

"Тектоническое строение и условия образования гряды Чернова (Предуральский краевой прогиб) по результатам данных широкоазимутальной сейсморазведки 3Д."

Хромова И.Ю., Цыбин В.П.

Abstract

Conducting modern seismic studies on the basis of a dense wide-azimuth acquisition using full-wave prestack depth migrations made it possible to construct a highly informative image of the Chernov swell, a tectonically complex element of the Polar Urals foreland. The junction zone of two large thrust plates moving towards each other was built by fragments of the plateau complexes of the Kosyu-Rogovskaya and Korotikhinskaya foredeep. Steep fall of layers, numerous shariage, delaminating edges of plates, antithetic faults - a wide variety of tectonic forms became possible to trace in depth seismic sections. It was possible to confirm, supplement and substantially refine the hypotheses of the predecessors about the structure of the Chernov Swell made on 2D seismic data, and also to restore the geochronological sequence of the formation of the Chernov Swell in comparison with the global geodynamic events of Hercynian tectonogenesis.

Keywords: a dense wide-azimuth acquisition, full-wave prestack depth migrations, the Polar Urals foreland, Chernov swell.

Аннотация

Проведение современных сейсмических исследований на основе плотной широкоазимутальной системы наблюдения с использованием полноволновых глубинных миграций позволило построить высокоинформативное изображение гряды Чернова – тектонически сложно построенного элемента Предуральского краевого прогиба. Зона сочленения двух крупных надвиговых пластин, двигавшихся навстречу друг другу, построена фрагментами и обломками плитных комплексов Косью-Роговской и Коротаихинской впадин. Крутое падение слоев, многочисленные шарьяжи, расслаивающие края плит, антитетические разломы – широкое многообразие тектонических форм стало возможно проследить по глубинным сейсмическим разрезам. Удалось подтвердить, дополнить и существенно детализировать гипотезы предшественников о строении гряды Чернова, сделанные по данным сейсморазведки 2Д, а также восстановить геохронологическую последовательность

формирования гряды Чернова в сопоставлении с глобальными геодинамическими событиями герцинского тектогенеза.

Ключевые слова: плотная широкоазимутальная сейсмическая съемка, полноволновая глубинная миграция сейсмограмм, Предуральский краевой прогиб, Гряда Чернова.

Данные и методы

Гряда Чернова сформировалась в зоне сочленения двух предгорных впадин Уральско-Пай-Хойского орогена: Коротаихинской и Косью-Роговской. Её строение и положение долгие годы являлись предметом научных споров нескольких поколений исследователей. Одним из свидетельств тому является её статус и положение на тектонических схемах: в 1989 году поднятие Чернова считается тектоническим элементом I порядка наравне с Коротаихинской и Косью-Роговской впадинами [3], в 2000 году горст (поднятие) Чернова наравне с Верхневоркутской зоной дислокаций отнесены к Коротаихинской впадине Пайхойско-Новоземельской складчатой системы [1], а в 2013 году горст Чернова уже отнесен к Воркутскому поперечному поднятию Предуральского краевого предгорного прогиба [2].

Горст Чернова (140x10 км) субширотного простираения представляет собой приразломную клиновидную структуру (в сечении «карбонатный клин»), ограниченную двумя встречно падающими надвигами, по которым карбонатные толщи поднятия надвинуты на орогенные формации прилегающих впадин [4]. Надвиги осложнены поперечными и диагональными нарушениями надвиго-взбросового и сдвигового типов, в результате чего сформированы отдельные блоки-чешуи. Поднятие Чернова было выделено по выходам под четвертичные отложения карбонатных отложений каменноугольного, девонского и силурийского возрастов и терригенных отложений перми и триаса (рис. 1). Карбонатные палеозойские отложения, обнажающиеся по обрывистым берегам рек, пересекающих это поднятие, составляют верхнюю аллохтонную пластину (рис. 2).

Для изучения особенностей геологического строения и определения перспектив нефтегазоносности горста Чернова в пределах Восточно-Падимейского лицензионного участка ООО «Восток-НАО» были проведены сейсморазведочные работы МОГТ-3Д на площади 450 км². На участке была подготовлена сеть из 77 профилей приема, через интервал 400 м друг от друга и ортогонально к ним проложена сеть из 77 профилей возбуждения с интервалом 300 м друг от друга. Расстояние между пунктами приема и пунктами возбуждения по 50 м. 18 активных линий возбуждения в блоке обеспечивают широкую азимутальность наблюдений. Источники возбуждения взрывные в одиночных скважинах глубиной 12.5-15 метров по 12.5-15

кг заряда. Схема обработки площади позволила получить сейсмическую информацию в узлах сети 25 x 25 м с кратностью 144 (16 по оси X и 9 по оси Y) в полнократной части при максимальном удалении ПВ-ПП 5950 м и минимальном удалении 35 м. Система наблюдения с номинальной кратностью 144 повышает отношение сигнал/помеха в 6 раз. Размер бина 25x25м позволяет картировать минимальные геологические объекты размером 75 x 75м. Максимально-минимальное удаление составляет 465 м и позволяет картировать отражающие горизонты, начиная с этой глубины. Максимальное удаление, составляющее 5965 м, настроено на изучение геологических объектов в диапазоне верхняя пермь – ордовик.

