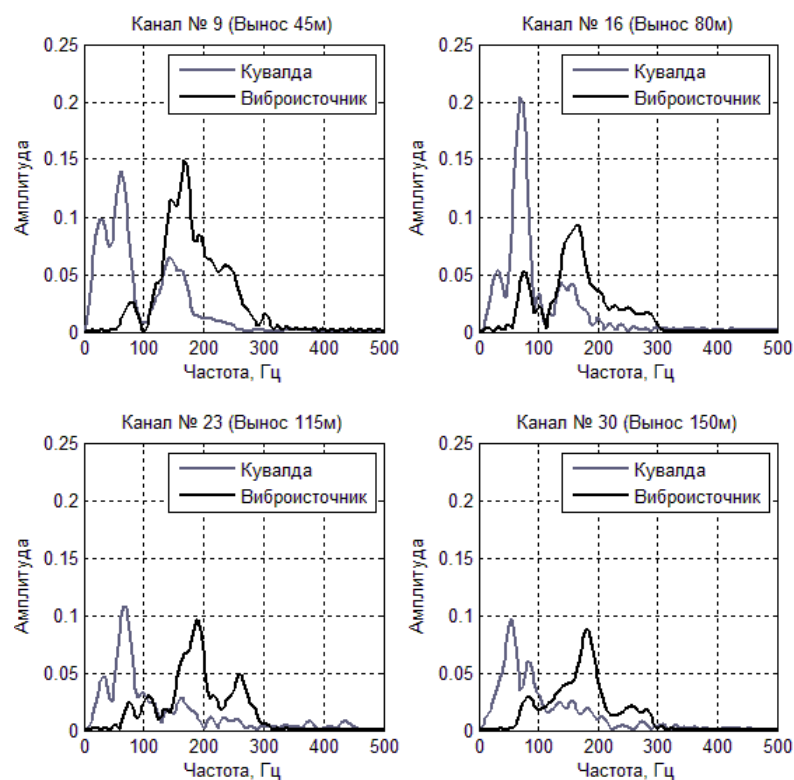


Рис. 2. Сравнение спектров от виброисточника и кувалды по мере удаления от ПВ.

На спектрах видно, что у кувалды колебания в первых вступлениях характеризуются пониженной (ниже 100 Гц) частотой, в то время как у пьезокерамического источника повышенной (выше 100 Гц).

Для сравнения изображены (рис. 3) осредненные по каналам амплитудные спектры для 5 накоплений ударов кувалды по металлической подложке и 5 свип-сигналов длительностью 16 секунд. Видно, что для осредненных спектров (для всей расстановки) средние частоты для кувалды и источника также составляют 60 и 180 Гц соответственно.

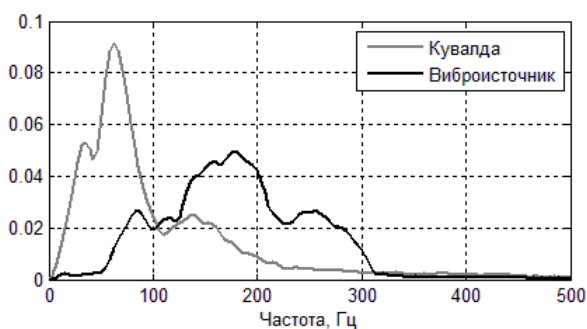


Рис. 3. Осредненные по каналам амплитудные спектры для кувалды и виброисточника.

Выводы

На экспериментальных данных, полученных от виброисточника, удалось опытным путем показать возможность прослеживания первых вступления на достаточно больших

удалениях от виброисточника (около 300 метров), а центральная частота регистрируемых колебаний от виброисточника примерно в 3 раза выше, чем от кувалды.

Полученные результаты свидетельствуют о более высокой разрешающей способности предлагаемого метода возбуждения колебаний по сравнению с традиционно применяемой кувалдой и другими источниками, а так же о потенциальных возможностях использования поверхностного вибрационного сейсмического источника на пьезоэлементах при детальном изучении верхней части разреза в различных геологических условиях.

Литература

1. Горяинов Н.Н., Ляховицкий Ф.М. Сейсмические методы в инженерной геологии. М.: Недра, 1979. 143 с.
2. Романов В.В. Возможности повышения разрешенности сейсмограмм метода преломленных волн (МПВ) // Технологии сейсморазведки. №4. 2013. с. 67–73.
3. Z. Wei. A high frequency vibroseis tool // First break volume 32. January 2014. p. 73–78.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ

Егорова А.В., Черных А.А., Редько А.Г.

Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга (ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»), г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: *ms.egorova.av@gmail.com*

Исследование выполнено с целью изучения эффективности методов разделения потенциальных полей на составляющие и обоснования выбора оптимальных параметров соответствующих алгоритмов. Анализировались три метода: осреднение, метод подбора источников эквивалентными слоями и пересчет поля в верхнее полупространство.

THE SEPARATION OF POTENTIAL FIELDS INTO COMPONENTS: OPTIMAL PARAMETERS SELECTION AND ESTIMATION OF EFFICIENCY

Egorova A.V., Chernykh A.A., Red'ko A.G.

The All-Russian Scientific Research Institute for Geology and Mineral Resources of the Ocean (VNIIOkeangeologia named after I. S. Gramberg), Saint-Petersburg, Russia, e-mail: *ms.egorova.av@gmail.com*

The objective of the research was estimation of efficiency of separation methods for potential fields into components and substantiation of optimal parameters selection for relevant procedures. Three methods: averaging, the method of fitting of sources by equivalent layers and upward continuation were analyzed.

В настоящее время коллектив авторов отдела системных геолого-геофизических исследований ФГУП ВНИИОкеангеологии им. И. С. Грамберга участвует в работе по составлению опережающих геофизических основ (ГФО-1000) Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения (Госгеолкарта-1000/3). Наполнение ГФО-1000 регламентируется действующими [Требованиями..., 2012]. В частности, при подготовке основ предполагается выполнение операции разделения потенциальных полей на составляющие (локальную, региональную и др.) и построение на их основе графических приложений.

Существуют различные способы решения данной задачи, основанные на представлении о том, что возмущающие объекты (тела, границы), имеющие различные (несопоставимые) поперечные размеры (периоды), создают аномалии различных частот (периодов) [3]. К ним относятся: усреднение, пересчет поля в верхнее и нижнее полупространство, выделение регионального поля с помощью различных фильтров, подавляющих низко- или высокочастотную составляющие, а также и другие методы. Несмотря на то, что для каждой трансформации известен математический аппарат, на практике выбор расчётных параметров зачастую происходит интуитивно.

Задачами настоящего исследования были: сравнение эффективности методов разделения потенциальных полей и выбор оптимальных параметров соответствующих алгоритмов. Авторами использовались цифровые модели (гриды) ГФО листов Т-1,2 (поднятие Менделеева) [3]. Анализировались три метода: осреднение, пересчет в верхнее полупространство и метод полосовой фильтрации.

Метод осреднения, теоретическое обоснование которого впервые было сделано в работе А.Н. Тихонова и Ю.Д. Буланже (1945) [1], является наиболее распространенным и часто применяемым. Данный метод разделения исключает из исходного поля высокочастотную составляющую, оставляя региональный фон. В отличие от классического осреднения в пределах круга радиуса R , был использован низкочастотный фильтр Баттеруорта (Butterworth low-pass filter) с изменением порогового значения длины волны фильтра в единицах цифровой модели. Вначале было выбрано по 5 аномалий из трех условных групп (по линейному размеру аномалий): крупные, средние, мелкие. После чего с определенным шагом порогового значения низкочастотного фильтра был выполнен расчёт осредненного поля. На основании полученной информации построены зависимости изменения амплитуды аномалий от длины волны. Оптимальной для разделения поля является такое значение длины волны фильтра, увеличение которой не приводит к существенному изменению амплитуды региональной аномалии. В случае линейного «регионального фона» графики выходят на асимптоту [1].

В результате анализа полученных зависимостей для разных групп аномалий выбирались оптимальные длины волн, которые использовались для разделение поля на составляющие. Далее по формуле (1) были рассчитаны цифровые модели локальных составляющих разных рангов поля.

$$U_{\text{лок}}(x,y,0) = U(x,y,0) - U(x,y, \lambda), \quad \text{где} \quad (1)$$

$U(x,y,0)$ – исходное поле,

$U(x,y, \lambda)$ – поле, полученное путем фильтрации с длиной волны λ .

В основу *метода подбора источников эквивалентными слоями и последующей фильтрацией* [4; 5], положены представления о согласованном фильтре из теории цифровой обработки сигналов. Этот фильтр сконструирован таким образом, чтобы выделять из общего объема информации, подаваемой на вход системы, сигнал с заданными свойствами. Применительно к потенциальным полям в качестве свойств выступают глубина, тип и интенсивность источника [4]. Данные параметры определяются эмпирически, путем подбора теоретического спектра мощности поля, который бы наилучшим образом соответствовал наблюдаемому спектру. После применения полосового фильтра с подобранными параметрами, исходное поле было разделено на составляющие.

Часто используемым методом разделения потенциальных полей является *метод пересчета поля в верхнее полупространство* [2]. Это связано с тем, что это наиболее «чистый» фильтр, поскольку он почти не дает побочных эффектов, которые могут требовать применения других фильтров или процедур для коррекции. Процедура выбора оптимальной высоты пересчета вверх в литературе не описана, поэтому многие геофизики делают это интуитивно. Авторы настоящего исследования оценивали её посредством анализа скорости убывания экстремальных значений поля в цифровой модели при пересчете последней в верхнее полупространство с определенным шагом изменения высоты. Так как поле, создаваемое приповерхностными объектами, убывает быстрее, чем поле от глубинных объектов, то влияние первых из них можно считать сведённым к минимуму, когда скорость убывания указанных значений с высотой стабилизируется. На основании полученных графиков выполнялся выбор оптимальной высоты пересчета $h_{\text{опт}}$. После чего с данным параметром $h_{\text{опт}}$ была рассчитана региональная составляющая поля $U(x,y, h_{\text{опт}})$. Локальная составляющая $U_{\text{лок}}(x,y,0)$ получена по формуле (2).

$$U_{\text{лок}}(x,y,0) = U(x,y,0) - U(x,y, h_{\text{опт}}), \quad \text{где} \quad (2)$$

$U(x,y,0)$ – исходное поле на выбранном уровне относимости

$U(x,y, h_{\text{опт}})$ – поле, полученное путем пересчета поля на $h_{\text{опт}}$.

В докладе будут продемонстрированы описанные выше методы разделения полей на составляющие (локальную и региональную) и эффективность их применения с методически выбранными параметрами.

Литература

1. Геологическое истолкование гравитационных аномалий / Б.А. Андреев, И.Г. Клушин., Л.: «Недра», 1965 г. – 495 с.
2. Магниторазведка: справочник геофизика / Глебовский Ю.С. (ред.), М.: «Недра», 1990 г. 470 с.
3. Создание комплекта современной геологической основы масштаба 1 : 1 000 000 листов Т-1, 2 и У-1,2 (поднятие Менделеева) в 4 книгах. Книга 3. Геофизическая основа к листам Т-1, 2., ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», Санкт-Петербург, 2013.
4. Phillips J.D. Designing matched bandpass and azimuthal filters for the separation of potential-field anomalies by source region and source type // ASEG 15th Geophysical Conference and Exhibition, 2001, Brisbane.
5. Phillips J.D. Potential-field geophysical software for the PC, version 2.2 // U.S. Geological Survey Open-File Report, 1997, p. 97–725.

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЫ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

*Казанин Г.С., Трофимов В.А., Васильев А.И., Кириллова-Покровская Т.А., Чельшев С.В.,
Барabanова Ю.Б.*

ОАО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция» (ОАО «МАГЭ»), Мурманск, Россия,
e-mail: *barabanova.ub@mage.ru*

В 2011–2012 годах полевая геофизическая партия ОАО МАГЭ провела площадные комплексные геофизические исследования континентальной окраины поднятия Де-Лонга и присибирского сегмента хребта Ломоносова. В пределах континентального склона поднятия Де-Лонга по характеру сейсмической записи было установлено, что верхняя часть земной коры включает в себя кристаллический фундамент архей-раннепротерозойский (AR-PR₁) консолидации, палеозой-мезозойский (PZ-MZ) промежуточный структурный этаж (ПСЭ) и бассейновый позднемезозой-кайнозойский (K₂-KZ) осадочный чехол (ОЧ). Генетическое развитие осадочного чехла в изученной части переходной зоны представляется в виде трех периодов погружения: – рифтового (до раннего палеоцена), – пострифтового («теплого» палеоцен-олигоцен и «холодного» неоген), – бассейнового (плейстоцен). В синрифтовом комплексе выявлены нижнемеловые отложения апта и альба, заполняющие неровности древнего субстрата, а также мощные толщи слабодислоцированного верхнемелового проградирующего дельтового комплекса. В пострифтовых отложениях выявлены зоны развития «цветковых структур», образующих серии тектонически и литологически экранированных ловушек УВ.

INTEGRATED GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS OF THE NORTH-EASTERN PART OF THE LAPTEV SEA CONTINENTAL MARGIN

Kazanin G.S., Trofimov V.A., Vasilyev A.I., Kirillova-Pokrovskaya T.A., Chelyshev S.V., Barabanova Yu.B.

Marine arctic Geological expedition (PC MAGE), Murmansk, Russia, e-mail: *barabanova.ub@mage.ru*

In 2011–2012 MAGE's field geophysical crew conducted areal integrated investigations of the De Long high continental margin and the Siberian area segment of Lomonosov Ridge. Due to the seismographic record structure of the De Long high continental margin it was found that the Earth's upper crust comprised the Archean – Early Proterozoic (AR-PR₁) consolidation crystalline basement, the Paleozoic – Mesozoic intermediate structural stage and basin Late Mesozoic – Cenozoic sedimentary cover. The sedimentary cover genetic development at the explored part of transitional zone represents three subsidence periods: rift (before the Early Paleocene), postrift (“warm” the Paleocene-Oligocene and “cold” the Neogene) and basin (the Pleistocene). The Lower Cretaceous deposits of the Aptian and Albian stages as well as thick formations of poorly distributed Upper Cretaceous prograded delta complex were found within the syn-rift complex. “Flower structure” development zones forming series of lithologic and faulted anticline hydrocarbon traps were detected in the postrift deposits.

ВВЕДЕНИЕ

В 2011–2012 годах полевая геофизическая партия ОАО «МАГЭ» провела площадные комплексные геофизические исследования континентальной окраины поднятия Де-Лонга и присибирского сегмента хребта Ломоносова (рис. 1). Впервые за все время изучения Се-

верного Ледовитого Океана (СЛО) на площади континентального склона в 52 200 км² были выполнены площадные комплексные геофизические исследования. В сложных ледовых условиях за 2 года НИС «Геолог Дмитрий Наливкин» отработал 19 профилей общим объемом 3600 пог. км. Полигоны сети наблюдений варьируют по площади от 114×20 км до 40×20 км.

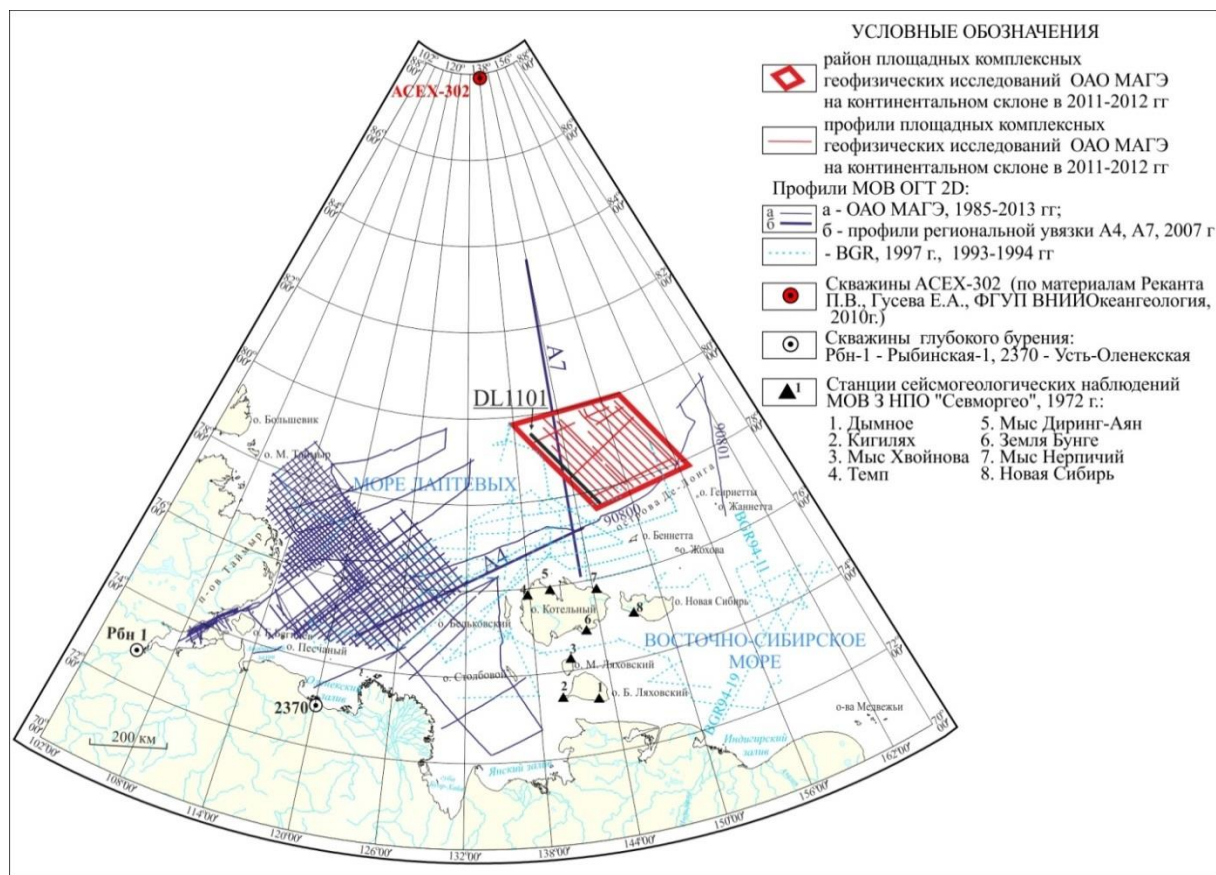


Рис. 1. Схема сейсмической изученности моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря работами МОВ ОГТ 2D ОАО МАГЭ и BGR.

МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ РАБОТ

Геофизические исследования, включающие сейсморазведку МОВ ОГТ 2D, надводные гравиметрические и гидромагнитные наблюдения, проводились в комплексе с эхолотированием дна на средней скорости судна 4.5 узла при волнении моря до 4 баллов.

Сейсмические работы проводились с использованием следующего оборудования: – регистрирующая аппаратура – сейсмостанция «Seal» v.5.2; приемник сейсмических сигналов – цифровая твердотельная сейсмическая коса Sercel Seal 24bit digital (Solid Sentinel streamer), расстояние между центрами каналов 12.5 м, всего 648 каналов при длине активной части 8100 м, длина записи - 12 с, дискретность – 2 мс; система возбуждения упругих колебаний – источники BOLT GUN, интервал возбуждения 37.5 м, рабочее давление на выстреле 2000 psi.

Надводные гравиметрические наблюдения. Измерения аномального гравитационного поля осуществлялась в цифровой форме гравиметром СНЕКАН-АМ, изготовленным ФГУП ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург; диапазон измерений – не менее 10 Гал, погрешность определения аномалий силы тяжести не хуже – ±0.6 мГал, чувствительность – 0.01 мГал. Регистрация выходных данных гравиметра выполнялась в цифровой форме с дискретностью 1 с в режиме реального времени программным модулем «SeaGrav».

Гидромагнитные наблюдения проводились по дифференциальной методике с помощью градиентометра SeaSpry. Регистрация результатов измерений осуществлялась в цифровом виде с интервалом, соответствующим циклу измерений 10с. Среднеквадратическая погрешность измерений с «нулевой» базой составила $\pm 0,016 - \pm 0,019$ нТл.

Геодезические работы выполнены с использованием навигационного оборудования, отвечающим мировым стандартам UKOOA. Плановая привязка точек геофизических исследований осуществлялась по спутниковой навигационной системе GPS в системе координат WGS-84. Измерение глубин обеспечивал эхолот Simrad EA 500 фирмы «Kongsberg». Цифровая регистрация глубин производилась с помощью навигационной системы «Spectra».

ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Обработка сейсморазведочных материалов выполнена А.И. Васильевым в Мурманском вычислительном центре ОАО МАГЭ. На базе комплекса PROMAX-5000.0.2.3, установленного на LINUX-кластере, построенном на 5-ти серверах Arbyte Alkazar с объёмом дисковой памяти 24 Тб и операционной системой CentOS 5,6 было обработано 3600 пог. км профилей МОВ ОГТ 2D (рис. 2). Граф обработки включал следующие, относительно автономные, этапы: **1** – ввод данных и предварительная обработка исходных сейсмограмм; **2** – ввод геометрии и сортировка по ОГТ; **3** – скоростной анализ проводился в 2 этапа на базе процедур 2D Supergather Formation и Velocity Analysis. На первом (предварительном этапе) анализ скоростей проводился с шагом 160 точек ОГТ или 1250 метров. На втором (окончательном) анализ скоростей выполнялся с шагом 80 точек ОГТ; **4** – суммирование; **5** – миграция после суммы; **6** – обработка и вывод суммотрасс в виде файлов формата SEG-Y; **7** – подготовка поля скоростей для построения глубинных разрезов и карт; **8** – преобразование временных разрезов в глубинные посредством комплекса программ «RAZREZ», разработанных А.И. Васильевым. «RAZREZ» решает прямые и обратные кинематические задачи и позволяет увязывать между собой скоростные параметры, полученные разными методами - МОВ ОГТ, ГСЗ, ВСП.

Интерпретация сейсморазведочных материалов выполнена в 2013 году Кирилловой Т.А. Данная работа основана на обобщении значительного количества геолого-геофизического материала, в том числе результатах интерпретации более 35 000 пог. км сейсмических профилей, полученных МАГЭ в 1985–2012 гг. и BGR 1993–1997 гг. на Лаптевоморском и Восточно-Сибирском шельфах и хребте Ломоносова.

На базе комплекса KINGDOM-Software 8.3. на временных разрезах прослежены отражающие горизонты, связанные с перерывами в осадконакоплении. Поверхности несогласий, выделенные в волновых полях Лаптевоморского и Восточно-Сибирского разреза, увязаны между собой. Волновые облики поверхностей несогласий, выделенных на Евразийском шельфе, практически однозначно коррелируются с поверхностями несогласий, зарегистрированных в волновом поле профиля А7 на хребте Ломоносова [1]. Стратификация поверхностей несогласий выполнена на основе реконструкции истории развития регионов с учетом эвстатических колебаний уровня моря, перерывов в осадконакоплении, установленных в обнажениях и данных бурения в береговом обрамлении и на островах Новосибирского архипелага, а также в разрезах скважин ACEX-302, пробуренных на приполюсной части хребта Ломоносова [2–4].

Строение земной коры изучено до глубин 22–30 км. Прослежена граница Мохоровичича, уточнена ее структура. В разрезе консолидированной коры выделены архей-протерозойский кристаллический фундамент древней платформы, слабодислоцированный

палеозой-мезозойский Промежуточный Структурный Этаж (ПСЭ) и бассейновый верхний мел-кайнозойский Осадочный Чехол (рис. 3).

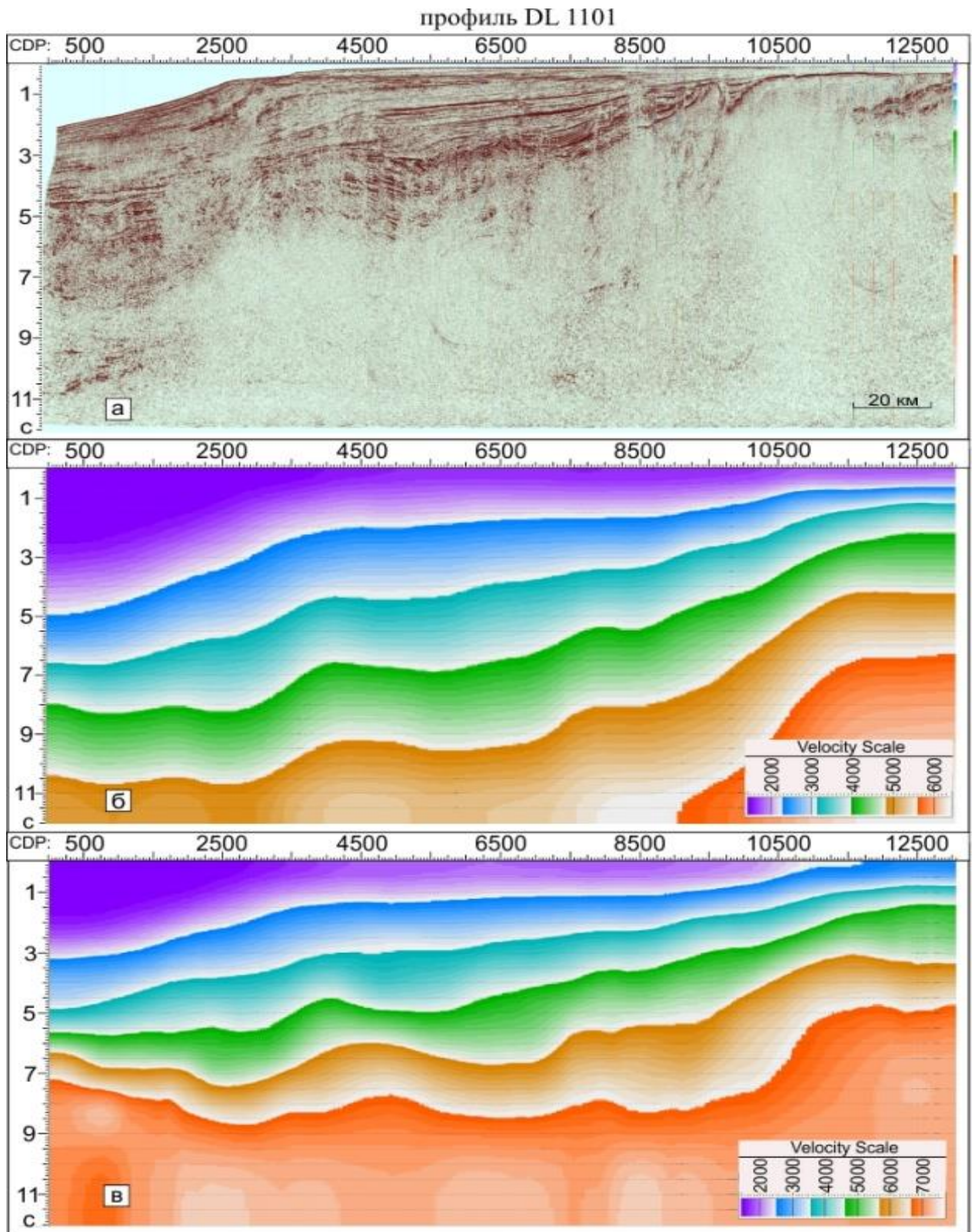


Рис. 2. Результаты обработки сейсмозвездочных материалов. Профиль DL1101: *a* - временной разрез, *б* - разрез средних скоростей, *в* - разрез интервальных скоростей. Расположение профиля см. на рис. 1.

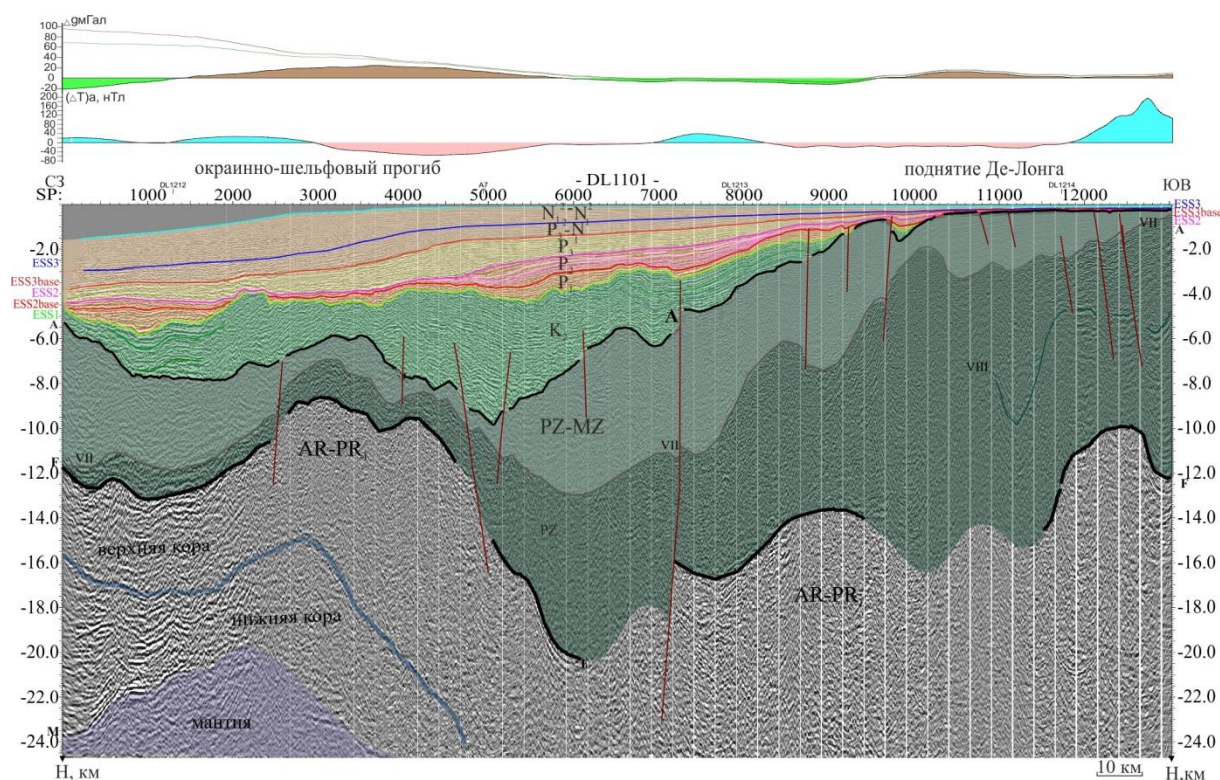


Рис. 3. Результаты комплексной интерпретации геофизических данных представлены на геолого-геофизическом разрезе по линии профиля DL1101.

Обработка и интерпретация гравиметрических и гидромагнитных материалов выполнена в 2013 году Чельшевым С.В. на базе программных комплексов GRAV и Mag001 ver.3, разработанных в ОАО МАГЭ Васильевой Е.Г. и программных комплексов ArcView GIS 3.2 и Surfer 10.

Расположение профиля см. на рис. 1.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Впервые комплексными площадными геофизическими работами была исследована структура континентальной окраины поднятия Де-Лонга и присибирского сегмента хребта Ломоносова и уточнена структура периокеанических прогибов, сформировавшихся в районе бровки континентального склона.

В пределах изученной части переходной зоны материк – океан толща протерозой – нижнемеловых образований на сейсмических профилях ассоциируется с акустическим фундаментом и интерпретируется в качестве консолидированного основания осадочного чехла. Апт-альбская эпоха складчатости (ОГ А) сформировала гетерогенный фундамент, на поверхность которого могут выходить осадки от нижнемелового до девонского периодов. Выходы на поверхность дна пород консолидированного основания предполагаются в наиболее крутых уступах морского дна, в частности, на западных склонах хребта Ломоносова.

Субмеридиональные системы разрывных нарушений, выделенные при районировании отчетных потенциальных полей и структурного плана кристаллического (AR-PR₁) фундамента, определяют схему последующего тектонического развития изученной части СЛО.

Осадочный чехол в переходной зоне материк – океан изучен до глубины 14,0 км. Его подошву контролирует ОГ А, внутреннее строение отражающие горизонты с индексом ESS - ESS1 (K₂ – P₁), ESS2base (P₁² – P₂¹), ESS2 (P₂³ – P₃¹), ESS3 base (P₃¹ – N₁¹), ESS3 (N₁²),

ESS5 (Qp) [1]. ОГ А контролирует главный этап структурирования в позднеюрско – раннемеловую фазу, подошву синрифтового комплекса отложений – начало рифтогенеза. ОГ с индексом ESS приурочены к разрезу скважины АСЕХ-302.

Генетическое развитие осадочного чехла в изученной части переходной зоны представляется в виде трех периодов погружения: - рифтового (до раннего палеоцена), - пострифтового («теплого» палеоцен-олигоцен и «холодного» неоген), - бассейнового (плейстоцен). В синрифтовом комплексе выявлены нижнемеловые отложения апта и альба, заполняющие неровности древнего субстрата, а также мощные толщи слабодислоцированного верхнемелового проградирующего дельтового комплекса. В пострифтовых отложениях выявлены зоны развития «цветковых структур», образующих серии тектонически и литологически экранированных ловушек УВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты площадных комплексных геолого-геофизических работ ОАО МАГЭ 2011–2012 гг. показали, что хребет Ломоносова и прилегающий Евразийский шельф представляют собой единый ансамбль континентальных геологических структур с общей историей геологического развития.

Современный структурный план сформировался в результате неотектонического погружения внутренних областей океана и синокеанических структурно-вещественных преобразований континентальной коры. При этом ранее сформированная структура осадочного чехла, по-видимому, не претерпела довольно существенных изменений.

Литература

1. Г.С. Казанин, И.В. Заяц, С.П. Павлов, С.И. Шкарубо, Е.С. Макаров, В.А. Кацанюк, В.А. Журавлев, А.И. Васильев, А.В. Кузнецов, Т.А. Кириллова-Покровская, Т.И. Кадыш, А.Б.Дьяченко «Комплексные геофизические исследования ОАО МАГЭ на хребте Ломоносова». Материалы конференции «ЕАГО» Сочи, 2010.
2. Т.А. Кириллова-Покровская*, В. Моули** «Модель строения Лаптевоморского бассейна (по сопоставлению сейсмических и скважинных данных на суше и морской сейсморазведки)». Материалы научно-практической конференции, посвященной 40-летию ОАО МАГЭ «Современные геолого-геофизические исследования на Российском шельфе» Мурманск, 2012.
3. M. Kos'kol and E. Korago. «Review of geology of the New Siberian Islands between the Laptev and the East Siberian Seas, North East Russia», Stephan Mueller Spec. Publ. Ser., 4, 45–64, 2009.
4. Jokat W. The sedimentary structure of the Lomonosov Ridge between 88° N and 80° N. Geophysical Journal Int., 2005, v. 163, p. 698-726.

*ОАО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция».

**ООО «ТОТАЛЬ РАЗВЕДКА РАЗРАБОТКА Тимано-Печора».

МОРСКАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ПО СПИРАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ

Касымова А.Ж., Пак Д.Ю.

Карагандинский Государственный Технический Университет (КарГТУ), г. Караганда, Россия,
e-mail: *aselkas93@mail.ru*

Морская сейсморазведка по спиральной траектории – это новый метод, позволяющий улучшить качество сейсмических изображений сложных геологических объектов. Сбор сейсмической информации осуществляется при движении судна по спирали вдоль последовательных, непрерывно переходящих друг в друга круговых траекторий, что минимизирует или полностью исключает непроизводительное время курсирования. Такая геометрия сейсморазведки обеспечивает получение высококачественных данных об отражениях во всем диапазоне азимутов.

COIL SHOOTING

Kassymova A.Zh., Pak D.Yu.

Karaganda State Technical University (KSTU), Karaganda, Russia, e-mail: *aselkas93@mail.ru*

Coil shooting is a new single-vessel method for acquiring seismic data over a wide range of azimuths to improve imaging of complex geology. By sailing in overlapping circles, a very large number of receiver positions can be created and a single source boat can produce unprecedented offset and azimuth sampling which leads to higher quality images with superior noise suppression. To create seismic images, one must have data to process. Highly efficient and accurate acquisition services allow for full-azimuth marine acquisition, and new techniques like coil shooting allow these data to be acquired faster, with a single vessel, than previously achieved with multiple vessels.

Reflection seismology (or seismic reflection) is a method of exploration geophysics that uses the principles of seismology to estimate the properties of the Earth's subsurface from reflected seismic waves [5].

Mining is the extraction of valuable minerals or other geological materials from the earth, from an orebody, lode, vein, (coal) seam or reef, which forms the mineralized horizon and package of economic interest to the miner.

There are some ways of mining operations. Land and underwater ways are well-known. Underwater way – Marine Geophysical Research (MGR) has a long-established reputation for high quality geophysical research and data on deep ocean basins. [1]

Speaking about marine seismic acquisition we should touch a traditional underwater way of mining operations and a new method named coil shooting.

Traditional marine seismic data acquisition introduces imaging challenges and an inevitable loss of productive time. Conventional data acquisition techniques call for a vessel to sail in parallel lines across the surface of the water. This method takes time, as the vessel must turn around between the end of one straight line and the start of the next. Also, in areas of complex geology, ray bending can leave portions of the subsurface untouched.

3D marine seismic data have traditionally been acquired by a vessel sailing in a series of parallel straight lines. This configuration suffers from an inherent problem in that the seismic raypaths are aligned predominantly in one direction. In the presence of complex geology, ray bending can leave portions of the subsurface untouched by seismic waves and only a narrow

range of source-receiver azimuths is recorded. This led to the development of wide-azimuth (WAZ), rich-azimuth (RAZ) and multi-azimuth (MAZ) acquisition configurations, which deliver better illumination of the subsurface and higher signal-to-noise ratio in challenging imaging areas such as beneath complex salt bodies.

Coil shooting is a cost-effective technique towards better imaging over small to medium sized exploration areas (Picture 1). Coil shooting provides superior full-azimuth seismic acquisition with a single vessel.



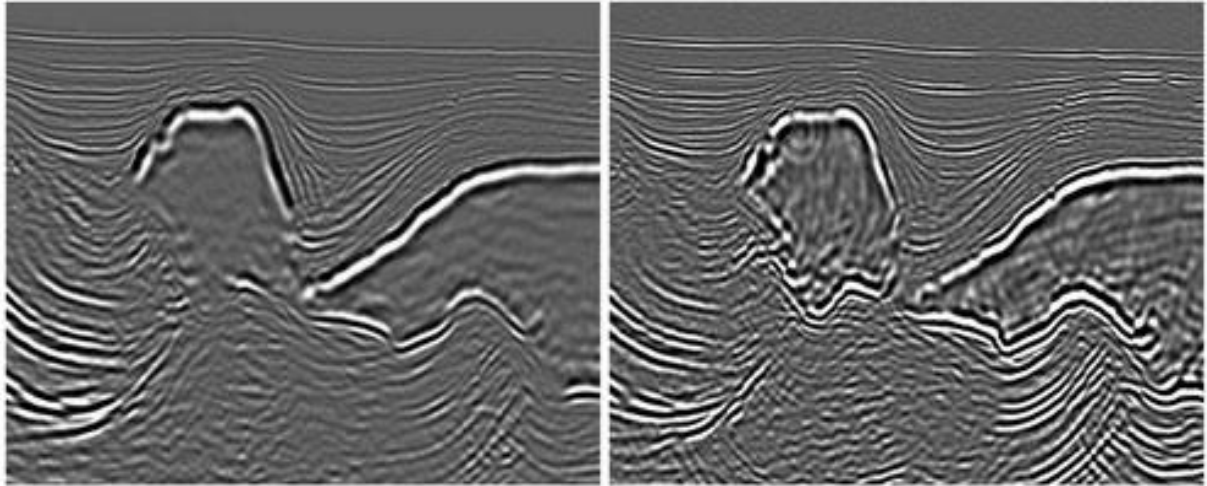
Picture 1. Coil shooting.

Coil shooting single-vessel full-azimuth (FAZ) acquisition is a technique which extends conventional multi- and wide-azimuth survey capabilities by acquiring marine seismic data using a single vessel sailing in a series of overlapping, continuously linked circles. This delivers a greater range of azimuths and offsets than parallel WAZ geometries, and there are no non-productive intervals for line changes. [3]

Typically, WAZ surveys are conducted using three or four vessels, each traveling in parallel lines. However, while conducting a project in the Gulf of Mexico, WesternGeco achieved high-quality full-azimuth recordings with a single vessel. In the second half of 2010 WesternGeco added a further advanced technique of coil shooting—dual coil shooting. This technique uses multiple source and receiver vessels sailing in interlinked circles and offers ultra-long offset data as well as full-azimuth data.

A new technique developed by WesternGeco can provide a higher range of azimuths and decreases the amount of nonproductive time (NPT) by avoiding the need to steer the vessel into parallel lines.

The new technique steers the vessel into a series of overlapping circles, recording seismic data continuously. This relieves the operators of unnecessary NPT while still providing full-azimuth (FAZ) coverage. According to the company, the design of the survey is such that additional coils are easily added on an ad hoc basis to increase the survey area. A dual-coil multi-vessel survey uses two recording vessels with their own sources and two separate source vessels that sail in wide-diameter interlinked circles. [2]

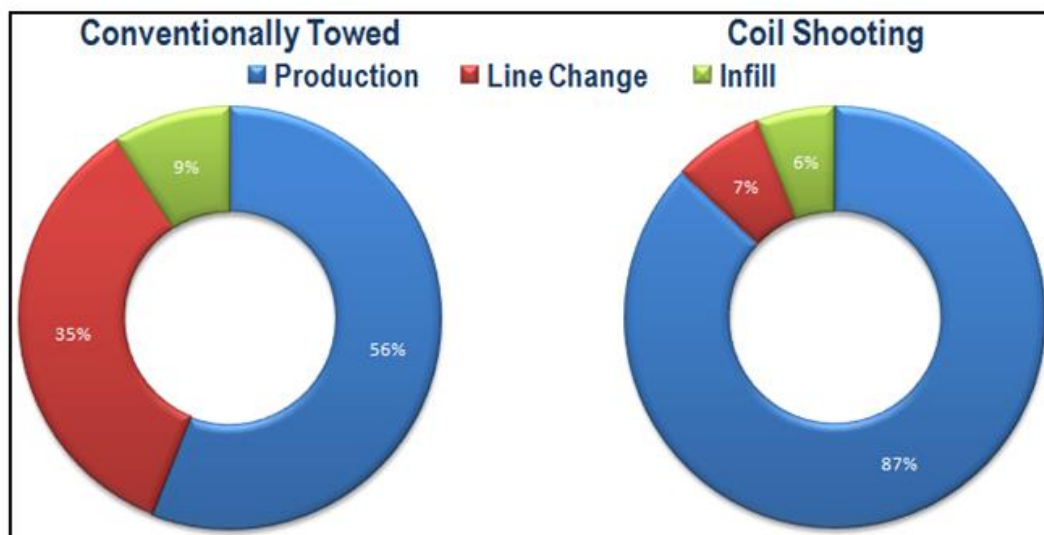


Picture 2. The coil shooting technique.

The results show that the coil datasets results in better fault resolution, better dip discrimination in the fault blocks and improved multiple attenuation (Picture 2). An area of reduced vertical resolution can be seen on the east flank of the structure but this can be attributed to the very limited migration aperture at this point. The coil shooting test, backs up the modeling results, and demonstrates that the original requirements were met: fault resolution, fault block illumination, dip discrimination, and dip direction. The area chosen for the test did not include the dome structure. It can be seen from the coil shooting tests that it is a realistic solution to complex imaging problems. The economics of coil survey design show that surveys are competitive to 3 azimuth MAZ surveys but with additional benefits in terms of azimuthal sampling and nearly double the data volume to aid signal-to-noise. The complex nature of the coil shooting design means that forward modeling would always be recommended to ensure that survey requirements are met.

According to the pie-chart 1 coil shooting is more effective than traditional marine seismic data acquisition.

As an industry a lot of effort has been made to mitigate the poor azimuth sampling associated with towed streamer geometries by using multi-pass (MAZ) and multi-vessel (WAZ) solutions.



Pie-chart 1. Acquisition results.

While these geometry solutions have proved very effective they do have some constraints. Neither solution provides full sampling in both offset and azimuth and are operationally constrained by the need for large fleets of vessels. Coil shooting has recently been developed and deployed as a method to acquire a full azimuth dataset with a single towed streamer vessel. With the coil shooting methodology a towed streamer vessel follows a circular pre-plot. This pre-plot is then repeated inline and crossline, to build-up fold, offset distribution and azimuth distribution. As well as acquiring a dataset rich in azimuth with a single towed streamer vessel, the acquisition solution is highly efficient because of the reduction in line change time. Line change is reduced from 3 hours to a matter of minutes increasing acquisition uptime by as much as 80%. [4]

Coil shooting is a really great innovation. The reason is that it gives us better resolution than conventional marine seismic data acquisition. It is a new technology that reduces dramatically non-productive time and also increases the resolution of seismic data.

Литература

1. An International Journal for the Study of the Earth Beneath the Sea. Co-Editors-in-Chief: S.-K. **Hsu**; A.E. **Draut** ISSN: 0025-3235 (print version). ISSN: 1573-0581 (electronic version). Journal no. 11001.
2. Cody Ozcan, Assistant Editor, and Scott Weeden, Senior Editor. 2012 Meritorious Awards For Engineering Innovation.
3. D.I. Hill* (WesternGeco), G. Brown (WesternGeco), R. Campbell (WesternGeco) & E. Hager (WesternGeco)nEAGE 2009 A Highly Efficient Coil Survey Design.
4. M. Houbiers (StatoilHydro Research Center) & M. Thompson (StatoilHydro Research Center) EA-GE 2009 Full Azimuth Field Trial at Heidrun.
5. Sheriff, R.E., Geldart, L.P., (1995), 2nd Edition. Exploration Seismology. Cambridge University Press.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НА ВОЛНОВОЕ ПОЛЕ И КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИНАМИЧЕСКОГО И СЕЙСМОФАЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА НА УЧАСТКЕ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Мохов Г.В., Мохова Д.В.

ОАО «Нарьян-Марсейсморазведка», г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: nmsrspb@sovintel.ru

В данной статье представлены результаты динамического и сейсмофациального анализа с использованием результатов бурения скважины и сейсмоданных 3Д для картирования толщин коллекторов по площади газового месторождения. Задача решалась путем выявления коллекторских интервалов и оценки их параметров по данным ГИС, составления синтетических разрезов изменения свойств коллекторов, расчета синтетических сейсмограмм, сопоставления синтетических данных с результатами детерминистической инверсии и сейсмофациального анализа.

STUDY OF THE CARBONATE RESERVOIRS'S EFFECT ON THE WAVE FIELD AND AGGREGATION OF THE RESULTS OF DYNAMIC AND SEISMIC FACIES ANALYSIS AT THE NORTHERN PART OF THE TIMAN-PECHORA

Mokhov G.V., Mokhov D.V.

ОАО «Naryan-Marsesmorazvedka», Saint Petersburg, Russia, e-mail: nmsrspb@sovintel.ru

This article presents the results of dynamic and seismic facies analysis using the results of drilling the well and seismic data to map the 3D thickness of the reservoir area gas field. The problem was solved by identifying the reservoir intervals and estimation of their parameters on GIS data, making changes in the properties of synthetic sections of collectors, the calculation of synthetic seismograms, comparison of synthetic data with the results of deterministic inversion and seismic facies analysis.