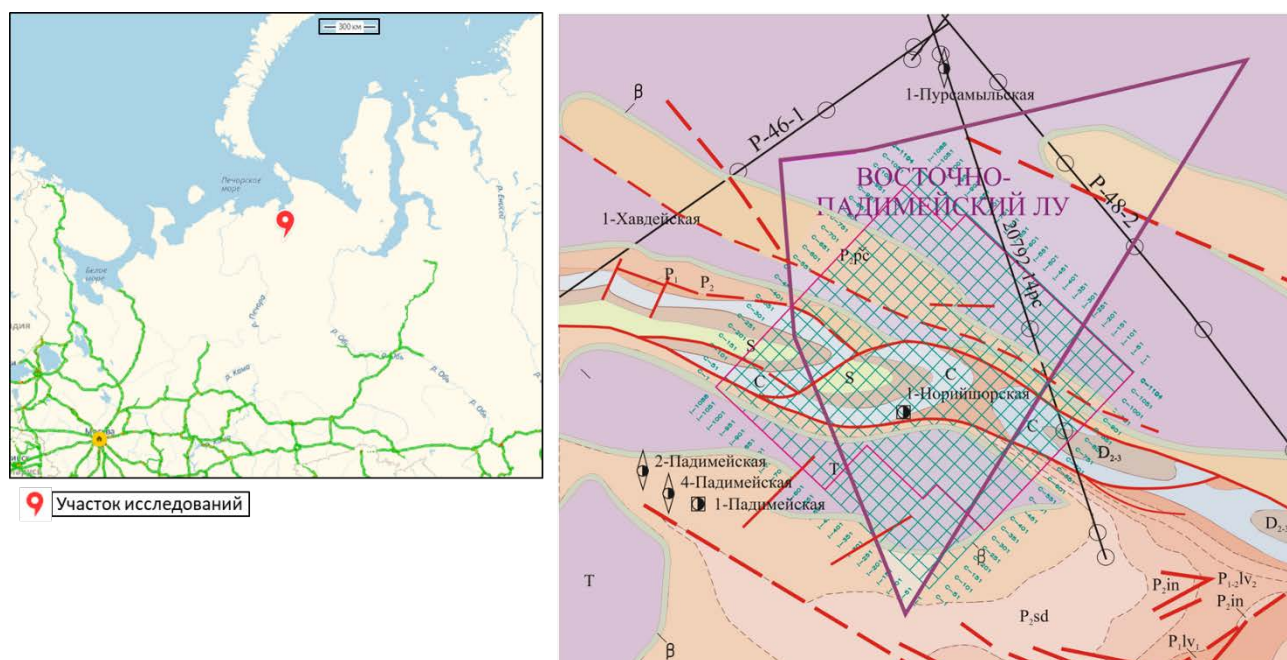


Рис. 1. Обзорная карта района исследований. Положение сейсмической съемки МОГТ-3Д на геологической карте.

В ходе обработки широкоазимутальных высокочастотных сейсмических данных использовался широкий спектр современных процедур шумоподавления, сохранения истинных амплитуд, повышения разрешенности и т.д. Но основной задачей перед обработчиками ставилось восстановление изображения в пределах собственно горста Чернова, чего не удавалось ранее из-за практически вертикального падения слагающих его слоев. И здесь основная роль принадлежит построению модели ВЧР и глубинно-скоростным преобразованиям.

Выходы карбонатных палеозойских пород под четвертичный чехол были учтены в скоростной модели верхней части разреза повышенными до 6 км/с скоростями, подтвержденными по преломленным волнам с использованием томографии.