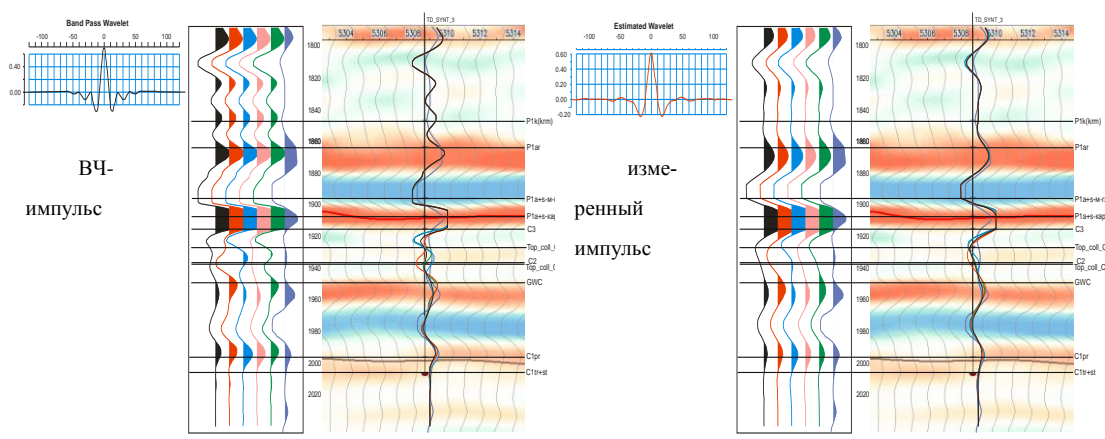
В административном отношении площадь исследований расположена за полярным кругом на территории Ненецкого автономного округа Архангельской области.

Изучаемое месторождение открыто в конце XX века в северной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции в карбонатных отложениях каменноугольно-нижнепермского нефтегазоносного комплекса (НГК). Скважиной – первооткрывательницей вскрыты коллекторы мощностью 35 м и пористостью 9%.

В связи с тем, что на площади работ к настоящему времени пробурена только одна скважина, для оценки возможного влияния изменения свойств коллекторов на волновое сейсмическое были составлены синтетические кривые скоростей продольных волн, учитывающие изменение свойств коллекторов: от улучшений толщин коллекторских интервалов в два раза относительно вскрытых скважиной до практически полного отсутствия коллекторов и замещения их плотными разностями.

В качестве исходного импульса для расчета волнового поля использован нульфазовый импульс Рикера, выбор АЧХ которого обусловлен необходимостью получить схожую по виду с ближайшими к скважине сейсмотрассами синтетическую трассу. Кроме того, были получены синтетические трассы и с использованием более высокочастотного импульса (полосовой фильтр 10–15 Гц, 60–70 Гц).

На обеих группах синтетических сейсмограмм (рассчитанных для реальных частот и для высоких) появление дополнительных отражений и большая дифференцированность сейсмозаписи свидетельствует о появлении дополнительных интервалов коллекторов (Рис. 1). Синтетическая трасса, отвечающая отсутствию коллекторов по всему анализируемому интервалу, характеризуется меньшей дифференцированностью кривой импеданса и сейсмической трассы. Сильных отражений не наблюдается, что является следствием большей однородности разреза по акустической жесткости.



— реальная сейсмограмма

Синтетические сейсмограммы, рассчитанные по кривым акустического импеданса скв. 1 – Северная

— исходная акустическая кривая; $h_{эф} = 35$

— Модель 1: $h_{эф} = 0$ м в верхнекаменноугольных отложениях, $h_{эф} = 24,3$ м в среднекаменноугольных отложениях и $h_{эф} = 23,6$ м в протвинских отложениях

— Модель 2: $h_{эф} = 16,6$ м в верхнекаменноугольных отложениях, $h_{эф} = 0$ м в среднекаменноугольных отложениях и $h_{эф} = 0$ м в протвинских отложениях

— Модель 3: отсутствие коллекторов

— Модель 4: $h_{эф} = 16,6$ м в верхнекаменноугольных отложениях, $h_{эф} = 24,3$ м в среднекаменноугольных отложениях и $h_{эф} = 23,6$ м в протвинских отложениях

Разрешенность реальных сейсмоданных является недостаточной для уверенной корреляции отражений, непосредственно связанных с отдельными коллекторскими интервалами, и оценки свойств каждого коллектора. Поэтому результаты динамического анализа используются для оценки толщин коллекторов в целом, по интервалу и дополняются результатами сейсмофациального анализа.

Расчет карт сейсмофаций осуществлялся с использованием технологии нейронных сетей. Изучаемые интервалы представлены слоями постоянной мощности, приуроченными к заданной отражающей границе. Сейсмофации соответствует пакет отражений определенной конфигурации, попадающий в окно анализа (Рис. 2)

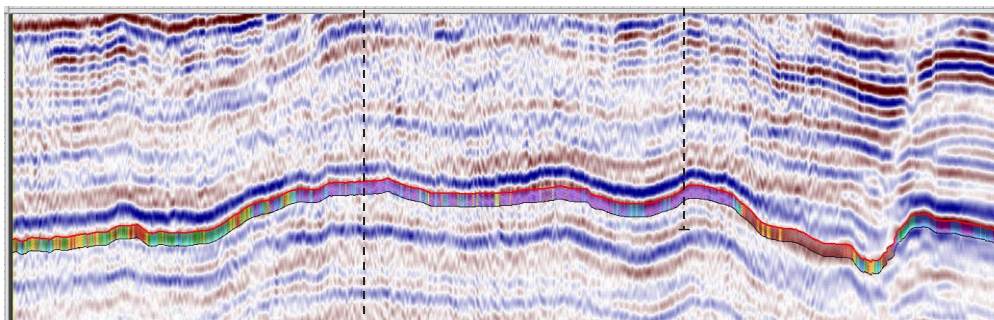


Рис. 2. Фрагмент временного разреза и распределение классов сейсмофаций в продуктивном интервале разреза.

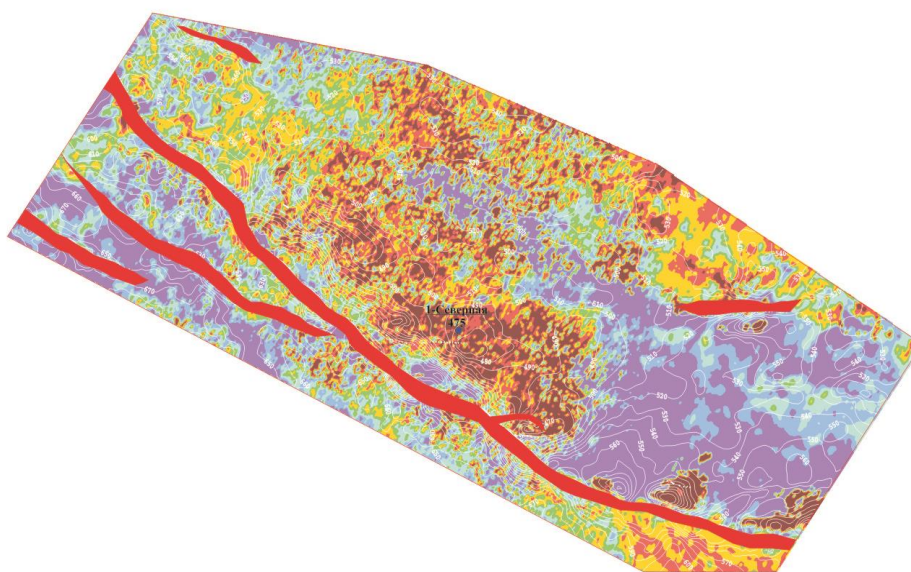


Рис. 3. Карта сейсмофаций продуктивного интервала разреза.

В распределении классов сейсмофаций выделяется центральная зона, большей своей частью охватывающая антиклинальную структурную форму, но имеющая отчетливое смещение в северо-западном направлении (Рис. 3).

Учитывая характер перекрывающих отложений, явно заполняющих отрицательные формы рельефа по периферии антиклинальной структуры (Рис.....), делается вывод о том, что положительная структура сохраняла свое относительно приподнятое положение в течении длительного времени, и на большей ее части можно предположить распространение толщ, схожих по свойствам и мощности со вскрытыми скважиной.

В пределах этой зоны сходства классов сейсмофаций проводился анализ значений акустического импеданса целевого интервала разреза.

По полученному кубу акустического импеданса в целевом интервале разреза были рассчитаны карты распределения толщин коллекторов (Рис. 4). Классификация интервалов по типу "коллектор-неколлектор» основывалась на результатах анализа петрофизических свойств пород-коллекторов, выявленных для месторождений каменноугольно-нижнепермского НГК.

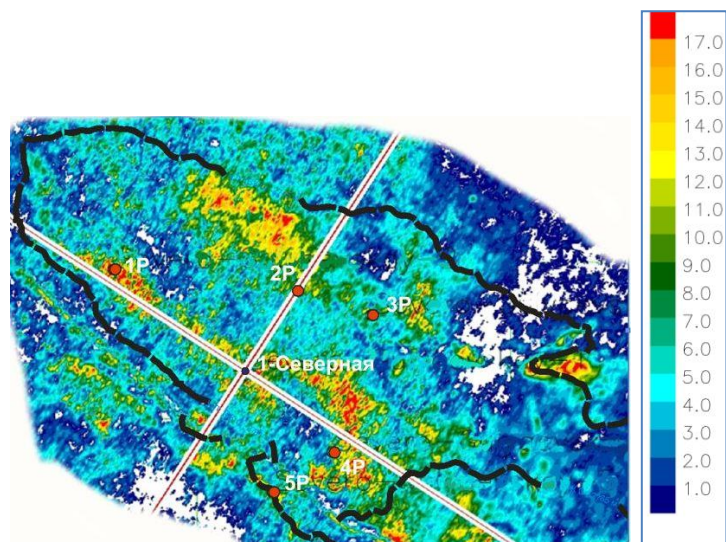


Рис. 4. Карта распределения временных толщин коллекторов.

Значительное ухудшения ФЕС коллекторов до полного их исчезновения происходит в самой северо-восточной части месторождения.

Отчетливо выделяются зоны, в которых толщины коллекторов предполагаются схожими со вскрытыми скважиной, а также большими.

Установленное распределение толщин коллекторов является положительным фактором для разворачивания разведочных работ на изучаемом месторождении. На следующих этапах работ, по мере появления новых современных данных по исследованию скважин, следует ожидать уточнения распределения коллекторов по площади и выявления их специализации по типам фильтрационно-емкостных свойств.

Литература

1. Максимов С.П., Дикенштейн Г.Х. и др. Геология нефти и газа Восточно-Европейской платформы, М., «Недра», 1990.
2. Стратиграфические и литологические залежи нефти и газа. Гостинцев К.К., Гроссгейм В.А. Л., Недра, 1969, 264 с.

ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЙ ГЕОАКУСТИЧЕСКИЙ КАРОТАЖ

Панферова Н.А.

ООО «ПКФ «Недра-С», г. Астрахань, Россия, e-mail: *panferova@nedras.ru*

Тезисы посвящены прибору трехкомпонентного геоакустического каротажа (ТК ГАК). В статье описан принцип работы прибора, его основные характеристики; показаны примеры замеров в скважинах. Сделаны выводы по имеющимся данным и дальнейшие перспективы работ этим прибором. Имеется сравнительная характеристика замеров приборами ТК ГАК и СТК МГС (спектральный трехкомпонентный каротаж микровибраций геосреды).

THREE-COMPONENT GEO-ACOUSTIC LOGGING

Panferova N.A.

LLC PCC «Nedra-S», Astrakhan, Russia, e-mail: *panferova@nedras.ru*

The report is about three-component geo-acoustic logging (TCGL). Principle of works implementation and main tool's characteristics are described in this report. There are some examples of TCGL measurements in wells. You may find here working conclusions and TCGL future prospects. There is a comparative analysis of TCGL and STCL (spectral three-component logging) measurements.

В Институте геофизики Уральского отделения Российской академии наук на основе изучения пространственного и временного распределения амплитудно-частотных характеристик геоакустических сигналов (ГАС) диапазона частот 20-5000 Гц разработан геофизический метод исследования скважин – трехкомпонентный геоакустический каротаж.

В отличие от известного в отечественной и мировой практике метода скважинной шумометрии при измерении ГАС в скважинах используется трехкомпонентная система ортогонально расположенных датчиков-акселерометров, жестко скрепленных с корпусом скважинного прибора. Эта система датчиков регистрирует микровибрации среды в вертикальном и горизонтальных направлениях [2, 3].

Микровибрации геосреды возникают за счет движения пластовой воды, углеводородной жидкости, газа или их смесей через пустоты за обсадными колоннами, через перфорационные отверстия или негерметичные соединения подземного оборудования скважины.

Генерация колебаний в полосе частот 100–5000 Гц зависит от следующих факторов: объём флюида, разность давлений по стволу скважины, траектория пути флюида, структурные особенности среды, по которой движется флюид и др.

Измерения проводятся аппаратурой ВИ 4006А, разработанной в Институте геофизики Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург).

Применительно к решению задач по контролю за разработкой месторождений углеводородов фирма ООО «ПКФ «Недра-С» предлагает использовать аппаратно-программный комплекс трехкомпонентного геоакустического каротажа для решения следующих задач [4]:

1. Обнаружение потока флюида за пределами или внутри обсадных труб;
2. Определение положения потока флюида в полостях цементного кольца;
3. Определение местоположения газовых или газожидкостных поступлений в обсадных трубах;

4. Определение типа потока флюида;
5. Изучение профиля притока в перфорированном интервале обсадной колонны;
6. Выявление негерметичности колонны (в комплексе с термометрией)
7. Определение интервалов движения флюидов в горизонтальном направлении за обсадными колоннами внутри пластов (другими методами это не определить);
8. Выявление техногенных залежей.

Колебания в диапазоне частот 100–5000 Гц проходят через сталь, газ, жидкость и другие среды. Хотя в этих средах и происходит ослабление сигналов, но оно невелико, и при помощи высокочувствительной аппаратуры движение флюидов обнаруживается и при многорядной конфигурации скважин. Любое колебание ослабевает по своей интенсивности с пройденным расстоянием. При увеличении частоты колебаний возрастает их затухание с расстоянием. Низкие частоты подвержены меньшему затуханию.

Проведенные работы по методике измерений ГАС показали, что влияние обсадных колонн на показания метода отсутствует. Это было получено из сравнения измерений геоакустических сигналов в открытом стволе скважины и после спуска обсадной колонны.

Измерения геоакустических сигналов производятся при остановке скважинного прибора на заданной глубине. Время измерений составляет 30с, при этом первые 10с не проводят запись сигналов, это время необходимо на успокоение прибора.

Физический смысл использования того или иного информативного параметра ГАС и его последующая интерпретация на качественном уровне сводятся к следующему. Наличие амплитудных аномалий на компонентах ГАС в диапазоне частот 100–500 Гц (параметры N1 и Z1) характеризует движение флюида в вертикальном или горизонтальном направлениях, а также динамическую активность осадочной толщи пород. Здесь параметр N является результирующей сигналов с горизонтальных неориентированных в пространстве датчиков в трех полосах частот: 100–500 Гц (N1), 500–5000 (N2) и 2500–5000 Гц (N4). Аномалии параметров N1 и Z1 указывают на движение воды, N2 и Z2 – отражают наличие и движение флюида с газовым фактором (газожидкостная смесь).

Аномалии ГАС в области высоких частот (параметры N4 и Z4) свидетельствуют о движении газа. Этот факт о выделении газовых пластов на высоких частотах независимо отмечен и другими исследователями в области шумового каротажа[1].

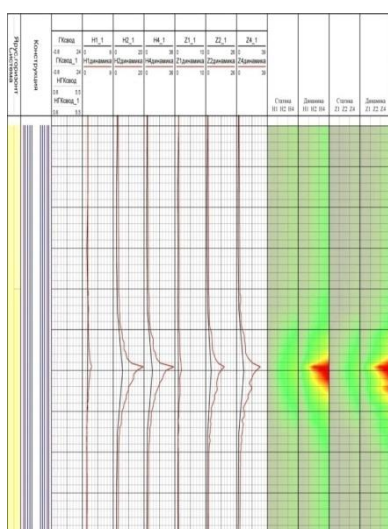


Рис. 1. Определение негерметичности методом ТК ГАС.

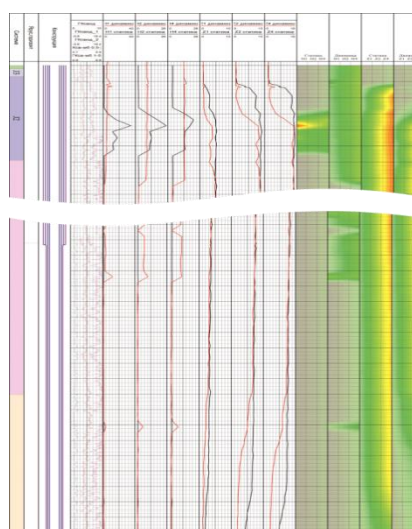


Рис. 2. Определение межпластового перетока методом ТК ГАС.

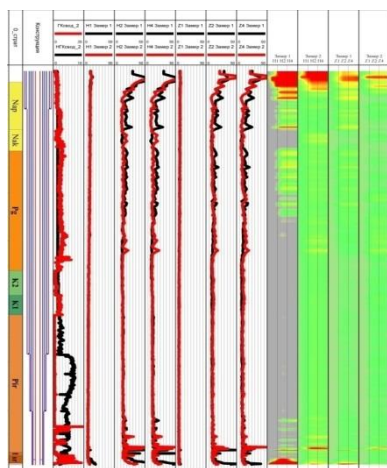


Рис. 3. Определение источника МКД методом ТК ГАК.

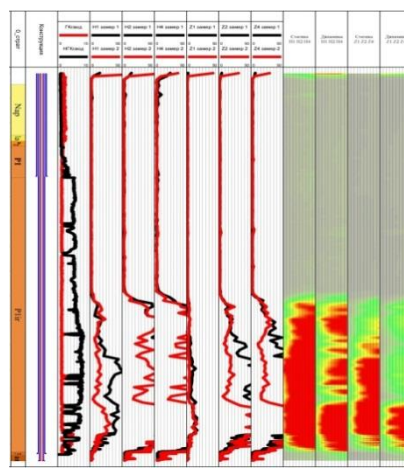


Рис. 4. Определение заколонного скопления УВ методом ТК ГАК.

На базе прибора ТК ГАК компанией ООО «ПКФ «Недра-С» велась разработка прибора спектрального трехкомпонентного каротажа микровибраций геосреды (СТК МГС). Прибор СТК-МГС также фиксирует интенсивность упругих волн в скважине, природа которых обусловлена процессами геодинамики и технологическими процессами, связанными с разработкой месторождений.

Скважинный прибор выполнен в стальном корпусе диаметром 42 мм, длиной 1260 мм и предназначен для работы в действующих скважинах в автономном режиме. Прибор содержит три взаимортогональных датчика упругих волн. Все три датчика идентичны по характеристикам, расположены в едином пространстве внутри корпуса прибора и ориентированы по координатам X, Y, Z, что исключает потерю сигнала при несовпадении вектора максимальной чувствительности датчика с направлением распространения упругих волн [5].

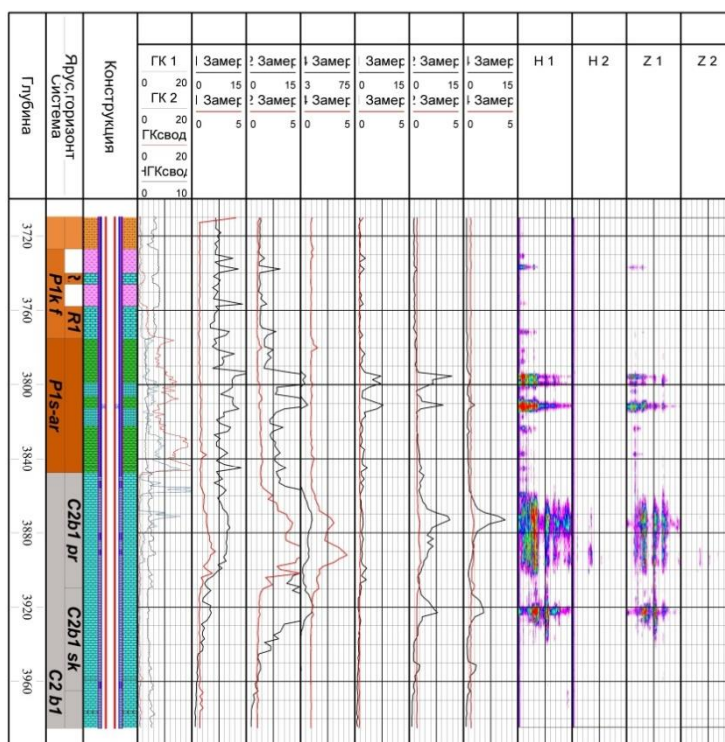


Рис. 5. Определение профиля притока методами ТК ГАК и СТК МГС.

На данный момент методика обработки полученных данных и методика интерпретации находятся в разработке. Результаты интерпретации имеют качественный уровень и не претендуют на количественные параметры. Фирмой «Недра-С» были проведены опытные работы в скважинах Астраханского газоконденсатного месторождения на определение профиля притока. Замер проводился одновременно приборами ТК ГАК и СТК МГС. Результаты замера представлены на рис. 5.

Замер проводился в интервале 3710–3998 м на двух режимах исследования – в работающей скважине и в остановленной (красные кривые – замер в работающей скважине, черные – в остановленной). На замерах обоих приборов видно, что интервал 3850–3910 м является наиболее газоотдающим. Аномалии на кривых ТК ГАК подтверждаются интенсивными всплесками на замерах методом СТК МГС.

Исследования методом ТК ГАК на Астраханском газоконденсатном месторождении проводятся более 6 лет. За это время был накоплен значительный опыт в проведении работ и в интерпретации. Метод СТК МГС является новым, находится на стадии разработки. Как видно из приведенных примеров, этот метод более информативный и более точный, интервалы флюидопроявлений выражены более отчетливо, прибор позволяет работать с частопереслаивающимся разрезом. Данные, полученные методом СТК МГС, легче поддаются обработке и ликвидации посторонних шумов, прибор регистрирует более широкий частотный диапазон.

Компанией «Недра-С» планируется дальнейшее проведение работ описанными методами, накопление необходимого опыта для интерпретации метода СТК МГС, проводятся дальнейшие работы над конструкцией прибора, изменение его параметров для работы в агрессивных средах.

Литература

1. Коротаяев Ю.П., Грдзелова К.Л., Гергедава Ш.К., Участкин Ю.В. Акустический способ исследования скважин/ Газовая промышленность, 1983, № 11, с. 18–20.
2. Николаев С.А., Овчинников М.Н. Генерация звука фильтрационным потоком в пористых средах./ Акустический журнал, 1992, т. 38, вып. 1, с. 114–119.
3. Троянов А.К., Белоглазова Н.А. Оптимизация комплекса информативных параметров геоакустических шумов при решении задач в нефтегазовых скважинах./ Сб. трудов, XIII сессия Российского акустического общества, М., ГЕОС, 2003, т. 2, с. 163–166.
4. Троянов А.К., Рабаева Н.С. Методическое руководство по интерпретации трехкомпонентного геоакустического каротажа, Астрахань, 2010 г.
5. Яруллин Р.К., Рабаева Н.С. Временные методические рекомендации по проведению исследований и интерпретации материалов ПГИ с применением спектрального трехкомпонентного геоакустического прибора СТК МГС, Астрахань, 2014 г.

МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ЗЕМНОЙ КОРЕ

Панфилов А.А.

Северо-восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН
(СВКНИИ ДВО РАН), г. Магадан, Россия, e-mail: *panfilov@neisri.ru*

Обсуждаются результаты математического моделирования распространения электромагнитных (ЭМ) волн в Земной коре. Рассматривается изменение спектрального состава ЭМ волн при их распространении в статичных и подвижных проводящих средах.

A MODEL OF ELECTROMAGNETIC WAVES PROPAGATION IN EARTH CRUST

Panfilov A.A.

N.A. Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute FEB RAS (NEISRI FEB RAS), Magadan,
Russia, e-mail: *panfilov@neisri.ru*

The results of mathematical modeling of electromagnetic waves propagation in Earth crust are discussed. Change of electromagnetic waves' spectrum due to propagation in static and movable conducting mediums is viewed.

Известно, что многие землетрясения сопровождаются электромагнитными (ЭМ) аномалиями [1-8]. Их связывают с ионосферными возмущениями, выходом заряженных частиц из недр Земли, движением водных растворов в области образования трещин и прочими механизмами генерации ЭМ излучения в недрах Земли [7-10]. Надо отметить, что в ряде случаев при землетрясениях ЭМ предвестники не появлялись [11].

Одна из основных проблем в изучении сейсмоэлектромагнитных (СЭМ) предвестников землетрясений заключается в отсутствии достоверной информации о протекающих в гипоцентре процессах. К тому же, большое количество техногенных помех затрудняют детектирование ЭМ аномалий непосредственно связанных с сейсмическими процессами [12].

Очевидно, что процесс подготовки землетрясения сопровождается разрушением горных пород гипоцентра, что приводит к механоэлектрическим преобразованиям. Многочисленные эксперименты подтверждают, что даже горные породы, не содержащие пьезоэлектриков, подвергающиеся механическому воздействию, могут возбуждать ЭМ излучение и ток в широком диапазоне частот [13, 14].

Полагая, что основным источником ЭМ предвестников землетрясений являются различные механоэлектрические преобразования в гипоцентре [15], исследователи обходят стороной вопрос о распространении ЭМ волн в полупроводящих и проводящих средах, а также возможности их выхода на поверхность Земли.

Из полученных ранее результатов лабораторных исследований было установлено, что основная энергия ЭМ сигнала при разрушении горных пород лежит в диапазоне 0-10 кГц [16]. ЭМ волны данного диапазона способны распространяться на большие дистанции в средах с низким электрическим сопротивлением [17]. Для более точного выделения ЭМ предвестников, полагая, что их источник находится в гипоцентре землетрясения и форма сигнала известна (по экспериментальным данным), необходимо изучить каким образом, распространяющийся в недрах Земли сигнал видоизменяется. Необходимо также учиты-

вать тот факт что среда, в которой происходит возбуждение СЭМ излучения, либо источник является подвижной. Проведение физических экспериментов затруднено, поскольку требует наличие дорогостоящего оборудования и подготовительных процедур, таких как бурение скважин на достаточно большую глубину. Помимо этого, подобные натурные работы должны осуществляться на больших площадях и носить длительный характер. Единственным приемлемым способом, изучать процесс распространения ЭМ излучения в земной коре - проведение компьютерных экспериментов.

На основе метода конечных разностей во временной области [18] нами была разработана модель распространения ЭМ волн в Земной коре. Источником сигнала служит заданная функция, либо предварительно сделанная запись реального ЭМ сигнала.

На рисунке 1 представлена исследуемая область размером 20*40 км, содержащая неоднородности. На уровне 0 находится линия раздела двух сред – атмосфера-грунт. Источник сигнала находится в точке A_0 . Показания снимаются в точках A_0 , A_1 , A_2 . Точка A_2 находится непосредственно у Земной поверхности. Области чёрного цвета имеют наибольшую электропроводность, белого – наименьшую. Максимальное и минимальное значение относительной диэлектрической проницаемости были 40 и 4 соответственно. Относительная магнитная проницаемость среды была принята за единицу. В качестве источника ЭМ излучения служат записи, сделанные в лабораторных условиях во время экспериментов по генерации ЭМ откликов образцами горных пород на механическое воздействие [16].

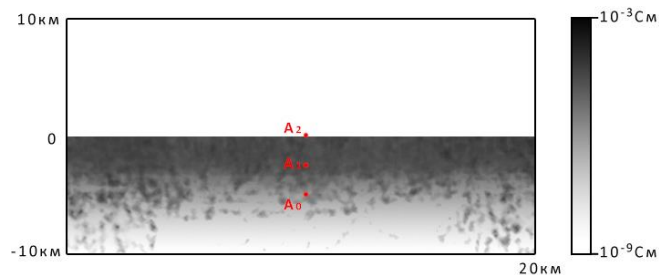


Рис. 1. Исследуемая область. Точки A_0 , A_1 и A_2 – источник излучения и точки регистрации показаний соответственно.

В случае неподвижного источника в точке A_0 спектр содержит низкочастотную составляющую ниже 100 Гц, амплитуда которой мала по сравнению со значениями на более высоких частотах. По мере распространения сигнала в толще земли высокочастотные составляющие значительно затухают. Так пик сигнала, который в точке A_0 приходился на частоту 1.8 кГц уменьшается на 5 порядков в точке A_1 и практически отсутствует у линии раздела сред. Низкие частоты претерпевают меньшее затухание и по мере распространения от источника излучения, они начинают значительно выделяться на фоне более высоких частот. В целом такая картина соответствует теории распространения ЭМ волн в проводящих средах [19].

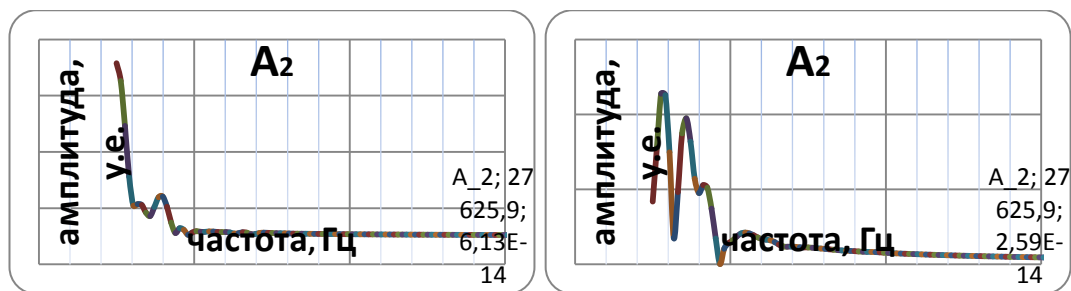


Рис. 2. Спектр ЭМ сигнала в точке A_2 при неподвижном и подвижном источниках излучения.

Сравнив спектры сигналов исходящих из статического и подвижного (с частотой 1 кГц) источников (Рис. 2), можно заметить, что уровень последнего на один порядок меньше, чем первого. В точке A_0 присутствует большой пик на частоте 2,85 кГц. Во всех точка наблюдается подъем амплитуды на частоте 1 кГц, что очевидно связано с движения источника. Было отмечено, что низкочастотная составляющая на частотах ниже 0.2 кГц практически полностью отсутствует или крайне мала. Однако по мере распространения ЭМ поля в проводящей среде эта составляющая становится более заметной, в основном за счёт уменьшения амплитуд на более высоких частотах. В спектре сигнала вышедшего на поверхность (точка A_2) присутствует заметный пик в области 1,2 кГц.

В результате численного эксперимента было выявлено, что ЭМ излучение значительно затухает по мере распространения в проводящей среде. Спектр меняется в большей степени за счёт сильного ослабления сигнала в области высоких частот.

В случае с движущимся источником, спектральный состав излучения претерпевает более существенные изменения. Так в спектре присутствует компонента, совпадающая с частотой колебания источника. Она сохраняется вплоть до выхода излучения из проводящего слоя. Также отмечается появление пика на более высоких частотах, которых отсутствовали в исходной записи ЭМ сигнала. Надо отметить и наличие очень слабой, по сравнению со случаем статического источника, низкочастотной составляющей, которая становится более заметной по мере распространения ЭМ излучения в проводящей среде.

Литература

1. Kopytenko, Y.A., Matiashvili, T.G., Voronov, P.M., Kopytenko, E.A., and Molchanov, O.A.: Ultra low frequency emission associated with Spitak earthquake and following aftershock activity using geomagnetic pulsation data at observatories Dusheti and Vardziya, Preprint of IZMIRAN, Vol. 3, 888, 1990.
2. Molchanov, O.A., Kopytenko, Y.A., Voronov, P.M., Kopytenko, E.A., Matiashvili, T.G., Freser-Smith, A. C., and Bernardi, A.: Results of ULF magnetic field measurements near the epicenters of the Spitaka ($M_s = 6.9$) and Loma Prieta ($M_s = 7.1$) earthquakes: comparative analysis, *Geophys. Res. Lett.*, 19, 1495–1498, 1992.
3. Eftaxias K. and others.: Experience of short term earthquake precursors with VLF–VHF electromagnetic emissions // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2003. № 3. P. 217–228.
4. Lsaev, N., Serebrakova, O., and Teodosiev, D.: Electromagnetic and plasma effects of the seismological activity in the Earth ionosphere, *Bulgarian J. Physics*, 27, 43–46, 2000.
5. Hayakawa M., and others.: A network of reception of over-horizon VHF signals associated with earthquakes and some preliminary results // *Journal of Atmospheric Electricity*. 2005. Vol. 25. №1. P. 19–28.
6. Ida, Y., Yang, D., Li, Q., Sun, H., and Hayakawa, M.: Detection of ULF electromagnetic emissions as a precursor to an earthquake in China with an improved polarization analysis, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 775–777, 2008.
7. Hayakawa, M.: *Atmospheric and ionospheric electromagnetic phenomena associated with earthquakes*, Terra Sci. Pub. Co., 1990.

8. Ishido, T. and Mizutani, H.: Experimental and theoretical basis of electrokinetic phenomena in rock-water systems and its applications to geophysics, *J. Geophys. Res.*, 86, 1763–1775, 1981.
9. Vallianatos, F. and Tzanis, A.: Electric current generation associated with the deformation rate of a solid: Preseismic and coseismic signals, *Phys. Chem. Earth*, 23, 933–939, 1998.
10. Nitsan, U.: Electromagnetic emission accompanying fracture of quartz-bearing rocks, *Geophys. Res. Lett.*, 4, 333–337, 1977.
11. Masci, F.: Comment on “Ultra Low Frequency (ULF) European multi station magnetic field analysis before and during the 2009 earthquake at L’Aquila regarding regional geotechnical information” by Prattes et al. (2011), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1717–1719, doi:10.5194/nhess-12-1717-2012, 2012b.
12. Tzanis, A., Vallianatos, F., and Gruszow, S.: Identification and discrimination of transient electric earthquake precursors: Fact, fiction and some possibilities, *Phys. Earth Planet. Int.*, 121, 223–248, 2000.
13. Anastasiadis, C., Triantis, D., and Hogarth, C. A.: Comments on the phenomena underlying pressure stimulated currents (PSC) in dielectric rock materials, *J. Mater. Sci.*, 42, 2538–2542, 2007.
14. Rabinovitch, A., Frid, V., and Bahat, D.: Parametrization of electromagnetic radiation pulses obtained by triaxial fracture of granite samples, *Phil. Mag. Lett.*, 77, 289–293, 1998.
15. Гохберг М.Б. и др. Сейсмoeлектромагнитные явления. М.: Наука, 1988. 176 с.
16. Panfilov, A. A.: The results of experimental studies of VLF–ULF electromagnetic emission by rock samples due to mechanical action, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 1383–1389, 2014.
17. Крутецкий И.В. *Электромагнитные поля и волны в морской среде*. Л.: Судостроение, 1982. 256 с.
18. Taflove A. and Hagness S.: *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*, 3 ed. Artech House, Boston, MA, 2005.

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАТОСОДЕРЖАЩИХ СРЕД И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Пермяков М.Е.¹, Фадеева И.И.¹, Дучков А.Д.¹, Манакон А.Ю.², Дучков А.А.¹, Голиков Н.А.¹, Дробчик А.Н.¹, Манченко Н.А.¹

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (ИНГГ СО РАН), г. Новосибирск, Россия, e-mail: *PermyakovME@ipgg.sbras.ru*

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН (ИНХ им. А.В. Николаева СО РАН), г. Новосибирск, Россия

В настоящей работе даётся описание лабораторных установок для экспериментального моделирования гидратосодержащих образцов и изучения их физических свойств, а также приводится устройство зондов для исследования тепловых, электрических и акустических свойств сред в этих установках. При помощи описанных лабораторных установок выполнены эксперименты, направленные на отработку методики изготовления различных гидратосодержащих образцов и изучение их физических свойств. Обсуждаются некоторые результаты, полученные в этих экспериментах.

LABORATORY SIMULATION OF HYDRATE BEARING MEDIA AND STUDY OF THEIR PHYSICAL PROPERTIES

Permyakov M.E.¹, Fadeeva I.I.¹, Duchkov A.D.¹, Manakov A.Yu.², Duchkov A.A.¹, Golikov N.A.¹, Drobchik A.N.¹, Manchenko N.A.¹

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russia, e-mail: *PermyakovME@ipgg.sbras.ru*

²A.V. Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS (NIIC SB RAS), Novosibirsk, Russia

In this paper, a description of experimental laboratory setups for simulation of hydrate samples and studying their physical properties as well as design of probes for the study of thermal, electrical and acoustic properties of the media in the setups are given. Using the described laboratory setups the experiments were conducted aimed at the development of techniques of making various hydrate containing samples and study their physical properties. Some of the results obtained in the experiments are discussed.

Газовые гидраты – кристаллические вещества, образующиеся из воды и газа-гидратообразователя при низких (но не обязательно отрицательных) температурах и высоких давлениях. Гидраты метана широко распространены в осадках окраинных морей при глубине воды свыше 300-400 м [2]. Интерес к природным газогидратам вызван, прежде всего, их энергетическим потенциалом. Природные газогидраты встречаются как в виде массивных скоплений, так и в рассеянном виде. Несмотря на то, что физические свойства вмещающих осадочных пород и газовых гидратов различаются, их дифференциация часто может представлять собой непростую задачу интерпретации. Таким образом, актуальным является развитие геофизических методов обнаружения газовых гидратов на основе результатов исследования их физических свойств в лаборатории.

Для моделирования лабораторных образцов гидратосодержащих осадочных пород и изучения их тепловых, электрических и акустических свойств сотрудниками ИНХ СО РАН и ИНГГ СО РАН были разработаны и изготовлены специальные установки. Основными элементами установок являются стальные цилиндрические рабочие камеры высокого давления (до 13 МПа) и измерительные блоки [1]. Камеры сверху и снизу за-

крываются самоуплотняющимися obtюраторами (чем выше давление в камере, тем лучше уплотнение). Для поддержания нужной температуры используется термостат, подключённый к термостатирующей рубашке, которая выполнена заодно с рабочей камерой. Для непрерывной регистрации температуры в ходе эксперимента использовался специальный измеритель, разработанный на основе многоканального автономного измерителя температуры [3]. На рисунке 1 показана схема установки для исследования тепловых свойств. Давление в эксперименте контролировалось с помощью пьезоэлектрического преобразователя и манометра (на рис. 1 не показаны).

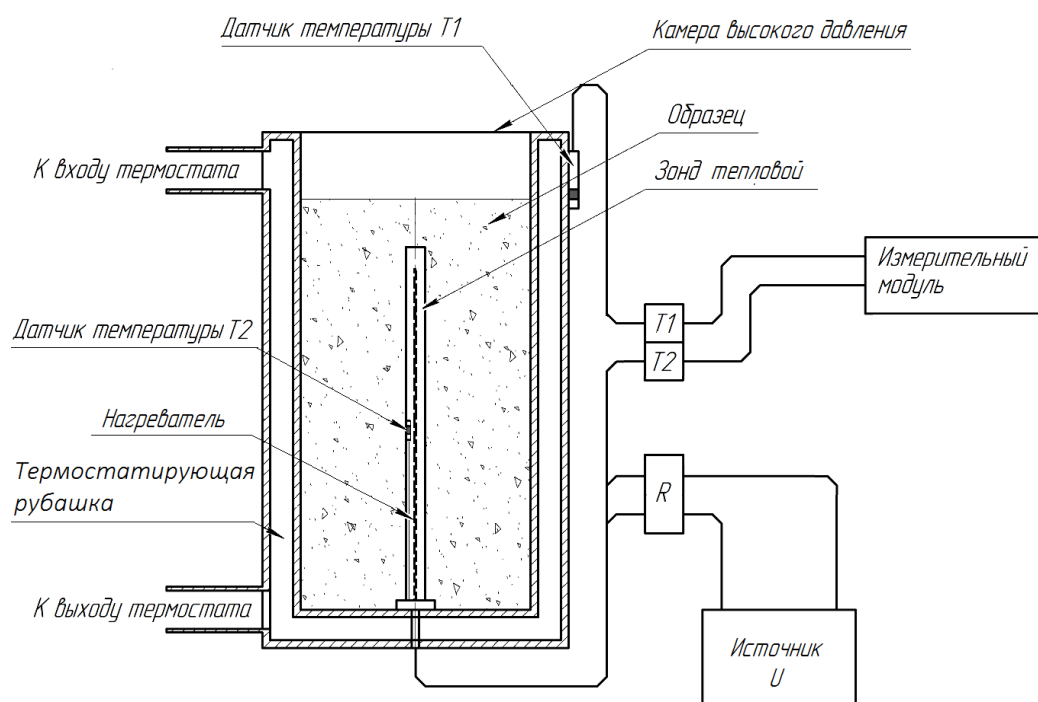


Рис. 1. Схема эксперимента по измерению тепловых свойств методом игольчатого зонда. R – сопротивление нагревателя. U – напряжение на нагревателе.

Гидратосодержащие образцы изготавливались по следующей методике. Предварительно охлаждённая смесь кварцевого песка с ледовым порошком, равномерно распределённым по объёму, загружалась в камеру при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, после чего она закрывалась, а внутренний объём несколько раз промывался метаном для удаления остаточного воздуха. Далее в камеру закачивался метан под давлением 4-7 МПа (на 2-5 МПа выше равновесного для данной температуры). Процесс гидратообразования отслеживался по падению давления в системе и по изменению температуры. Для ускорения превращения льда (воды) в гидрат образец несколько раз подвергался фазовому переходу. Такая методика позволяла получать образцы с равномерно распределённым по объёму гидратом и контролировать гидратонасыщенность.

Измерение тепловых характеристик среды проводилось при помощи цилиндрического (игольчатого) зонда постоянной мощности. Зонд представлял собой стальную трубку, в центре которой размещён терморезистор, а по всей длине расположена нагревательная проволока из манганина. На нагреватель подается напряжение, и одновременно производится запись температуры (термограмма). Термограмму, полученную при постоянной мощности нагревателя, можно описать как на больших, так и на малых временах, что поз-

воляет определить не только теплопроводность образца, но также и температуропроводность. На рис. 2 приведена термограмма для образца с метангидратом в порах. Результаты расчетов теплофизических свойств: теплопроводность $\lambda = 0.52 \pm 0.02$ Вт/м/К, температуропроводность $a = (2.5 \pm 0.5) \cdot 10^{-7}$ м²/с. Образец находился при $P = 12$ МПа, $T = 2.2$ °С; состав образца (масс. %): песок – 96.9, вода – 0.1, гидрат метана – 3.0.

Для измерения удельного электрического сопротивления (УЭС) на питающие электроды АВ четырёхэлектродного зонда АВМН подавалось синусоидальное переменное напряжение с частотой 600 Гц.

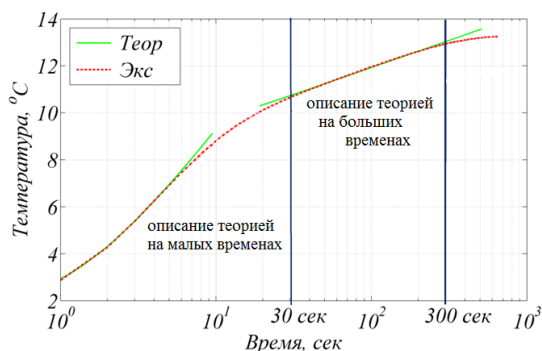


Рис. 2. Термограмма (пунктир), полученная при нагревании (постоянная мощность нагревателя $Q=6.74$ Вт/м) образца содержащего гидрат метана и теоретические кривые (сплошные) описывающие поведение термограммы на малых и больших временах.

Величина тока, протекающего через образец, регистрировалась по падению напряжения на эталонном сопротивлении R . Зная разность потенциалов на измерительных электродах MN по закону Ома, можно получить УЭС образца.

Часто в лабораторных экспериментах для моделирования природных гидратосодержащих образцов вместо метана используют тетрагидрофуран (ТГФ). В целом, это позволяет упростить экспериментальную процедуру. На рис. 3 приведены примеры изменения УЭС и температуры двух таких образцов различного состава в ходе образования гидрата.

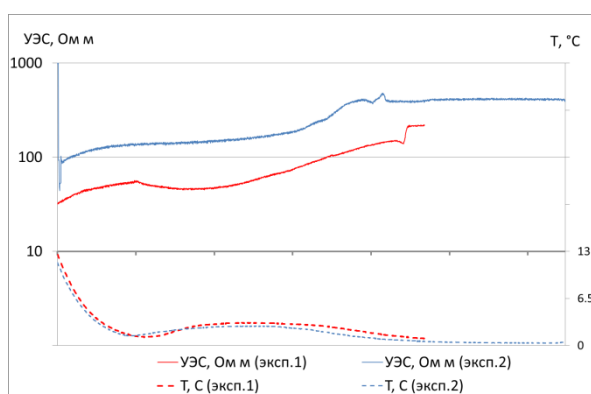


Рис. 3. Изменение УЭС и температуры в ходе гидратообразования.

Состав образцов: кварцевый песок в качестве минеральной основы; в начальном образце в порах раствор 14.5% ТГФ в дистиллированной воде с добавлением 0.3 г/л NaCl. К

концу гидратообразования в порах гидрат ТГФ и раствор. В «эксперименте 1» раствор в избытке, в «эксперименте 2» – в недостатке.

В 2014 г. при поддержке гранта РФФИ изготавливается установка для изучения акустических свойств мёрзлых и гидратсодержащих образцов. Измерительный зонд состоит из пьезокерамического излучателя и приёмника, расположенных друг напротив друга и удерживаемыми стержнями. Между излучателем и приёмником находится исследуемый образец. Излучатель и приемник схожи по конструкции (рис. 4). В латунный корпус укладывается подложка из текстолита, в которую вклеиваются 2 пьезокерамические шайбы. Одна шайба служит для возбуждения продольных волн, а другая – поперечных. Для возбуждения волн на контакты U_p и U_s подается дельта импульс относительно потенциала земли. По времени задержки прихода импульса на приемник можно судить о скорости распространения волны. На пьезокермаику подаются импульсы с импульсного высоковольтного генератора длительностью порядка 1 мкс и амплитудой 60В. Предполагаемые частоты возбуждаемых волн 500–700 кГц. Для данных измерений будет использован цифровой осциллограф с возможностью управления с ПК.

Разработанные устройства позволят измерять физические свойства мерзлых и гидратсодержащих осадков и грунтов на разных стадиях замерзания/оттаивания, а также в процессе формирования/разложения газогидратов в образцах.

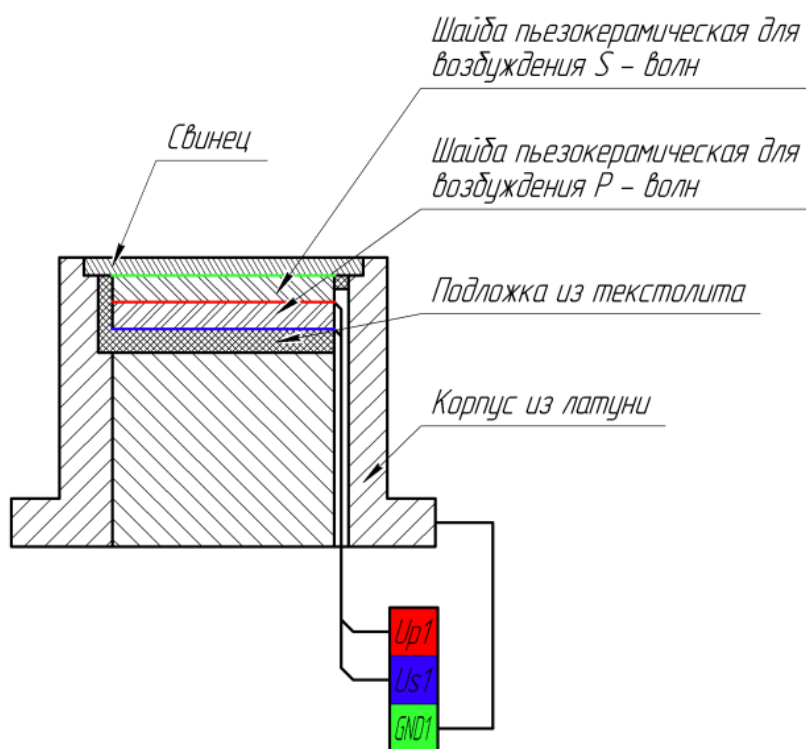


Рис. 4. Пьезокерамический излучатель.