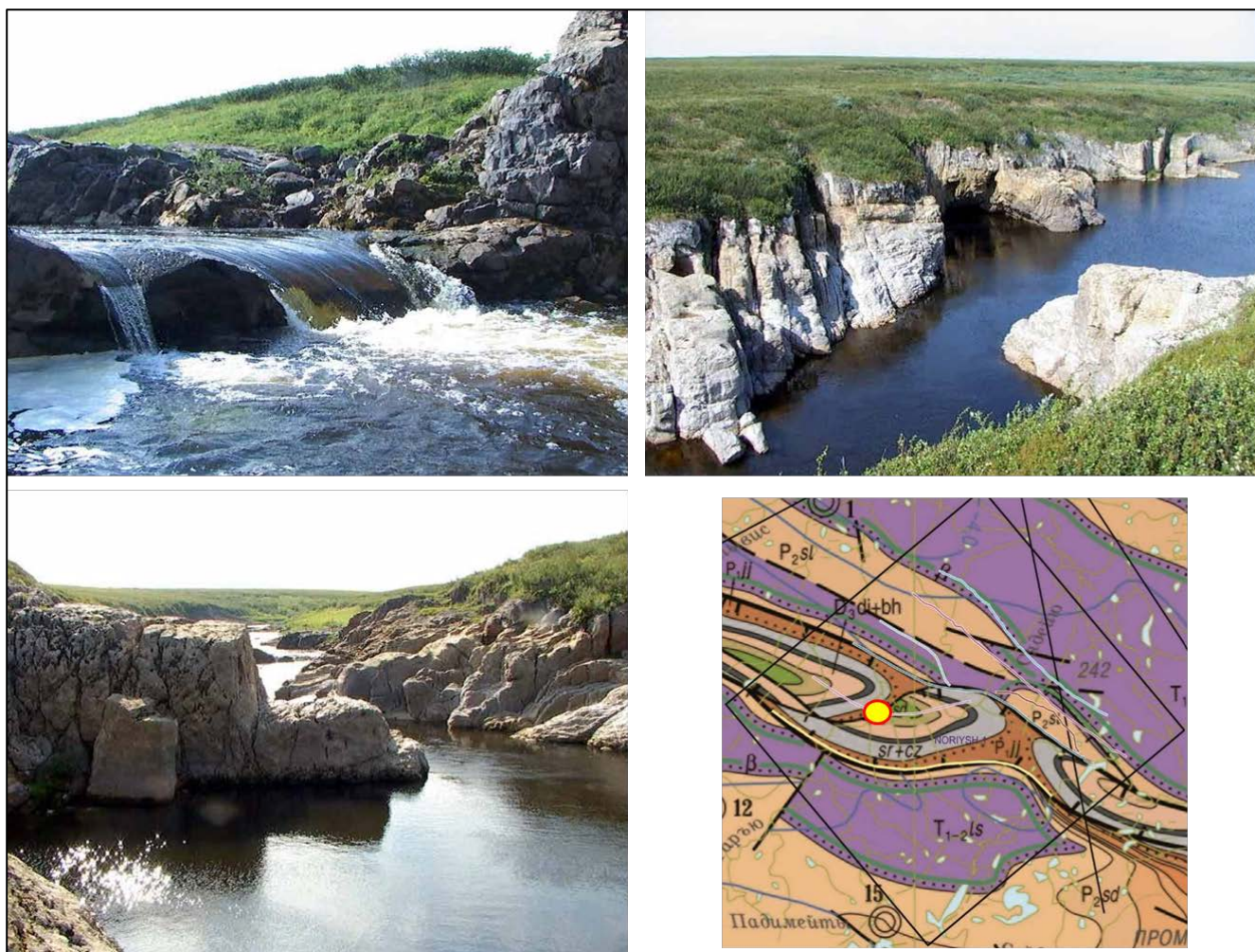


Рис. 2. Обнажение палеозойских карбонатных пород (порог на реке Тарью) в районе исследований. (фотографии с сайта <http://www.tourism.ru/docs/report/water/49/87/467/>)

Основным методом восстановления изображения горста Чернова послужил последовательный ряд глубинных миграций по все более усложняющимся алгоритмам с итерационно уточняющимися глубинно-скоростными моделями (ГСМ).

Структурный каркас первичной ГСМ строился по результатам временной миграции сейсмограмм, и основная геологическая идея данной модели опиралась на существующие геологические представления: карбонатный клин пород, надвинутый на автохтонные части обеих Коротайхинской и Косью-Роговской впадин. Для построения ГСМ была оцифрована геологическая карта с выходами палеозойских карбонатных пород под четвертичные отложения, и эта информация участвовала в создании первичной модели (рис. 3).

Глубинные миграции выполнялись совместно двумя независимыми творческими коллективами. В результате итерационного уточнения исходной модели были построены две

альтернативные глубинно-скоростные модели с помощью технологий, реализованных в программных продуктах GeoDepth и PRIME.