Исследования тепловых и электрических свойств гидратсодержащих осадков проводились при поддержке Интеграционных проектов СО РАН, а также грантов РФФИ №№ 05-05-64122-а, 08-05-00804-а, 12-05-00415-а, 12-05-31370 (мол.). Изготовление установки для изучения акустических свойств мерзлых и гидратсодержащих образцов поддерживается с 2014 г. грантом РФФИ № 14-17-00511.

Литература

1. Дучков А.Д., Манаков А.Ю., Казанцев С.А., Пермяков М.Е., Огиенко А.Г. Измерение теплопроводности синтетических образцов донных осадков, содержащих гидраты метана // Физика Земли, 2009. – № 8. – С. 42–50.
2. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты. СПб. : ВНИИОкеангеология, 1994. – 192 с.
3. Казанцев С.А., Пермяков М.Е., Дучков А.Д. Устройство для оперативного температурного мониторинга // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. (Новосибирск, 15-26 апреля 2013 г.): Междунар. науч. конф. "Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология": Сб. материалов в 3 т. - Новосибирск: СГГА, 2013. – Т. 2. – С. 203–207.

АНАЛИЗ СОПОСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ МИКРОСКАНЕРОВ И КЕРНОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СУПАЛИ» БУХАРО-ХИВИНСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ (УЗБЕКИСТАН)

Пономаренко О.М., Турабеков Н.У., Янкина Л.С.

Филиал Российского Государственного Университета нефти и газа имени И.М. Губкина,
г. Ташкент, Республика Узбекистан, e-mail: *Olegponomarenko.m@gmail.com*

Обычно, в тонкослоистых коллекторах сложно опираться на данные комплекса ГИС, и необходимы данные петрофизических исследований керна. Но на сегодняшний день не все лаборатории оснащены необходимым качественным лабораторным оборудованием для быстрого и качественного анализа, что резко повышает временные и материальные затраты на обработку информации. В данной работе проводятся исследования при использовании высокоразрешающих методов (микрозонды) и показывается эффективность их использования. При корреляции полученных данных с лабораторными исследованиями керна и методами ГИС получены положительные результаты и, на данном месторождении, при оперативной интерпретации, это позволит с большой вероятностью опираться на данные микросканеров вместо данных по объекту-аналогу, что позволит сэкономить время и ресурсы.

ANALYSIS OF COMPARISON OF CORE ROCKS RESEARCH AND FMI DATA. THE CASE IS «SUPALI», BUKHARA-KHIVA OIL-AND-GAS REGION (UZBEKISTAN)

Ponomarenko O.M., Turabekov N.U., Yankina L.S.

Branch of the Russian State University of Oil and Gas named after Gubkin, Tashkent, Uzbekistan,
e-mail: *Olegponomarenko.m@gmail.com*

Usually, in thin reservoirs it's difficult to rely on complex GIS data and petrophysical data of core studies is strongly necessary. But to date, not all laboratories are equipped with the necessary quality laboratory equipment for fast and qualitative analysis, which dramatically increases the time and cost of processing information. In this paper, the research conducted by using high-resolution methods (FMI) and shows the effectiveness of their use. When the correlation was done of the data with laboratory core analysis and well logging techniques there were received positive results and at this field at the operational interpretation, it will most likely rely on the data is instead of the FMI data on object-analogue, which will save time and resources.

В данной работе проводятся исследования при использовании высокоразрешающих методов (микрозонды) и показывается эффективность их использования.

Целью работы являлось сопоставление лабораторных данных керновых исследований и показаний микросканеров и предоставление рекомендаций о дальнейшем совместном использовании этих методов на месторождении Супали.

Для этого необходимо было определить фильтрационно-ёмкостные свойства керна (пористость и проницаемость); по результатам исследований высокоразрешающих методов произвести расчленение разреза на пропластки и создать попластовую модель (только в исследуемом интервале); скоррелировать данные лабораторных исследований керна и данные методов ГИС с показаниями микросканеров.

Были исследованы 20 образцов керна карбонатных пород (известняки) и каротажные данные микроимиджеров и стандартного комплекса ГИС продуктивных горизонтов, скважины №1 (опорная скважина), месторождения Супали.

По данным стандартного комплекса ГИС и пластового имиджера FMI исследуемая толща скважины (интервал 1481–1768 м.) сложена ангидритовыми и трещиноватыми карбонатными породами – известняками и глинистыми известняками верхнего отдела юрской системы ($J_{3\text{ ок-к}}$). Исследованному интервалу принадлежат XV и XVa горизонты. В интервале исследования азимут падения пластов выдержанный и составляет юго-восток (120° – 160°). Углы падения пластов изменяются от 2 до 18 градусов, для большинства границ, выделенных по имиджу, угол падения составляет 4–8 градусов. Вторичная пористость исследуемых пород в среднем составляет 0,06%, максимальное значение – 2,3%. Глинистость 10%, проницаемость 500 Д. Проведена обработка и корреляция данных микросканеров и методов ГИС.

По данным стандартного комплекса ГИС исследованному интервалу 1481–1768 м принадлежат XV (1481–1592 м.) и XVa (1592–1768 м.) продуктивные горизонты, сложенные ангидритовыми и трещиноватыми карбонатными породами известняками и глинистыми известняками верхнего отдела юрской системы ($J_{3\text{ ок-к}}$)

В ходе интерпретации данных пластового имиджа было установлено, что отложения изучаемого интервала являются трещиноватыми, а горизонт XVa является интенсивно трещиноватым. Анализ трещиноватости проводился отдельно для двух интервалов (1481–1560 и 1560–1768 м.), т.к. методика расчета раскрытости трещин строится с учетом фонового сопротивления и сопротивления бурового раствора при температуре забоя. Большая разница сульфатных и карбонатных толщ влияют на точность расчетов и не позволяют провести расчет как для единого интервала.

В ходе анализа трещиноватости были подсчитаны раскрытость и плотность трещин для двух интервалов.

Среднее значение раскрытости трещин для верхнего (1481–1560 м) интервала составляет 0,0001 см. при средней плотности 1 трещина на метр.

Среднее значение раскрытости трещин для нижнего интервала (1560–1768 м) составляет 0,0007 см. при средней плотности 3 трещины на метр.

Была определена вторичная пористость. В скважине месторождения 4XA в интервале 1600–1768 м наличие вторичной пористости обусловлено развитием естественной трещиноватости. Среднее значение вторичной пористости в интервале 1610–1768 м составляет около 0,06%.

Максимальное значение вторичной пористости определено в трещиноватом интервале 1615–1620 м. и составляет 2.3%. В интервале 1615–1620 м наблюдается развитие каверн малого размера. Следует отметить, что на величину вторичной пористости, при расчетах по данным пластового микросканера, оказывает влияние качество имиджа. Присутствие техногенных трещин, плохое состояние ствола скважины (размыв) завышают истинное значение вторичной пористости.

Полученные результаты показывают, что данные микросканеров, в сложных тонкослоистых коллекторах, показывают очень хорошие показания, что позволяет выделить отдельные части разреза, размером до 0.5 см, выделить тонкие пласты различной литологии, расчленить разрез на пропалстки и создать пластовую модель.

Те же результаты были получены при исследовании методами ГИС и корреляцией их с кеновыми данными. Уже при оперативной интерпретации получена высокая степень корреляции между данными микросканеров и кеном. Учитывая дороговизну, длительность и трудоемкость процесса обработки керна, отсутствие на начальном этапе разведоч-

ных работ комплекса петрофизической информации, рекомендуется, в анизотропных коллекторах, при оперативной интерпретации, на данном месторождении, с большой достоверностью, опираться на данные микросканеров, вместо данных по объекту-аналогу.

Литература

1. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика (Физика горных пород): Учеб для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: ФГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2004.
2. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом. Под редакцией В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. - Москва-Тверь: ВНИИГНИ, НПЦ "Тверьгеофизика", 2003.
3. Элланский М.М. Петрофизические основы комплексной интерпретации данных геофизических исследований скважин (методическое пособие). Изд. ГЕРС. 2001.

О НОВЫХ ПОДХОДАХ К РЕШЕНИЮ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГЕОФИЗИКИ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА S-АППРОКСИМАЦИЙ

Раевский Д.Н.

Институт Физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН), г. Москва, Россия,
e-mail: *nofirma2010@mail.ru*

Метод S-аппроксимаций является одним из вариантов метода линейных интегральных представлений, предложенного В.Н. Страховым. Данный метод хорошо зарекомендовал себя при интерпретации геофизических данных. Совместно с И.Э. Степановой были разработаны модифицированный метод S-аппроксимаций и блочный метод контрастирования для интерпретации большого объема данных. В работе приводятся описания разработанных методов.

ON THE NEW APPROACHES TO SOLVE INVERSE PROBLEMS OF GEOPHYSICS BY MODIFIED S-APPROXIMATION METHOD

Raevskiy D.N.

Institute of Physics of the Earth RAS (IPE RAS), Moscow, Russia, e-mail: *nofirma2010@mail.ru*

The S-approximation method is one of the variants of linear integral representation method, suggested by V.N. Strakhov. This method well proven at interpretation of geophysical data. The modified S-approximation method and block contrast method for interpretation of big data set were developed by author together with I.E. Stepanova. Descriptions of the developed methods are given in this paper.

Обработка геофизических данных и их дальнейшая интерпретация позволяет решить большой комплекс задач: от изучения эволюции определенных физических процессов целой планеты до поисков полезных ископаемых. Все более сложные физико-геологические условия разведочных работ и большие объемы данных стимулируют разработку новых методов интерпретации. Так, например, современные месторождения углеводородов характеризуются сложнопостроенными ловушками, которые требуют особого подхода при их поиске и эксплуатации. При этом требования к повышению точности измерений только осложняют задачу.

Использование существующих разработанных методов интерпретации без учета конкретных условий проведения полевых работ и особенностей исследуемой территории может привести к грубым погрешностям, приводящим в итоге к неверным результатам. Новые методы теории интерпретации геофизических полей, разработанные на основе теории некорректно-поставленных задач, позволяют существенно повысить точность и надежность получаемых результатов.

В методе линейных интегральных представлений, предложенном В.Н. Страховым [1, 2], бесконечномерная задача при решении обратной задачи геофизики редуцируется к конечномерной задаче нахождения приближенного устойчивого решения некоторой системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Метод S-аппроксимаций, подробное описание которого можно найти в [3, 4], основан на методе линейных интегральных представлений и состоит в аппроксимации измеренных компонент поля в виде суммы простого и двойного слоев. В рамках данного метода представляется эффективным построение

линейных трансформант поля, в частности, построение высших производных и аналитические продолжения в верхнее и нижнее полупространства.

Однако, несмотря на простоту и эффективность метода, ему присущи ряд недостатков, которые, в связи с увеличением сложности решаемых задач, играют немаловажную роль. Невязка между исходным полем и полем, полученным при использовании S-аппроксимации, минимизируется в пространстве функций, интегрируемых на носителе эквивалентных масс. Такая постановка решения задачи по поиску распределения масс, эквивалентных по внешнему полю, позволяет получить аналитические выражения для аппроксимируемого элемента. Однако теряется существенная часть информации о носителе масс: о его гладкости, приблизительной локализации и т.д. Постановка задачи в классе непрерывных или равномерно дифференцируемых функций значительно усложняет алгоритм. В результате возникает проблема выбора такой постановки задачи, в котором сочетались бы эффективность и наиболее полный учет имеющийся априорной информации об изучаемом объекте.

Автором совместно с И.Э. Степановой был предложен модифицированный метод S-аппроксимаций, который позволяет учитывать имеющуюся априорную информацию при интерпретации данных. Основная модификация заключается в наличии стабилизирующего функционала $\mu\mathcal{E}(\rho)$, где $\rho=(\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{2n-1}, \rho_{2n})$, где $\rho_i, i=1,2, \dots, 2n$ – искомые функции, соответствующие простому слою при нечетных значениях i и двойному слою при четных. Например, при решении обратной задачи гравиметрии эти функции имеют смысл плотностей простого и двойного слоев соответственно.

При интерпретации большого объема данных время, затрачиваемое на решение обратной задачи, очень велико и из-за накапливаемых погрешностей и результирующее решение может быть физически неадекватным для исследуемой области. В связи с этим был предложен блочный метод контрастирования, заключающийся в следующем. Вначале оценивается общее количество локальных аномалий исследуемой области, их интенсивность и расположение. Далее исследуемая область делится на блоки таким образом, чтобы каждая из локальных аномалий представляла собой отдельный блок. Однако, если число таких аномалий достаточно велико, то может получиться множество блоков малого размера, и результирующее решение будет неверным, так как каждая область рассматривается отдельно от другой. Поэтому если расстояние между двумя такими аномалиями меньше, чем характерный размер исследуемой области, то блоки от этих аномалий объединяются в один. Характерный размер области определяется масштабом съемки, применяемым при полевых работах, и общим числом пунктов измерений. Каждая из построенных областей рассматривается независимо от других и для нее задача решается отдельно. Получается набор решений для каждого блока, однако решения еще надо согласовать друг с другом для всей рассматриваемой территории. Для этого результирующее решение определяется как объединение всех полученных решений с вектором поправок λ . В общем случае, если f^1, f^2, \dots, f^r – векторы решений размерностей $N_1, N_2, \dots, N_R, r=1,2, \dots, R$, где r соответствует номеру блока, то $f^i = (f_1^i, f_2^i, \dots, f_{N_r}^i)$ и результирующее решение представляется в виде

$$f^{result} = (f_1^1 + \lambda_1, f_2^1 + \lambda_2, \dots, f_{N_1}^1 + \lambda_{N_1}, f_1^2 + \lambda_{N_1+1}, f_2^2 + \lambda_{N_1+2}, \dots, f_{N_R}^R + \lambda_N)$$

где $N=N_1+N_2+\dots+N_R$ – общее число пунктов измерений. Снова решается обратная задача для определения вычисления вектора поправок $\lambda=(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N)$, так как при разбиении на блоки решения получаются независимыми друг от друга, и в этом случае полученные решения надо «склеить» таким образом, чтобы норма невязки по всей области была минимальна.

Описанные методы были апробированы на модельных примерах и был проведен сравнительный анализ с уже имеющимися методами решения обратных задач геофизики, описание которых можно найти в [2, 5].

Литература

1. *Страхов В.Н.* О построении аналитических аппроксимаций аномальных гравитационных и магнитных полей // Основные проблемы теории интерпретации гравитационных и магнитных аномалий: М. ОИФЗ РАН, 1999, с. 65–125.
2. *Страхов В.Н., Страхов А.В., Степанова И.Э.* Актуальные проблемы геофизики и геоинформатики: М. ОИФЗ РАН, 2004.
3. *Страхов В.Н., Степанова И.Э.* Метод S- аппроксимаций и его использование при решении задач гравиметрии (локальный вариант) // Физика Земли 2002. № 2. С. 3–19.
4. *Страхов В.Н., Степанова И.Э.* Метод S- аппроксимаций при решении задач гравиметрии (региональный вариант) // Физика Земли 2002. № 7. С. 3–12.
5. *А.Г. Ягола, Ван Янфей, И.Э. Степанова, В.Н. Титаренко.* Обратные задачи и методы их решения. Приложения к геофизике: М. БИНОМ, 2014.
6. *Никитин А.А., Хмелевской В.К.* Комплексирование геофизических методов: Тверь, изд-во ГЕРС, 2004.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ ЮЖНО-ОНЕЖСКОЙ МУЛЬДЫ НА ОСНОВЕ ПЛОТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Рязанцев П.А.¹, Фадеева Н.В.²

¹Институт геологии КарНЦ РАН (ИГ КарНЦ РАН), г. Петрозаводск, Россия,
e-mail: *chthonian@yandex.ru*

²Институт геофизики УрО РАН (ИГФ УрО РАН), г. Екатеринбург, Россия,
e-mail: *natalyvfadeeva@gmail.com*

В работе представлены результаты расчета плотностных моделей по наблюдаемому полю в пределах Южно-Онежской мульды. Использовался алгоритм послойного подбора плотностей, в предположении слоисто-блокового строения земной коры с постоянной плотностью в пределах одного слоя. Значения параметров первичной модели брались на основании геологических, сейсмических и петрофизических данных о строении исследуемого региона. По полученным моделям удалось определить существование двух геологических тел глубинного залегания, а также изучить структуру мульды.

INVESTIGATION OF THE SOUTH ONEGA TROUGH BASED ON DENSITY MODELS

Ryazantsev P.A.¹, Fadeeva N.V.²

¹Institute of Geology Karelian Research Center RAS (IG KRC RAS), Petrozavodsk, Russia,
e-mail: *chthonian@yandex.ru*

²Institute of Geophysics UB RAS (IG UB RAS), Ekaterinburg, Russia, e-mail: *natalyvfadeeva@gmail.com*

The paper presents the results of calculation density models within the South Onega trough. The algorithm of layering selection is used under the assumption layered and blocks structure of the earth crust with a constant density within a single layer. The parameters of primary model were taken on the basis of Geological, Seismic and Petrophysical data about the structure of study region. The existence of two deep geological bodies was determined according to the obtained models and the structure of trough was investigated.

В работе представлены результаты плотностного моделирования, выполненного по наблюдаемому гравитационному полю в пределах Южно-Онежской мульды. Интерес к такому объекту обусловлен наличием интенсивных геофизических аномалий неустановленной природы, которые различные исследователи связывают с глубинными интрузивами основных пород [5].

Исследования по плотностному моделированию, выполненные по Северо-Онежской мульде показывают высокую эффективность такого подхода при изучении глубинного строения синеклиз [3]. Главной целью проведённых исследований являлось создание профильных 2D моделей на основе итерационного алгоритма, как средства для структурного анализа строения региона.

Исследуемый район является составной частью Туломозерско-Онежской подзоны Центрально-Карельской структурно-формационной зоны в Карельской геотектонической области (рис. 1А). Южно-Онежская мульда (или синеклиза) имеет форму близкую к овальной и протягивается от г. Петрозаводска в юго-восточном направлении более чем на 120 км, достигая 50–70 км по ширине. В верхней части мульда сложена терригенными от-

ложениями вепсийского и калевийского надгоризонтов и интрузивными образованиями Ропручейского комплекса [1].

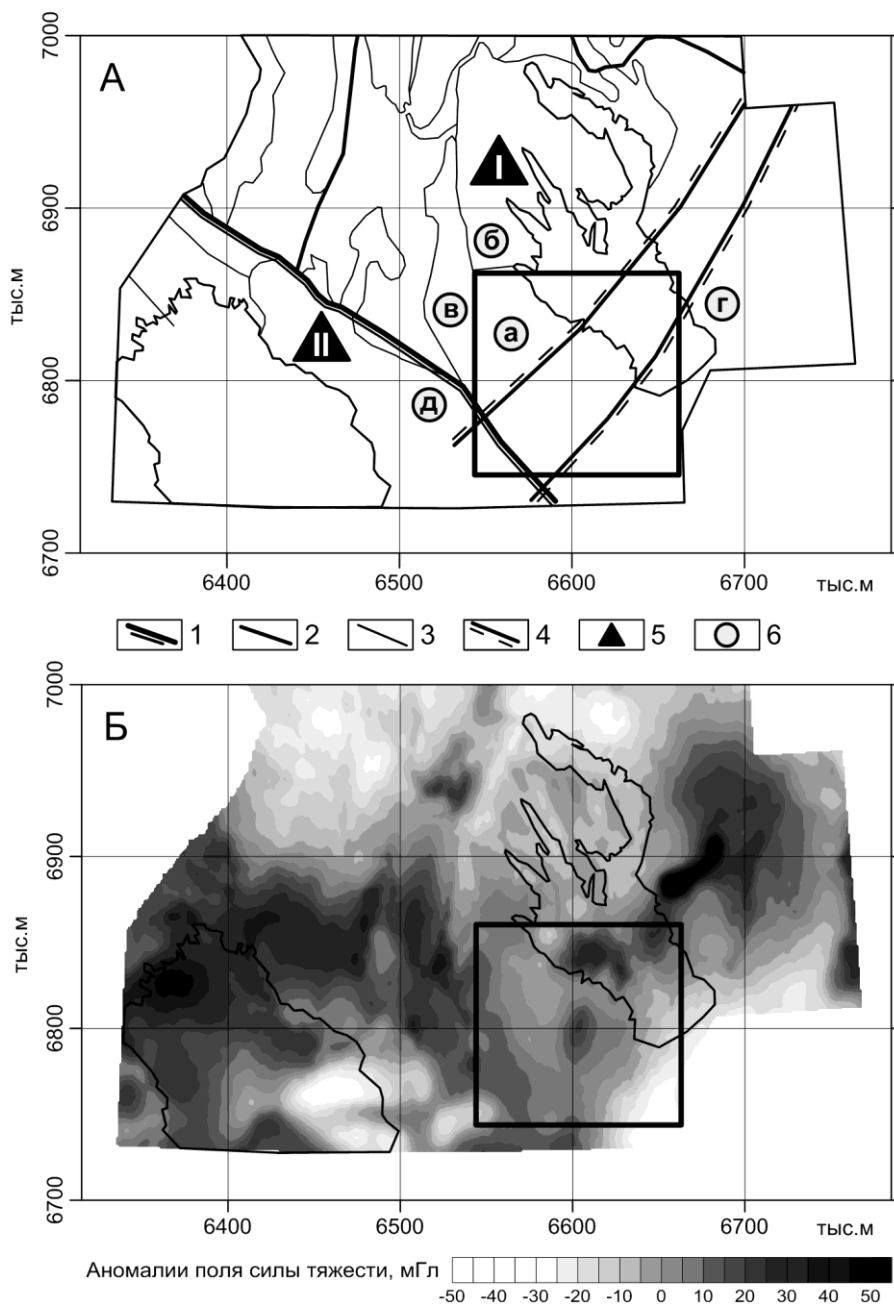


Рис. 1. Обзорные карты района (исследуемая область выделена квадратом).

А. Карта тектонического районирования, где: 1) граница структур первого порядка; 2) граница структур второго порядка; 3) граница структур третьего порядка; 4) границы Бураковской зоны тектоно-магматической активизации; 5) структурно-формационные зоны: I – Центрально-Карельская архей-протерозойская, II – Северо-Ладжская ранне-позднепротерозойская; б) подзоны: а – Южно-Онежская мульда; б – Северо-Онежская мульда; в – Ведлозерско-Сегозерский позднеархейский зеленокаменный пояс; г – Водлозерский позднеархейский блок гранитоидов; д – Салминская подзона.

Б. Карта аномальных значений поля силы тяжести.

По данным 1 : 200 000 гравиметрической съёмки (рис. 1Б) устанавливается соответствие областей пониженных значений силы тяжести синклинорным зонам, тогда как локальные положительные аномалии объясняются наличием интрузивных образований. При изучении территории Южно-Онежской мульды большое значение играет сейсмологический профиль МОВЗ проходящий в восточной части изучаемого района, вдоль Онежского озера. Его анализ позволил изучить глубинное строение района, которое характеризуется как сложное, с большим количеством нарушений и раздробленностью коры на блоки [2]. Анализ геолого-геофизических данных показал, что их часто не достаточно для детального исследования глубинного строения региона и решения геологических задач.

Для проверки существующих геолого-геофизических представлений и получения качественно новой информации о строении земной коры в пределах Южно-Онежской мульды, было выполнено 2D плотностное моделирование. Для этого использовались следующие исходные данные: сетка гравитационных наблюдений $\square g$; геометрия разреза, представленного слоисто-блочной моделью; начальные значения плотностей слоев и блоков; ограничения, накладываемые на вектор плотностей.

Модели подбирались путём определения набора плотностей для блоков, который обеспечивает сходимость измеренного и модельного полей. Метод решения, основанный на работе [4] заключается в реализации следующих шагов:

Параметризация слоисто-блоковой модели.

Работа алгоритма послойного подбора плотностей.

Основное используемое предположение при создании модели – слоисто-блоковое строение земной коры с постоянной плотностью в пределах одного слоя. Для сопоставления с аномалиями наблюдаемого поля Δg в расчеты вводят отклонения истинной плотности σ_k от некоторого фонового значения σ_F , так называемую фоновую плотность. Слоистая среда изначально задается в виде набора границ $y_k(x)$, $k = 1..M$ и набора плотностей $(\sigma_k - \sigma_F)$. Слой – область с плотностью $(\sigma_k - \sigma_F)$ выше заданной границы $y_k(x)$ до предыдущей границы $y_{k-1}(x)$. По умолчанию принимается, что первая граница – это дневная поверхность $y_0(x) = 0$. Далее осуществляется переход от многослойной среды с плотностями тел $(\sigma_k - \sigma_F)$ к представлению модели среды в виде аномальных тел с относительными плотностями $\Delta\sigma_k = (\sigma_{k+1} - \sigma_k)$, $k = 1..M$.

В результате проведённых работ созданы 2D модели, характеризующие изменение плотностных свойств геологической среды. При этом удалось достичь удовлетворительной сходимости наблюдаемых и синтетических данных. В качестве примера приводится модель, полученная по субширотному профилю, пересекающему центральную часть мульды (рис. 2). Проанализировав модель, можно сделать вывод о том, что со структурной точки зрения Южно-Онежская мульда представляет собой синформу, простирающуюся на всю мощность коры, а также выделить крупные аномалеобразующие тела.

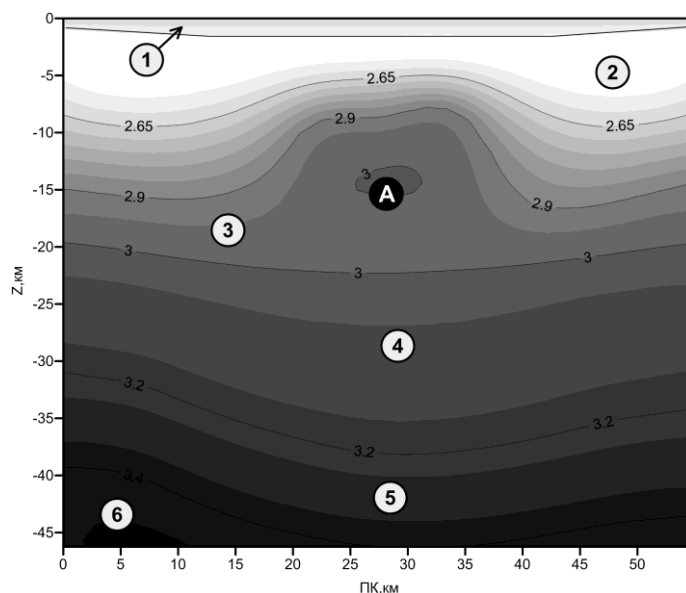


Рис. 2. 2D плотностная модель по субширотному профилю в центре мульды, где:

1 – терригенные породы ($\sigma = 2.65 \text{ г/см}^3$, $V = 5.7 \text{ м/с}$); 2 – гранитный слой ($\sigma = 2.5 \text{ г/см}^3$, $V = 6.3 \text{ м/с}$); 3 – переходный слой (базиты?) ($\sigma = 2.7 \text{ г/см}^3$, $V = 6.8 \text{ м/с}$); 4 – габбро, пироксениты ($\sigma = 2.9\text{--}3.1 \text{ г/см}^3$, $V = 7.5 \text{ м/с}$); 5 – переходный слой кора-мантия ($\sigma = 3.2 \text{ г/см}^3$, $V = 8 \text{ м/с}$); 6 – верхняя мантия ($\sigma = 3.4 \text{ г/см}^3$, $V = 8.2 \text{ м/с}$); А – тело габброноритов ($\sigma = 2.8\text{--}3.0 \text{ г/см}^3$, $V = 6.5 \text{ м/с}$)

Полученные модели соответствуют как имеющимся петрофизическим данным о плотностных характеристиках слагающих мульду пород, так и сейсмическим параметрам, описывающим глубинное строение района. С их помощью определено пространственное распределение крупных геологических объектов и блоков земной коры, различающихся по характеру плотностных неоднородностей. Также установлено наличие глубинных тел связанных с Бураковской тектонической зоной.

Литература

1. Геология Карелии / Ред. В.А. Соколов, В.С. Куликов, М.М. Стенарь. Л: Наука, 1987. 231 с.
2. Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / Ред. Н.В. Шаров. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 353 с.
3. Гольшева Ю.С. Применение 3D плотностного моделирования при создании Онежской «опорной площадки» / Геофизические методы исследования Земли и её недр. СПб.: СПбГУ, 2012. С. 49–53
4. Мартышко П.С., Ладовский И.В., Цидаев А.Г. Построение региональных геофизических моделей на основе комплексной интерпретации гравитационных и сейсмических данных// Физика Земли. 2010. №11. С. 23–35.
5. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / Ред. Глушанин Л.В., Шаров Н.В., Щипцов В.В. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА В СИСТЕМЕ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГИС «ПРАЙМ»

Сайфиева Е.А.

ООО «РН-УфаНИПИнефть», г. Уфа, Россия, e-mail: *SaifievaEA@ufanipi.ru*

В работе рассмотрены вопросы оценки качества исходного геофизического материала, используя систему обработки геофизических данных «Прайм» как инструмент.

SOURCE DATA QUALITY ESTIMATION USING GEOPHYSICAL DATA PROCESSING SOFTWARE «PRIME»

Saifieva E.A.

LLC «RN-UfaNIPIneft», Ufa, Russia, e-mail: *SaifievaEA@ufanipi.ru*

In this paper we examined quality estimation of source geophysical data using geophysical data processing software called «Prime».

Прежде всего, для того, чтобы иметь достоверную информацию, необходимо проводить контроль качества исходного материала ГИС. В данной работе показана оценка качества каротажа с помощью многоскважинных технологий, а именно – гистограмм, кросс-плотов, статистики.

Оценку качества материала лучше начинать с метода многоскважинных гистограмм, в основе которого лежат устойчивые закономерности осадконакопления по площади и по разрезу изучаемых отложений и, соответственно, тенденция к стабильности формы распределения гистограмм[1].

Далее, можно изучать разрез на многоскважинных кросс-плотах. Кросс-плоты – это многомерные зависимости «X-Y-Z». В своей работе мы используем такие многоскважинные кросс-плоты как «нейтронная пористость-плотностной каротаж-гамма каротаж» и «нейтронная пористость-акустический каротаж-гамма каротаж» с комплексной палеткой с помощью которых возможно не только оценить качество каротажа, но и получить представление о петрофизической модели изучаемых объектов по положению точек на комплексной палетке.

Кроме того, с помощью таких инструментов как многоскважинная статистика можно либо браковать некачественные замеры, либо исправлять их на усмотрение интерпретатора.

Таким образом, в данной работе показано как с помощью многоскважинных технологий системы «Прайм» можно производить оценку качества каротажа, исправлять некачественные замеры и получать представления о петрофизических моделях месторождений.

Литература

1. Губерман Ш.А., Овчинникова М.И. Некоторые возможности использования статистических характеристик геологических разрезов. Изв. АН СССР. Сер. Геофиз. 1964. № 7. С. 87–94.
2. Петерсилье В.И., Пороскун В.И., Яценко Г.Г. Методические рекомендации по подсчету запасов нефти и газа объемным методом М.-Тверь, 2003.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФЛАНГОВОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ МОГТ ДЛЯ ЗАДАЧ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Салищев М.В., Сысоев А.П.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (Горный университет),
г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: *mihail19@inbox.ru*

В работе рассматриваются проблемы компенсации поверхностных неоднородностей при обработке сейсморазведочных данных, характерные для Восточной Сибири. Доказывается, что при равном числе каналов расстановки общих пунктов возбуждения центральной и фланговой систем наблюдения можно получить эквивалентные решения задачи коррекции статических поправок.

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF SPLIT SPREAD AND THE END-ON SPREAD FOR SEISMIC DATA PROCESSING

Salischev M.V., Sysoev A.P.

National Mineral Resources University (University of Mines), Saint-Petersburg, Russia, e-mail: *mihail19@inbox.ru*

In paper problems of compensation of near-surface heterogeneity in seismic data processing are considered, characteristic for Eastern Siberia. It is proved that an equal number of channels the split spread and the end-on spread to solving the problem of statics correction is equivalent.

Основной объем сейсмических исследований России выполнен и выполняется в настоящее время на территории Западно-Сибирской низменности. Можно сказать, что этот район представляет собой полигон, на котором сейсморазведка провела апробацию последовательно усложняемых методик сейсмических наблюдений: 1) профилирование МОВ; 2) профильные наблюдения МОГТ; 3) МОГТ в 3D варианте.

При достаточно сложных природных условиях этот район благоприятен для выполнения сейсмических исследований в силу принципиально простого строения верхней части разреза (ВЧР) и, в целом, субгоризонтального строения продуктивной части разреза. Для большей части территории способ статических поправок является достаточным инструментом для корректной компенсации неоднородности ВЧР в силу того, что неоднородность здесь представлена зоной малых скоростей (ЗМС).

Методика выполнения полевых работ и обработки сейсмических данных, эффективная для Западной Сибири, перенесена с небольшими изменениями параметров на территорию Восточной Сибири. По-прежнему, основным инструментом компенсации неоднородности ВЧР остаются статические поправки. Дальнейшие усилия обработчиков нацелены на коррекцию статических поправок для подгонки годографов ОГТ к гиперболам. Результат такого подхода проявляется в искажении кинематических параметров ($t_0, v_{огт}$) волнового поля и последующим построением структурных карт с шагом изолиний 50 м, что считается удовлетворительным результатом для этого региона.

При обработке сейсмических материалов по Восточной Сибири геофизики сталкиваются с двумя основными проблемами.

- Отсутствие отражений от целевых горизонтов.
- Сложное строение верхней части разреза, что обуславливает низкую точность структурных построений.
- Рассмотрим возможные пути решения этих проблем.

I. Отсутствие отражений.

Выскажем предположение, что проблема состоит не в отсутствии отражений, а в слабом уровне отраженных сигналов. Для этого предположения существует весомое обоснование, поскольку применением мощных современных средств обработки удастся получить отражения на многих участках, которые ранее не проявлялись на временных разрезах. Если принять это предположение, то решение проблемы состоит в создании условий, которые позволяют многократно увеличить возможности алгоритмов выделения сигналов на фоне помех.

Простым увеличением кратности суммирования проблема не решается. Необходимо точно оценивать параметры помехи и эффективно вычитать ее до стадии суммирования. Для этого необходимо создавать системы наблюдения, обеспечивающие острую направленность двумерных фильтров подавления помех для всех типов волн с квазилинейными годографами, включая поверхностные волны. Реализовать такие решения возможно только при сгущении шага ПП по профилям до значений 5-10 м, обеспечивающих высокую регулярность помех на интервале прослеживания, достаточном для пространственно-временной фильтрации.

II. Сложное строение верхней части разреза.

Для Восточной Сибири существенны три типа неоднородности ВЧР.

- а) зона малых скоростей;*
- б) существенные вариации рельефа дневной поверхности;*
- в) латеральная неоднородность коренных отложений, подстилающих ЗМС.*

Для первого типа неоднородности достаточным инструментом компенсации являются статические поправки. Неоднородности б) и в) необходимо компенсировать с учетом геометрии распространения лучей (кинематическими способами компенсации). Это принципиально решаемая задача, но ее реализация требует предварительного построения структурно-скоростной модели верхней части разреза.

Наилучший способ компенсации ЗМС основан на использовании значений вертикальных времен и глубин заложения заряда взрывных скважин. Этот способ является наилучшим, но только в том случае, если глубина скважин не менее мощности ЗМС. Если это условие не выполняется, то эффективное решение можно получить комбинированным способом с использованием параметров волны, преломленной на подошве ЗМС [1]. При использовании источников поверхностного типа необходимо с шагом $\frac{1}{2}$ максимального удаления ПП-ПВ проводить специальные работы по изучению ЗМС проведением МСК или МПВ малыми зондами.

Область геологического разреза, подстилающего ЗМС, отображается в сложно построенном поле преломленных волн. Попытки построения скоростной модели с использованием стандартных «сертифицированных» пакетов обработки первых вступлений неэффективны в силу того, что в них заложены примитивные алгоритмы интерпретации преломленных волн первых вступлений. Здесь требуется разработка алгоритмов прослеживания и интерпретации головных волн как в первых, так и в последующих вступлениях на основе корреляционного метода (КМПВ). Для надежной интерпретации сложного волнового поля головных также требуется сгущение шага наблюдений приемной расстановки.

III. Способы компенсации неоднородности ВЧР.

Способ статических поправок и корректно работает при компенсации зоны малых скоростей. Если район работ характеризуется переменным рельефом дневной поверхности, то статическими поправками правильно корректируются вертикальные времена отражений. Но неверный учет геометрии лучей в области пересчета приводит к искажению времен на больших удалениях и, как следствие, скоростей суммирования. Использование скоростей суммирования необходимо для решения задач структурных построений, поэтому в районах Восточной Сибири применять более корректные кинематические способы пересчета волнового поля на линию приведения ().

IV. Изменение методики полевых наблюдений

Уменьшение шага ПП, необходимое для эффективного подавления коррелируемых помех, не приводит к необозримому увеличению числа активных каналов расстановки. Традиционно применяемые центральные системы наблюдения приводят к появлению парных трасс в выборке ОГТ, отличающихся только знаком удаления ПП-ПВ. Конечно, это не является недостатком системы наблюдения, но роль этих трасс сводится только к относительно слабому статистическому эффекту накапливания. Так, для подавления случайной помехи увеличение кратности в 2 раза с 24 до 48 приводит к незначительному (с 5 до 7) уменьшению уровня случайных помех.

Можно утверждать, что фланговая система, при том же числе активных каналов что и центральная, но при вдвое меньшем шаге ПП, более эффективна как при решении задач подавления волн с линейным годографом, так и изучении ВЧР по преломленным волнам. Статистический эффект накапливания при этом сохраняется, поскольку суммирование может выполняться (и уже выполняется) по суперсейсмограммам с любой заданной кратностью.

Переход от центральной к фланговой системе наблюдений приводит к уменьшению в 2 раза длины расстановки. Это обстоятельство существенно для устойчивости оценивания длиннопериодных составляющих статических поправок. Но различие в устойчивости решения исчезает, если в условие задачи коррекции ввести дополнительное условие равенства низкочастотных составляющих статических поправок в точках взрыва и приема. При этом условии определяющим параметром системы наблюдения является максимальное расстояние ПП-ПВ, а не общая длина расстановки.

Заключение

Сейсмические исследования Восточной Сибири требуют применения методики полевых работ и обработки сейсмических данных, адаптированной к особенностям волнового поля. Для оценки эффективности этих предложений требуется провести полевые и методические исследования по следующим направлениям:

1. Выполнить полевые наблюдения на участках с различным строением ВЧР по стандартной центральной и фланговой системе наблюдения со сгущением шага ПП по профилю до 5 м. Оценить сравнительную эффективность вычитания помех по стандартной и модифицированной системам наблюдения.

2. На основе теории КМПВ выполнить кинематическую интерпретацию головных волн с целью построения глубинно-скоростной модели ВЧР.

3. Разработать программное обеспечение и опробовать новые способы учета неоднородности ВЧР с использованием кинематического способа компенсации переменного рельефа.

4. Выполнить сравнительный анализ результатов обработки и кинематической интерпретации по материалам, полученным по стандартной и модифицированной системе наблюдения.

Литература

1. Сысоев А.П. Прикладные задачи компенсации неоднородности верхней части разреза при обработке и интерпретации сейсмических данных // ИНГГ СО РАН, Новосибирск, 2011, 92 с.

РАСЧЕТ КОРРЕЛЯЦИИ КОЛИЧЕСТВА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ГЛУБИНЫ ПЛОТНОСТНОЙ ГРАНИЦЫ РАССЛОЕНИЯ В ЗЕМНОЙ КОРЕ ЮЖНО-ОМОЛОНСКОГО ПОДНЯТИЯ

Скороход Д.А.¹, Гайдай Н.К.^{1,2}

¹Северо-Восточный государственный университет (СВГУ), г. Магадан, Россия, e-mail: *skorohod.dmitrii888@mail.ru*

²Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский института ДВО РАН (СВКНИИ ДВО РАН), г. Магадан, Россия, e-mail: *politeh@svgu.ru*

Выполнен анализ связи эпицентров землетрясений с характером изменения рельефа плотностной границы расслоения в земной коре Южно-Омолонского поднятия.

CORRELATION CALCULATION THE NUMBER OF EARTHQUAKES AND THE DEPTH OF DENSITY STRATIFICATION BOUNDARIES IN THE EARTH CRUST OF SOUTH OMOLONSKAYA RAISED

Skorohod D.A.¹, Gaidai N.K.^{1,2}

¹Noth-Eastern State University (NESU), Magadan, Russia, e-mail: *skorohod.dmitrii888@mail.ru*

²N.A. Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute FEB RAS (NEISRI FEB RAS), Magadan, Russia, e-mail: *politeh@svgu.ru*

The analysis of the communication to the nature of earthquake relief changes the density stratification boundaries in the crust of the South Omolon uplift.

Сейсмические события напрямую связаны с глубинным строением территории, поэтому комплексное изучение структуры земной коры и связанного с ним распределения сейсмичности дает более точную оценку положения районов с возможной повышенной сейсмичностью.

Землетрясения по своим последствиям, числу жертв и разрушительному воздействию на населенные районы (города, поселки) занимают одно из первых мест среди других природных катастроф. Они обусловлены продолжающейся сотни миллионов лет глобальной эволюцией литосферы нашей планеты. Поэтому изучение размещения землетрясения на планете Земля было и остается актуальной задачей.

Целью данного исследования является поиск количественной связи между размещением землетрясений и градиентом изменения глубины плотностной границы расслоения в земной коре.

Методы новой интерпретационной гравиметрии используют представления о преимущественно блоковой природе аномалий поля силы тяжести (Гайдай, 2010). На картах поля силы тяжести полосами повышенных горизонтальных градиентов Δg фиксируется сеть разломов, ячейками которой выделяются проекции на поверхности плотностных неоднородностей-блоков. Источниками аномалий могут служить как структуры в общепринятом структурно-тектоническом понимании (горсты, грабены и т.д), так и магматические, метаморфические геологические тела, тела комбинированной природы, оконтуренные в плане разрывными нарушениями (Вацлов, 1984). Для каждого такого блока исследуемого участка определяются глубины его нижнего и верхнего ограничений. Полученные значения глубин нижних ограничений всех блоков, представляющих земную кору исследуе-

мой территории, позволяют построить рельеф границы, оконтуривающей нижние ограничения всех аномалообразующих блоков. Т.о. в пространстве выделяется поверхность, разделяющая две части земной коры: в области, лежащей выше выделенной границы, при переходе от одного блока к другому (по латерали) возможно изменение плотности, т.е по плотностным характеристикам вещество находится в неоднородном состоянии. В области расположенной ниже указанной границы, нет разницы в плотности соседних блоков, т.е. по плотностным характеристикам это однородная среда.

Вещество недр подвергается глубоким метаморфическим преобразованиям различной интенсивности и данная граница, вероятно, представляет собой границу (фронт) глубинной метаморфизации вещества земной коры. Наиболее вероятной причиной образования данной границы следует считать тепловой поток различной интенсивности, который собственно и привел к преобразованию вещества. Кроме этого, вероятной причиной формирования такой границы одновременно могут выступать различные тектонические процессы.

Объектом исследования является Южно-Омолонское поднятие ($63^{\circ}14'$ – 64° С.Ш. и 156° – 159° В.Д), предметом исследования - его земная кора и зафиксированные на данной территории землетрясения. В качестве метода исследования выбран статистический анализ имеющихся данных. Работа носит теоретический характер, ее практическая значимость - это возможность производить предварительную оценку территории на сейсмичность, используя информацию о ее глубинном строении.

За период с 1968 по 2012 г. на данной территории было зафиксировано 31 землетрясение энергетического класса от 7.6 до 10 (*Шарафутдинов, Малиновский, 2011*). На данном участке плотность землетрясений достаточно низкая и составляет 2.4 события на 1 тыс. км². Для данного участка с помощью методов новой интерпретационной гравиметрии построен рельеф плотностной границы расслоения.

Для оценки количественной связи между размещением землетрясений и градиентом изменения глубины плотностной границы расслоения в земной коре выбран коэффициент корреляции, возможность расчета которого предоставляется электронной таблицей EXCEL.

Коэффициент корреляции – показывает степень статистической зависимости между двумя числовыми переменными. Он вычисляется следующим образом (*Электронный ресурс*):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_n - \bar{x})(y_n - \bar{y})}{n \sigma_x \sigma_y}.$$

Для определения коэффициента корреляции нами были выполнены следующие построения: относительно каждого землетрясения, проставили точки с 2х сторон на определенном расстоянии, для того чтобы определить градиент изменения глубины. Затем подсчитано количество землетрясений попадающих в круг, в центре которого находится определенное землетрясение. В итоге определялась корреляция между количеством землетрясений и градиентом изменения глубины плотностной границы.

Коэффициент корреляции для исследуемой территории получился равным 0.36, что соответствует наличию слабой зависимостью между исследуемыми величинами.

Получить геометрическую функцию, связывающую данные параметры мы и не ожидали, т.к процесс сейсмичности – многофакторный. Однако и имеющиеся результаты дают возможность увидеть определенные закономерности. Количественно показано, что максимальное количество землетрясений регистрируется в областях, где глубина погру-

жения плотностной границы расслоения максимальна, и не наблюдается резких изменений рельефа данной границы, т.е. ее рельеф носит плоский характер. Этот факт находит свое объяснение в том, что для накопления достаточного напряжения необходима критическая масса вещества, поэтому концентрация землетрясений связана с мощностью блоков земной коры с веществом с высокой вязкостью и невысокой пластичностью. Чаще это породы верхней части земной коры. В областях, расположенных ниже выделенной плотностной границы расслоения в земной коре, на наш взгляд, вещество находится в достаточно однородном, маловязком, пластичном состоянии. Поэтому здесь напряжения нивелируются быстрее. Период релаксации напряжений в таких породах значительно уменьшается, а, следовательно, уменьшается и вероятность возникновения землетрясений. Отмечено также, что эпицентры преимущественно располагаются в зонах, где градиент изменения рельефа плотностной границы расслоения не превышает значения 1 (т.е. угол падения границы не превышает 45°).

Литература

1. Ващилов Ю.Я. Блоково-слоистая модель земной коры и верхней мантии. М.: Наука, 1984. 238 с.
2. Гайдай Н.К. Новая интерпретационная гравиметрия. Понятия. Возможности. Перспективы использования// Вестник Северо-Восточного государственного университета. Спецвыпуск. – Магадан: изд-во СВГУ, 2010. – № 13. – С. 10–14.
3. Скороход Д.А, Гайдай Н.К. Распределение гипоцентров землетрясений в земной коре Южно-Омолонского поднятия. ФГБОУ ВПО «Северо-Восточный государственный университет», Магаданская область, город Магадан.//Сборник тезисов работ участников X-го Всероссийского молодежного фестиваля «Меня оценят в XXI веке». – Национальная система «Интеграция» Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации, Минобрнауки России, РОСКОСМОС, Минтранс России, Минсельхоз России. – М., 2013. – С. 439
4. Шарафутдинов В.М., Малиновский С.Б. Геоинформационная система «Сейсмичность Магаданской области» // Свидетельство о государственной регистрации Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2011615022 от 24.06.2011.
5. Электронный ресурс: www.basegroup.ru/glossary/definitions/coef_korr/. Дата обращения 6 мая 2014.

ПОЛУЧЕНИЕ ОБОБЩЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОРИСТОСТИ НА ОСНОВЕ КЕРНОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПУРОВСКОГО РЕГИОНА

Фазлытдинова Ю.Ю.

ООО «РН-УфаНИПИнефть», г. Уфа, Россия, e-mail: *AleksandrovaUU@ufanipi.ru*

В работе проведен анализ полноты керновых данных по глубине для месторождений Пуровского региона. Показана проблема определения коэффициента пористости, при отсутствии керновых данных. Эта проблема является актуальной для многих месторождений различных регионов.

THE GENERALIZED DEPENDENCE RECEIVING FOR POROSITY CALCULATING BASED ON THE CORE DATA FOR THE PUROVSK REGION'S FIELDS

Fazlytdinova U.U.

LLC «RN-UfaNIPIneft», Ufa, Russia, e-mail: *AleksandrovaUU@ufanipi.ru*

In this work we analyzed the core data completeness from the depth for the Purovsk region's fields. We illustrated the porosity determination problem in the absence of core data. It is issue of the day for many fields of different regions.

Для получения зависимости расчета пористости по объектам месторождений, при отсутствии керновых данных, предлагается использовать методику статистического способа определения пористости по нормированной кривой ПС - $\alpha_{\text{пс}}$ с учетом нормального уплотнения однотипных пород с глубиной [1].

Суть методики сводится к построению графика распределения значений пористости, имеющих по керну литотипов пород с глубиной, и аппроксимации положения базовых литотипов по глубине. В качестве базовых литотипов рассматриваются чистые песчаники, имеющие максимальную пористость по керну на конкретной глубине, и породы по пористости, соответствующей граничным значениям коллектор-неколлектор для каждой группы пластов. И т.к. в большинстве случаев зависимость пористости от $\alpha_{\text{пс}}$ линейная, то для расчета пористости в каждой точке разреза можно производить нормализацию кривой $\alpha_{\text{пс}}$ между двумя функциями изменения пористости с глубиной.

На основе полученных данных создан математический модуль в интегрированной системе обработки геофизических данных ПРАЙМ, для расчёта оценочной пористости по всем объектам месторождений Пуровского региона в каждой точке разреза, от глубины 1200 м до 3000 м.

Правомочность использования этой методики проверена на тестовых скважинах типовых месторождений Пуровского региона с полным комплексом геофизических исследований скважин, путем построения кроссплотов. Полученная пористость сравнивалась с имеющимися кривыми пористости ядерно-магнитного каротажа, керна, защищенной в подсчете запасов пористости по ПС. Сходимость со всеми методами пористости лежит в допустимых пределах погрешности [2].

Полученные результаты могут быть использованы в геологоразведочных работах, в сейсмических проектах, в оперативном подсчете запасов (при открытии новых объектов), в геологическом мониторинге.

Литература

1. Ахияров В.Х. Методика выделения продуктивных коллекторов по каротажу в глинистых полимиктовых отложениях. – Труды ЗапСибНИГНИ, вып. 151, Тюмень, 1980 [1].
2. Петерсилье В.И., Пороскун В.И., Яценко Г.Г. Методические рекомендации по подсчету запасов нефти и газа объемным методом М.-Тверь, 2003 [2].

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИТАЙМЫРСКОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЫ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Фомина Е.А., Кисленко О.С., Барабанова Ю.Б., Кириллова Т.А.

ОАО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция» (ОАО МАГЭ), г. Мурманск, Россия,
e-mail: info@mage.ru

Континентальные окраины, освоение которых началось сравнительно недавно, к настоящему времени дают уже значительный прирост (более 30%) мировой добычи нефти. Столь стремительный рост в общем балансе жидких углеводородов объясняется не только высокой интенсивностью нефтепоисковых работ, но и исключительно высокой перспективностью осадочных бассейнов континентальных окраин на нефть и газ. Месторождения углеводородов установлены в разрезах континентальных окраин практически всех океанов. Окраины Северного Ледовитого океана до настоящего времени остаются практически не изученными по причине сложных природно-климатических условий. В 2011–2012 гг. ОАО «МАГЭ» впервые в истории изучения СЛО удалось провести площадные комплексные исследования восточной части континентальной окраины моря Лаптевых в районе арх. Де-Лонга, в 2012–2014 гг. – западной в районе п-ва Таймыр. В настоящей работе представлены некоторые результаты комплексных геолого-геофизических исследований ОАО МАГЭ, выполненных в северо-западной части моря Лаптевых близ острова Малый Таймыр.

GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS OF THE TAIMYR CONTINENTAL MARGIN OF THE LAPTEV SEA

Fomina E.A., Kislenko O.S., Barabanova Yu.B., Kirillova T.A.

JSC MAGE, Murmansk, Russia, e-mail: info@mage.ru

The continental margin development began not long ago. However, the incremental oil production makes more than 30 % by now. Such rapid increase of liquid hydrocarbon overall balance is justified by oil exploration of high intensity, as well as by extraordinary high hydrocarbon potential of continental margin sedimentary basins. Hydrocarbon fields are discovered in continental margin sections of almost all oceans. The Arctic Ocean margins remain almost unstudied so far because of bad natural and climatic conditions. In 2011–2012 JSC MAGE was the first to conduct areal integrated exploration of the eastern part of the Laptev Sea continental margin at the De Long Islands and in 2012–2014 – of its western part at the Taimyr Peninsula. This work represents some results of integrated geological-geophysical investigations conducted in the north-western part of the Laptev Sea near the Maly Taimyr Island.

Введение

В 2012–2014 гг. ОАО МАГЭ были выполнены площадные комплексные геофизические исследования северо-западной части моря Лаптевых. На площади в 33 000 кв. км по сети приблизительно 18x15 км было отработано 4483,5 пог.км. профилей МОВ ОГТ 2D. Сейсморазведочные работы проводились НИС «Николай Трубяччинский» и НИС «Геолог Дмитрий Наливкин» в комплексе с надводными гравиметрическими (4471,8 км) и дифференциальными гидромагнитными наблюдениями (4151,9 км). Сейсморазведочные наблюдения по методике преломленных волн были выполнены НИС «Геофизик» в профильном варианте в объеме 200 п.км (рис. 1).

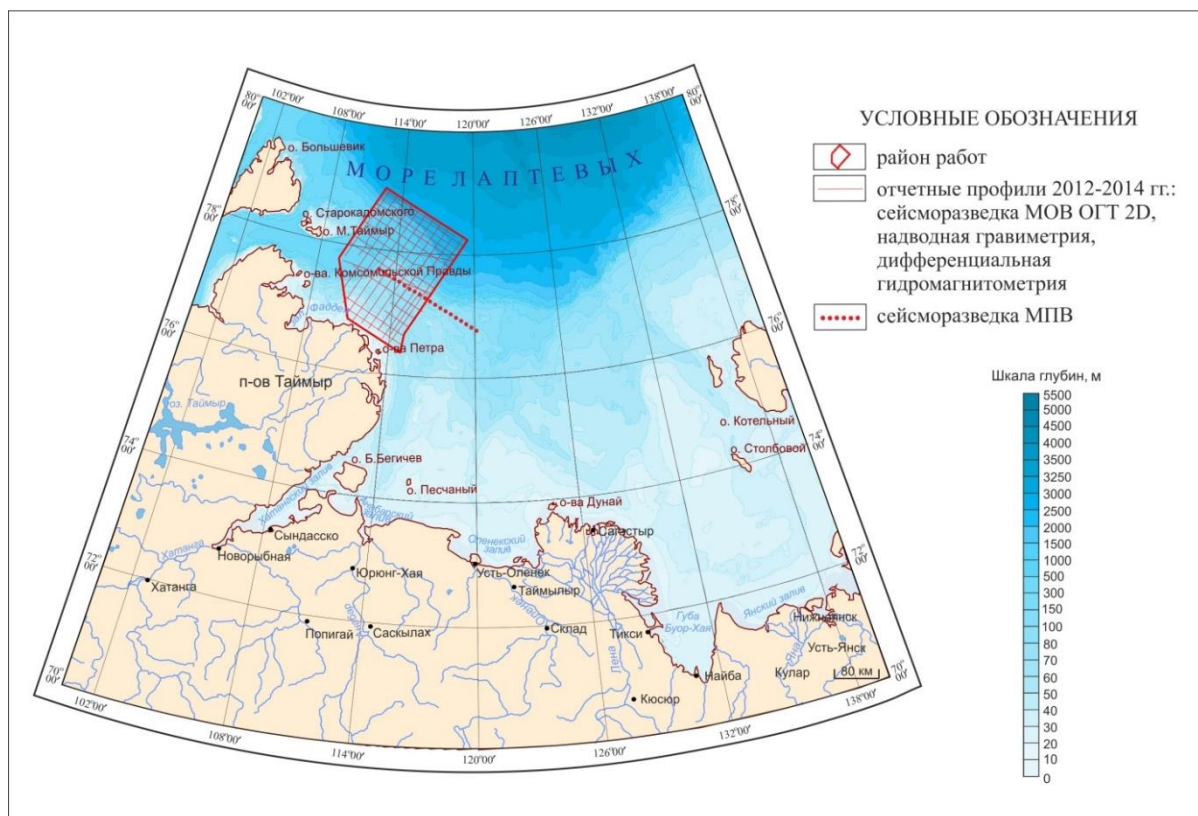


Рис. 1. Обзорная схема района работ.

1. Методика полевых работ

Скорость судов при проведении геофизической съемки составляла 4.5–5.0 узлов. *Сейсморазведочные работы МОВ ОГТ 2D* выполнялись по фланговой системе наблюдений, сейсмическая коса Sercel Seal Sentinel Solid (расстояние между центрами каналов 12.5 м, всего 648 каналов при длине активной части 8103.4 м) буксировалась за судном на глубине 8–9 м. Стабилизаторы глубины «DigiCourse 5011E», закрепленные на сейсмической косе с интервалом 300 метров, обеспечивали точность заглубления в диапазоне ± 1 м. В качестве источника сейсмических колебаний применялся массив из 30 пневмоисточников BOLT GUN с объемами 65, 100, 140, 200, 250, 350 куб. дюймов, распределенных по 4-м линиям; номинальное давление воздуха – 2000 psi; давление в системе ВВД отклонялось от номинала не более чем на 10%. Сейсмостанция Seal 428 v.1.0 на НИС «Николай Трубытчинский» и Seal 408 v.5.2 на НИС «Геолог Дмитрий Наливкин». Все файлы сейсмической информации записаны на внешние USB диски и картриджи IBM 3592 в формате SEG-D 8058. Длина записи 12 секунд, дискретность записи 2 мс.

Надводная гравиметрическая съемка. Гравиметрические измерения начинались и заканчивались опорными наблюдениями у причалов Shell и Statoil в порту Киркенес. Регистрация аномального гравитационного поля осуществлялась в цифровой форме с дискретностью 1 с двухсистемным, гиостабилизированным гравиметром «СНЕКАН-АМ».

Дифференциальная гидромагнитная съемка. Измерения магнитного поля проводились по дифференциальной методике градиентометром SeaSpry. Измерения выполнялись в режиме градиентометра при помощи гондол-магнитометров. База градиентометра составляла 100 м. Ведущая гондола была удалена от кормы судна 215–260 м. Буксировочный кабель закреплялся на корме в 15 м (2012 г.) и 10.8 м (2014 г.) к правому борту от осевой линии судна. Дискретность регистрации данных составила 10 сек.

Сейсмические работы МПВ включали работы по: постановке донных станций по профилю; возбуждению упругих колебаний пневмоисточником ПУЛЬС-6М через интервал времени равный двум минутам, который соответствует расстоянию 250 м при средней скорости судна 4 узла; прием и регистрацию сигналов на базе самовсплывающих АДСС-5000 и буйковых ССД-0,5 проекта 505-01. Расстояние между регистраторами на профиле составляло 10 км. Длина записи - 60 секунд.

2. Обработка полевых материалов.

Обработка данных МОВ ОГТ 2D выполнена специалистами ОАО «МАГЭ» на Linux-кластере Dual Core Xeon 2.66 Arbyte Alkazar с помощью программного обеспечения ProMax R5000, установленного на операционную систему Centos пятой серии. Граф обработки материалов МОВ ОГТ 2D выбран на базе комплексного анализа исследуемых материалов и материалов, полученных ОАО МАГЭ в предыдущие годы на континентальных окраинах моря Лаптевых [1]. Гравиметрические материалы обрабатывались программным комплексом GRAV-003, разработанным в ОАО «МАГЭ». Обработка материалов гидромагнитных наблюдений проведена по схеме, отработанной в ОАО «МАГЭ» на протяжении многих лет, с использованием программного комплекса обработки магнитометрических данных MAG003. Цифровая обработка сейсмических материалов МПВ проводилась на базе программного комплекса RadExPro и ArcView.

3. Интерпретация.

Комплексная интерпретация данных, полученных в районе притаймырской континентальной окраины моря Лаптевых выполнена специалистами МАГЭ. В прибрежной части профилей МОВ ОГТ и на профиле МПВ прослеживается граница кора-мантия, контролирующая строение поверхность МОХО. Двухфазные, динамически хорошо выраженные оси синфазности отражающего горизонта (ОГ) М отделяют акустически прозрачное волновое поле мантии от «рябчикового» кристаллического фундамента (рис. 2).

Мощные толщи акустического фундамента, зарегистрированные в прибрежной части изученной площади, при погружении почти полностью срезаются перекрывающей их более высокочастотной бассейнового осадочной толщей. Уменьшение мощности происходит за счет среза его верхних отделов. Аналогичная картина наблюдается в моноклинальных зонах Баренцева моря и Карского [2]. Волновое поле бассейнового осадочного чехла довольно высокочастотное, слоистое, динамически выразительное, со своеобразным, четко обозначенным характером дислокаций. Структуру осадочного чехла определяют сейсмостратиграфические комплексы (ССК), кровли/подошвы которых контролируют отражающие горизонты на уровне которых наблюдаются признаки несогласия - прилегания, налегания или эрозионного среза. В качестве возрастных границ приняты рубежи наиболее значительных тектонических событий, установленных как при анализе глобальных перестроек, так и при изучении разрезов близлежащих территорий с учетом корреляции сейсмических горизонтов, выделенных по работам МОВ ОГТ на шельфе моря Лаптевых и данных бурения в скважине АСЕХ-302 [3].

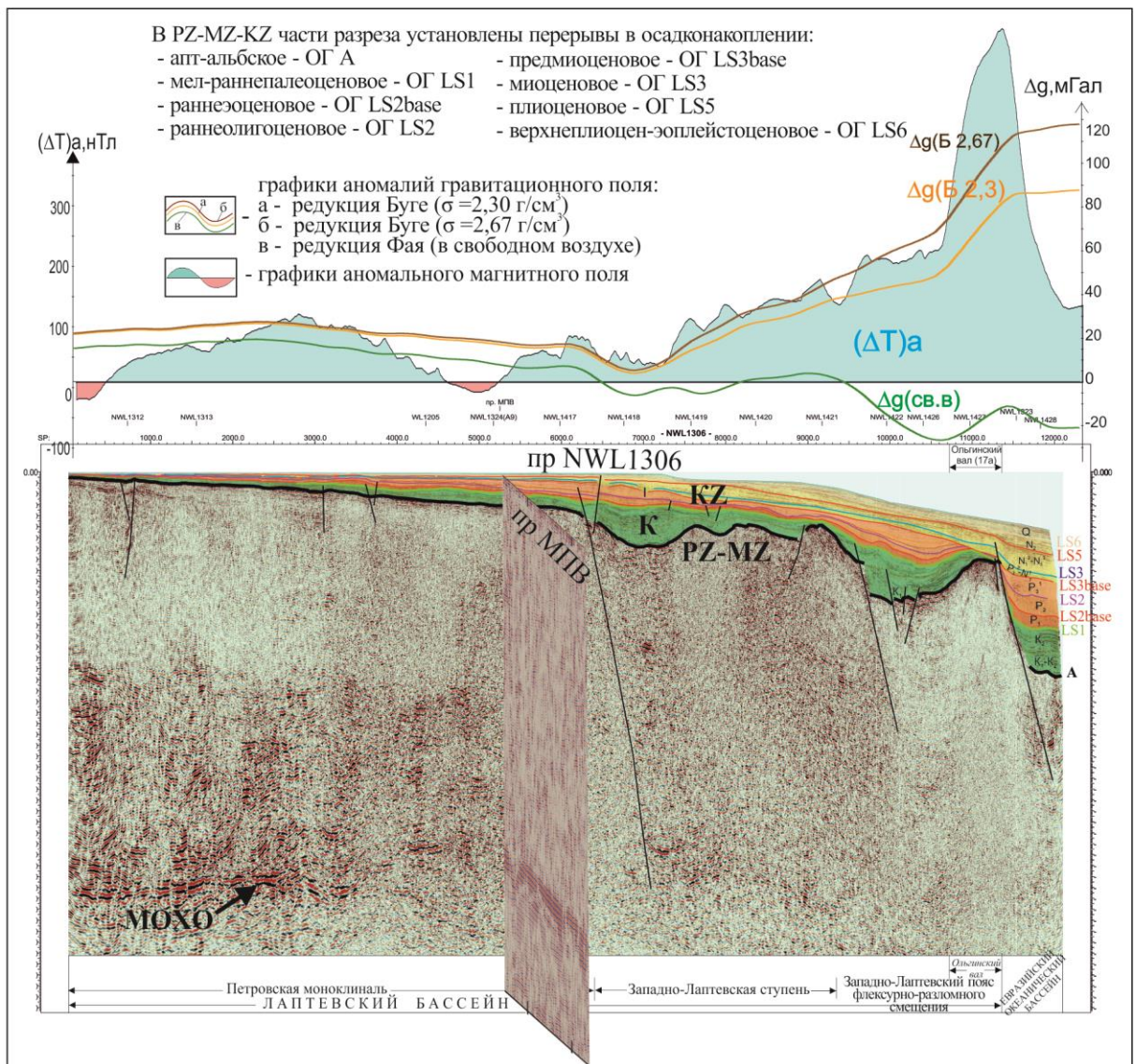


Рис. 2. Геолого-геофизический разрез по профилям NWL1306 и МПВ.

4. Результаты.

Комплексные геофизические исследования проведенные ОАО МАГЭ в 2012–2014 гг. позволили: – изучить строение земной коры северо-западной части моря Лаптевых и сопредельного участка континентального склона Евразийского бассейна до глубин 28–34 км и K_2 –KZ осадочного чехла до глубины 9,5 км; – провести структурно-тектоническое районирование по поверхности акустического фундамента; – выявить зоны и объекты потенциального углеводородонакопления и определить закономерности их размещения.

В качестве эталона для подсчета прогнозных ресурсов северо-западной части моря Лаптевых был выбран эталон в море Бофорта в пределах дельты (палеodelьты) реки Маккензи. Прогнозные ресурсы K_2 –KZ осадочного чехла в пределах изученной части притаймырской континентальной окраины моря Лаптевых составили около 4200 млн т. у.т., извлекаемые – 2750 млн т. у.т. Локализованные ресурсы составляют около 1350 млн т. у.т. (геологические). По фазовому составу предполагается преобладание газовой составляющей над нефтяной. Наиболее высокими перспективами характеризуются эоценовый и нижнеолигоценовый комплексы с ресурсами соответственно 650 млн т. у.т. и 540 млн т. у.т.

Литература

1. Г.С. Казанин, И.В. Заяц, С.П. Павлов, С.И. Шкарубо, Е.С. Макаров, В.А. Кацанюк, В.А. Журавлев, А.И. Васильев, А.В. Кузнецов, Т.А. Кириллова-Покровская, Т.И. Кадыш, А.Б. Дьяченко «Комплексные геофизические исследования ОАО МАГЭ на хребте Ломоносова». Материалы конференции «ЕАГО» Сочи, 2010.
2. Кириллова-Покровская Т.А., Казанин Г.С., Тарасов Г.А. «Моноклиналильные зоны Западно-Арктических морей», 2010. Российская Академии наук, Природа шельфа и архипелагов Европейской Арктики, Выпуск 10. М.: ГЕОС, 2010. Стр. 149–156.
3. Jokat W. The sedimentary structure of the Lomonosov Ridge between 88° N and 80° N. *Geophysical Journal Int.*, 2005, v. 163, p. 698–726.

ДИФРАКЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИИ СКОРОСТЕЙ

Шутилов И.А.

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского
(ФГУП «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: *shipik@bk.ru*

В работе рассматривается возможность выявления дизъюнктивных нарушений и определения скоростей по разрезу дифрагированных волн методом «Сферического зеркала». Приводятся теоретические основы метода, результаты его применения на моделях и реальном материале. Полученные сейсмические данные сопоставляются с геологическими.

DIFRACTION OF SEISMIC WAVES FOR IDENTIFICATION OF DISJUNCTIVE DISLOCATIONS AND DETERMINING VELOCITIES

Shipilov I.A.

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (FSUE «VSEGEI»), Saint-Petersburg, Russia,
e-mail: *shipik@bk.ru*

The possibility of identification of disjunctive dislocations and determining velocities by diffraction section, executed by «Spherical mirror» method, is considered in this work. Theoretical basis of method, results of application for models and real data are given, results is matched with geological map.

Выделение дизъюнктивных нарушений является важной геологической задачей, как при поиске залежей углеводородов, так и при построении глубинной тектонической модели исследуемой территории. Волновые поля в таких зонах характеризуются наличием дифрагированной энергии, при размерах нарушений, меньших или сопоставимых с длинами сейсмических волн. Дифрагированные волны имеют динамические и кинематические особенности, позволяющие выделять их из волнового поля. Решения задачи выделения дифрагированных волн методами мультифокусирования (суммирования на интервале профиля) предложено в двух работах [1, 2].

В данной работе использован метод «Сферического зеркала» [1], который основан на параметризации поля времен с использованием сферической отражающей границы (рис. 1). В этой параметризации годограф дифрагированной волны описывается уравнением

$$t = t_0 + \frac{4}{V} \frac{\Delta^2 - p\Delta \cos(\alpha)}{\sqrt{4\Delta^2 - 4p\Delta \cos(\alpha) + p^2 + p}}, \quad (1)$$

где $p = Vt_0$ (в случае дифрагированной волны), X_0 – центр апертуры суммирования, t_0 – время прихода волны от точки дифракции в т. X_0 , t – время прихода волны от точки дифракции в т. X , находящейся на расстоянии Δ от т. X_0 , $\cos(\alpha)$ – косинус угла подхода луча к точке дифракции от точки X_0 .

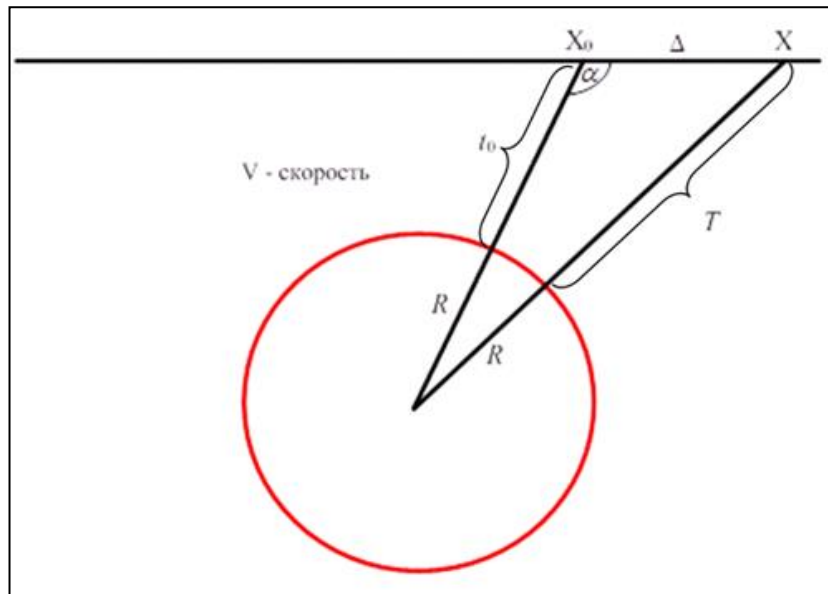


Рис. 1. Параметризация методом «Сферическое зеркало».

Посредством максимизации функционала когерентной меры [4] производится подбор параметра наклона $\cos(\alpha)$ сферического отражения

$$\max_{\cos(\alpha)} \frac{\int_{t=t_0-\Delta T}^{t_0-\Delta T} \left(\int_{X=X_0-\Delta X}^{X_0+\Delta X} u(X, T(X, t, \cos(\alpha))) dX \right)^2 dt}{\int_{t=t_0-\Delta T}^{t_0-\Delta T} \int_{X=X_0-\Delta X}^{X_0+\Delta X} u^2(X, T(X, t, \cos(\alpha))) dt dX}, \quad (2)$$

затем в каждой точке разреза вычисляется амплитуда после суммирования на заданной базе по уравнению дифрагированной волны (1), получая на выходе разрез дифрагированных волн (рис. 2, б)

$$u_{Dif}(X_0, t_0) = \int_{X=X_0-\Delta X}^{X_0+\Delta X} u(X, T(X, t_0, \cos(\alpha))) dX. \quad (3)$$

Выполнив процедуры миграции и преобразования Гильберта по полученному разрезу, его можно интерпретировать: выделять разломы, соединяя пики дифракционной энергии по линейно направленным трендам, а так же крупные зоны трещиноватости (рис. 3).

Т.к. когерентность суммирования зависит от скорости (1, 2), то лучшие результаты построения достигаются при наиболее точной скоростной модели. В случае же отсутствия данных для построения скоростной модели, скорость можно использовать в качестве параметра для когерентного суммирования, получая, таким образом, на выходе разрез RMS скоростей и разрез дифрагированных волн. Зависимость когерентного суммирования от скорости изучена на моделях (рис. 3).

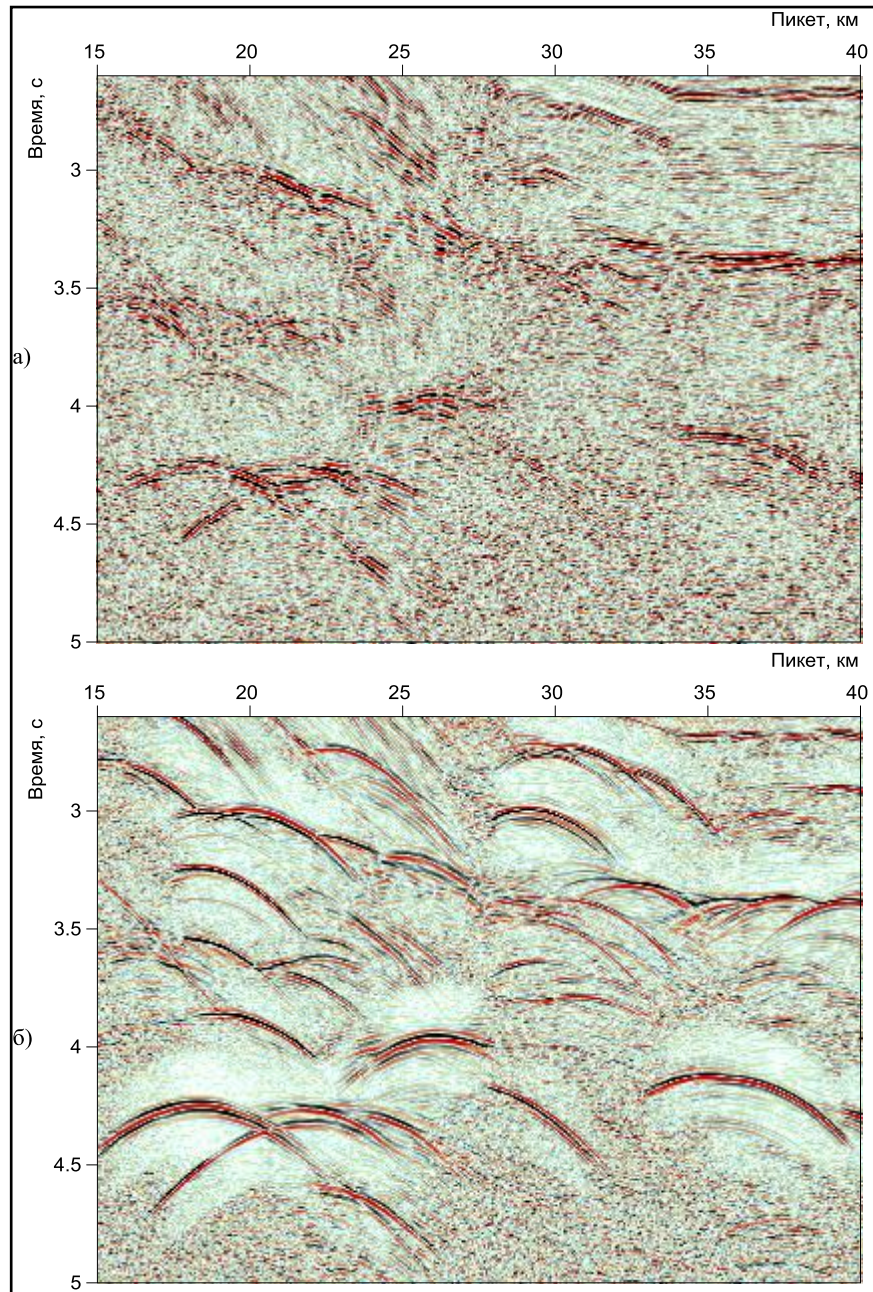


Рис. 2. (а) – фрагмент исходного временного разреза; (б) - фрагмент разреза дифрагированных волн.

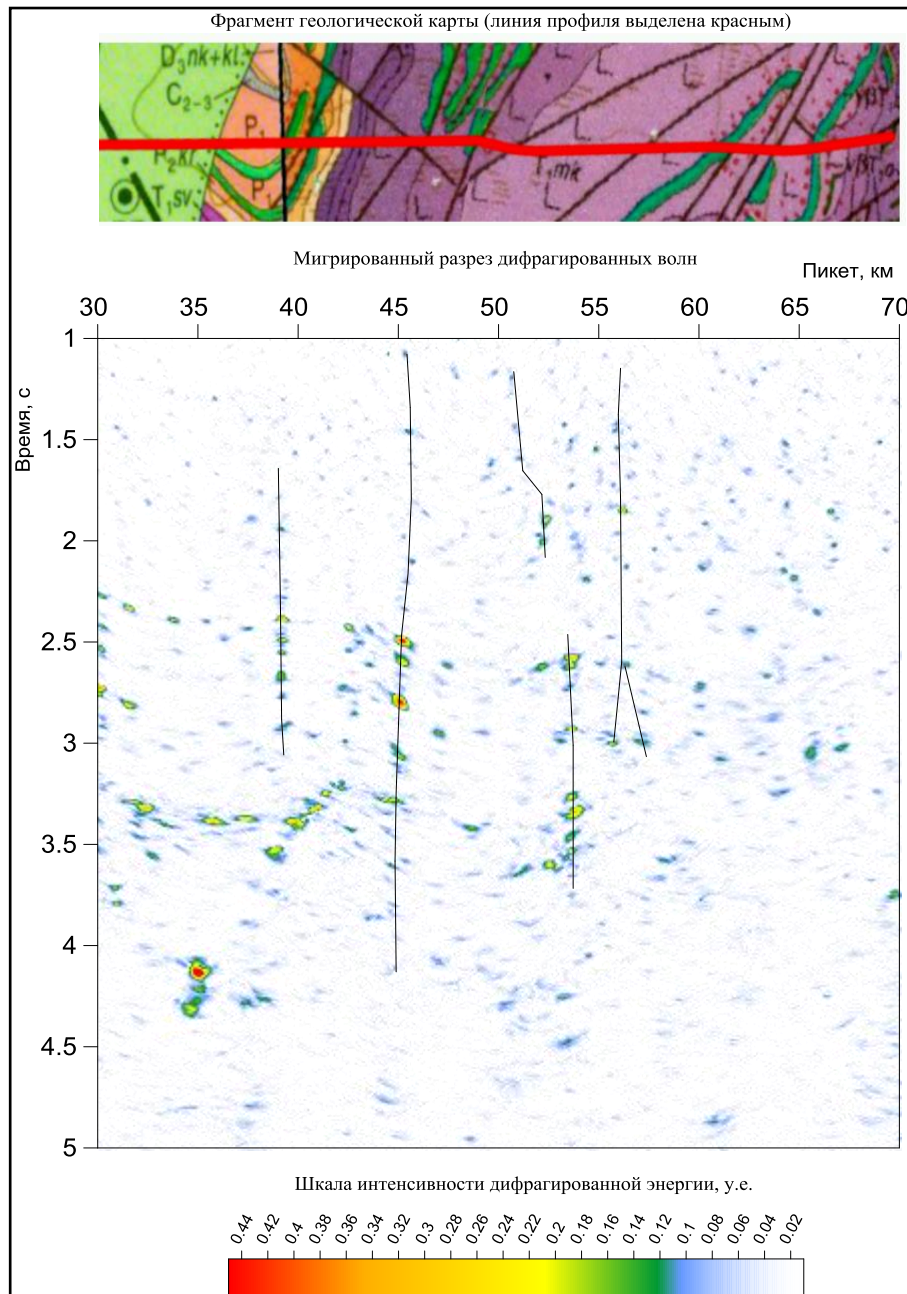


Рис. 3. Сопоставление результатов применения методики с геологической картой.

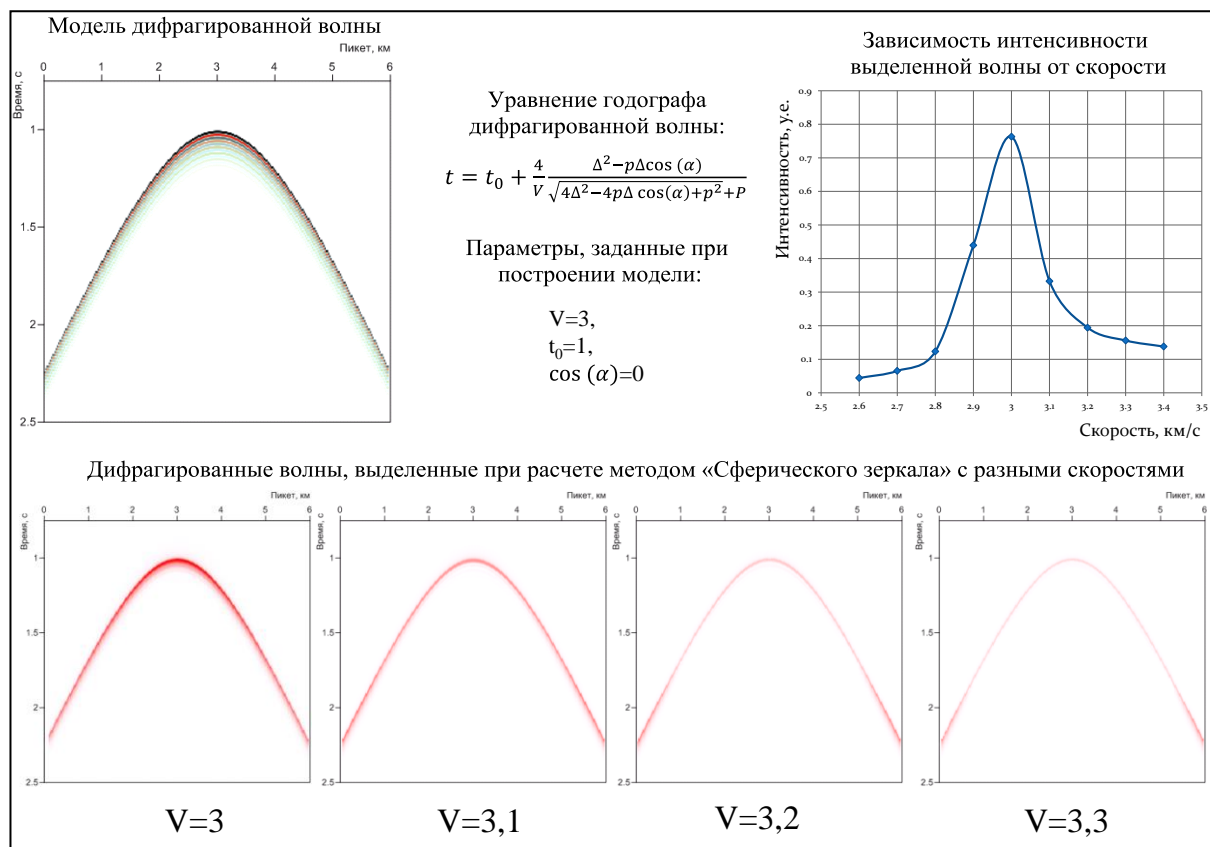


Рис. 4. Зависимость интенсивности выделенной волны от скорости.

Выводы

Временные разрезы дифракции могут быть построены методами мультифокусирования как по сейсмограммам, так и по временным разрезам, после чего интерпретироваться для выделения разломов и зон трещиноватости. Кроме того, дифракция на временном разрезе содержит информацию о RMS скоростях, которые могут быть оценены как при расчёте разрезов дифракции методом «Сферического зеркала» [1], так и путём оптимизации временной миграции разрезов дифракции [3].

Литература

1. С.А. Гриценко С.А. Изображение геологических разрезов и определение скоростей методом Общей глубинной точки, Изд-во ВСЕГЕИ, 2014
2. Berkovitch A., Belfer I., Hassin Y., Landa E. Diffraction imaging by multifocusing // Geophysics. 2009. 74. WCA75-WCA81.
3. Fomel S., Landa E., Turhan Taner M. Poststack velocity analysis by separation and imaging of seismic diffractions // Geophysics, 2007. Vol. 72. N. 6. November-December, 2007. P. U89–U94.
4. Taner M. T., Koehler F. Velocity spectra-digital computer derivation and applications of velocity function // Geophysics. 1969. Vol. 34. P. 859–881.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ ГЛУБИННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ ДЛЯ ТИПОВЫХ МОДЕЛЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ АКВАТОРИЙ

Яварова Т.М.

ОАО «Севморгео», г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: yavarova-tm@yandex.ru

Рассмотрены возможности использования конечно-разностного полноволнового моделирования в программе Tesserall 2D для анализа волновых полей многокомпонентных наблюдений ГСЗ на акваториях. Протестированы параметры моделирования в программе Tesserall 2D, влияющие на временную и амплитудную разрешенность синтетических сейсмограмм ГСЗ. Приведены результаты математического моделирования волновых полей для типовых моделей земной коры и верхней мантии акваторий.

MATHEMATICAL MODELING OF WAVE FIELDS OF MARINE DEEP SEISMIC SOUNDING FOR THE TYPICAL MODELS OF THE EARTH CRUST AND UPPER MANTLE

Yavarova Tatyana M.

Joint Stock Company «Sevmorgeo», Saint-Petersburg, Russia, e-mail: yavarova-tm@yandex.ru

The possibilities of using full-wave finite-difference simulation in program Tesserall 2D for analysis of wave fields of marine multicomponent DSS are investigated. The influence of modeling parameters on the time and amplitude resolution of synthetic seismograms DSS are tested. The results of computer simulation of wave fields for the typical models of an offshore earth crust and upper mantle are described.

Для исследования природы образования волн различных типов (продольных, поперечных, обменных) и классов (отраженных, рефрагированных, головных) используется полноволновое математическое моделирование. Моделирование волновых полей глубинных сейсмических зондирований (ГСЗ) проводится для анализа годографов и фронтов, распространяющихся сейсмических волн разных типов, и определения основных границ обмена в земной коре. Для этих целей было выполнено синтетическое конечно-разностное моделирование в программе Tesserall 2D (Tesserall Technologies Inc, Канада) для нескольких моделей, соответствующих основным типам земной коры и верхней мантии.

Программа **Tesserall 2D** предназначена для моделирования распространения колебаний в неоднородной среде всех типов волн для моделей сложных сейсмогеологических разрезов, включая комбинацию твердых тел и жидкостей. В программе реализовано синтетическое моделирование волновых полей конечно-разностным методом, позволяющее получать сейсмограммы вертикальных и горизонтальных компонент, наиболее приближенные к реальным зарегистрированным сейсмическим данным ГСЗ [2]. В программе предоставляется возможность получать «мгновенные снимки» распространяющихся фронтов волн. Метод является более времяемким и ресурсоемким по сравнению с лучевым синтетическим моделированием.

Суть метода состоит в том, что область непрерывного изменения аргумента, заменяется дискретным множеством точек (узлов), которое называется сеткой или решёткой. Процесс вычисления синтетической сейсмограммы использует формулу волнового уравнения

распространения волнового поля по дискретным шагам Δt на базе дифференцирования Δx [1].

При моделировании в программе Tesserall 2D большое значение имеет разрешенность (амплитудная и временная) записи синтетической сейсмограммы и время вычислений волнового поля, которые зависят от пространственных размеров модели и размеров ячейки сетки вычислений волнового поля [4]. Размер модельной ячейки определяется программой из набора заданных параметров: минимальной скорости продольных волн $V_{p_{\min}}$, минимальной длиной волны λ_{\min} , пиковой частотой источника $f_{\text{ист}}$.

Для выбора наиболее оптимальных значений $V_{p_{\min}}$, λ_{\min} , и $f_{\text{ист}}$ при моделировании волновых полей ГСЗ было выполнено тестирование этих параметров на примере изотропной двухслойной горизонтально-слоистой модели среды с мощностью осадочного слоя 2 км. Источник сейсмических колебаний находился на поверхности с координатами ($x = 0$, $z = 0$), форма сигнала – импульс Риккера. Заданное время регистрации сейсмических колебаний $t = 4$ с, шаг дискретизации $\Delta t = 0,008$ с.

Результаты тестирования параметров моделирования показали:

1. Разрешенность сейсмической записи синтетической сейсмограммы зависит от размера модельной ячейки: чем больше размер ячейки, тем более многофазным является сигнал.

2. Размер модельной ячейки зависит от минимальной скорости продольных волн $V_{p_{\min}}$ и заданной пиковой частоты сигнала $f_{\text{ист}}$:

- чем больше минимальная скорость продольных волн, тем больше размер модельной ячейки (увеличивается время, необходимое для расчета синтетической сейсмограммы),
- чем больше частота сигнала, тем меньше размер модельной ячейки.

3. На динамический диапазон сейсмической записи влияет положение источника сейсмических колебаний: сравнение сейсмических записей Z- и X-компонент, полученных в результате моделирования с положением источника на глубине 35 м в водном слое и на поверхности дна (глубина 2 км), визуализированных с одинаковым усилением, показывает, что в первом случае динамический диапазон выше.

Помимо приведенного выше синтетического моделирования для двухслойной модели, были выполнены аналогичные расчеты для некоторых реальных моделей, построенных по результатам предыдущих исследований на ряде морских профилей ГСЗ [3]. Применительно к синтетическому конечно-разностному моделированию сейсмограмм ГСЗ, для которых характерны большие удаления источник-приемник 200–250 км, и, следовательно, большие пространственные размеры моделей, а также большая длительность сейсмической записи до 60 с, встает вопрос о времени вычислений синтетических волновых полей и технических возможностях используемых для моделирования ПК (персональных компьютеров).

Моделирование волновых полей ГСЗ для разных типов земной коры и верхней мантии выполнялось со следующими характеристиками. Пространственные размеры моделей $X = -100 \div 300$ км, глубина $Z = 50$ км. Размер модельной ячейки 60×60 м обеспечил оптимальное соотношение между временем расчета и временной и амплитудной разрешенностью синтетической сейсмической записи. Использовался один источник, помещенный в водный слой на глубину 35 м, который генерировал симметричный сигнал Риккера с частотой $f_{\text{ист}} = 8$ Гц. Приемники располагались на дне моря с шагом 500 м (реализована обращенная система наблюдений). Длина сейсмической записи 60 с, шаг дискретизации $\Delta t = 0,008$ с. Получены синтетические сейсмограммы вертикальной и горизонтальной компонент.

Было выполнено конечно-разностное моделирование для типовых моделей земной коры и верхней мантии, соответствующих:

(1) нормальной океанической коре спрединговых бассейнов (*Модель 1*). Максимальная мощность земной коры такого типа составляет 5–7 км (иногда до 10–12 км), глубина моря может достигать 3 км и более. В земной коре рассматриваемого типа обычно выделяется три слоя: I слой – слой неуплотненных осадков, II слой – базальты, III слой – перидотиты и габбро. Поверхность верхней мантии находится на глубине 8–10 км;

(2) утоненной континентальной коре подводных хребтов и поднятий (*Модель 2*). Мощность земной коры достигает 30–32 км при глубине моря около 2 км. В земной коре выделяются следующие слои: осадочный чехол мощностью 3 км, верхняя часть консолидированной коры мощностью порядка 10 км, нижняя часть консолидированной коры, отличающаяся большой мощностью порядка 15–17 км. Поверхность верхней мантии находится на глубине около 32 км;

(3) маломощной континентальной коре шельфовых морей (*Модель 3*). Строение земной коры такого типа характеризуется наличием следующих слоев: осадочный слой большой мощности порядка 15 км, верхняя часть консолидированной коры мощностью до 10 км, нижняя часть консолидированной коры мощностью до 10 км. Поверхность верхней мантии находится на глубине 35 км;

(4) нормальной континентальной коре платформ и складчатых систем (*Модель 4*). Земная кора такого типа характеризуется трехслойным строением: кроме осадочного слоя мощностью порядка 5 км, выделяется верхняя часть консолидированной коры мощностью до 12 км, средняя часть консолидированной коры мощностью 11 км, нижняя часть консолидированной коры мощностью до 12 км. Поверхность верхней мантии находится на глубине 40 км.

Выполнен анализ продольных, поперечных и обменных волн, наблюдаемых на вертикальной и горизонтальной компонентах, определены основные границы обмена для наиболее интенсивных обменных волн.

По результатам выполненного моделирования были сделаны следующие выводы.

1. В поле продольных волн наиболее интенсивными являются отраженные волны P_{VP} , связанные с границей В (подошва осадочного чехла - кровля консолидированной коры) и P_{MP} , связанные с границей М (подошва земной коры - кровля верхней мантии), а также головные (рефрагированные) волны P_g , связанные с границей В.

2. В поле поперечных волн (волн, прошедших весь путь, кроме водного слоя, как волны сдвига) наиболее интенсивными являются головные (рефрагированные) волны S_g и отраженные волны S_{MS} .

3. В поле обменных волн выделены следующие особенности:

– первый обмен, как правило, происходит на падающем луче на дне моря;
– наибольшей интенсивностью отличаются обменные волны с количеством актов обмена не более двух, при этом доминируют обменные волны с одним актом обмена, из них чаще всего наблюдаются волны, претерпевшие обмен на кровле верхней части консолидированной коры (границе В) или подошве земной коры (границе М);

– обмены могут происходить как на падающих, так и на восходящих лучах (для преломленных волн – на скользящих или рефрагированных лучах), но чаще всего наблюдаются и являются более интенсивными волны с обменом на восходящих лучах;

– обмены проходящих волн, происходящие на границе В, наблюдаются как на падающих, так и на восходящих лучах, но чаще всего обменные волны, связанные с фундаментом, наблюдаются на скользящих (или рефрагированных) лучах;

– наиболее интенсивными для всех моделей являются обменные отраженные волны от границы М (волна P_{MS});

– из обменных преломленных (рефрагированных) волн, связанных с границей В, чаще всего наблюдаются волны, скользящие вдоль границы как Р-волны.

4. Количество границ обмена и обменных волн существенно меняется в зависимости от мощности земной коры и мощности отдельных слоев модели:

– чем меньше мощность отдельных слоев и мощность земной коры (при равном количестве слоев в модели), тем меньше наблюдается обменных волн;

– при большой мощности осадочного чехла практически отсутствуют обменные преломленные PS-волны от границы В.

Литература

1. Kelly K.R., Ward R.W., Treitel S., Alford R.M. Synthetic seismograms: A finite-difference approach. // *Geophysics*. – 1976. – № 41. – P. 2–27.
2. Kostyukevich, A.S., Starostenko, V.I., Stephenson, R.A. The full-wave images of the models of the deep lithosphere structures constructed according to DSS and CDP data interpretation // *Geophysical Journal*. – 2000. – Vol. 22, № 4. – P. 96–98.
3. Кашубин С.Н., Павленкова Н.И., Петров О.В., Мильштейн Е.Д., Шокальский С.П., Эринчек Ю.М. Типы земной коры Циркумполярной Арктики. // *Региональная геология и металлогения*. – 2013. – № 55. – С. 5–20.
4. Яварова Т.М. Возможности использования конечно-разностного полноволнового моделирования в программе Tesserat 2D для анализа волновых полей многокомпонентных наблюдений ГСЗ на акваториях. // *Материалы IV Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана»* / Отв. ред.: О.Е. Смирнов А.Г., Редько И.П. Моргунова. – СПб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга». – 2014. – С. 32.