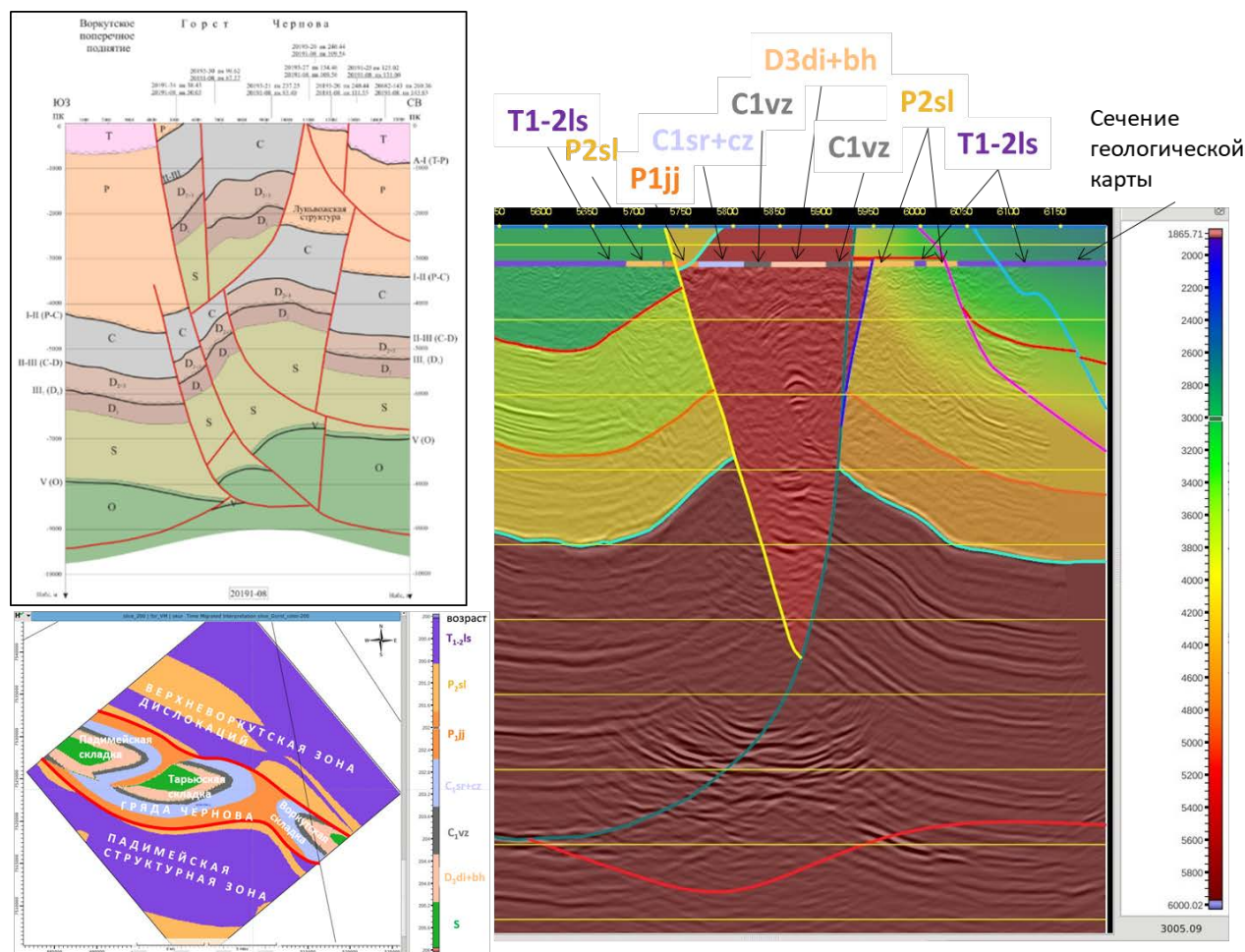


Рис. 3. Априорная геологическая информация, участвовавшая в построении первичной глубинно-скоростной модели: геологический разрез вкрест горста Чернова (слева сверху), оцифрованная геологическая карта в пределах съемки 3Д (слева внизу), первичная скоростная модель (цветокодированная), наложенная на временной разрез.

С использованием данных скоростных моделей были выполнены глубинные миграции до суммирования с использованием различных алгоритмов.

Скоростная модель, построенная в системе GeoDepth, использовалась для глубинной миграции Кирхгофа по панелям равных удалений (PSDM) и полно-азимутальной угловой глубинной миграции в системе ES360.

Скоростная модель, построенная в системе PRIME, также использовалась для глубинной миграции Кирхгофа по панелям равных удалений, реализованной в этом программном

продукте, и BI – 3D-миграцию сейсмограмм ОПВ (Dynamic Boundary Integral Migration 3D Cluster).

Таким образом, было получено четыре варианта глубинных мигрированных кубов (рис. 4). Они использовались для верификации объектов, повышая их степень достоверности, и для локализации мест с повышенной неоднозначностью. В условиях сложной сейсмогеологической картины, характерной для данной площади, такая информация существенно снизила неопределенности геологической модели.

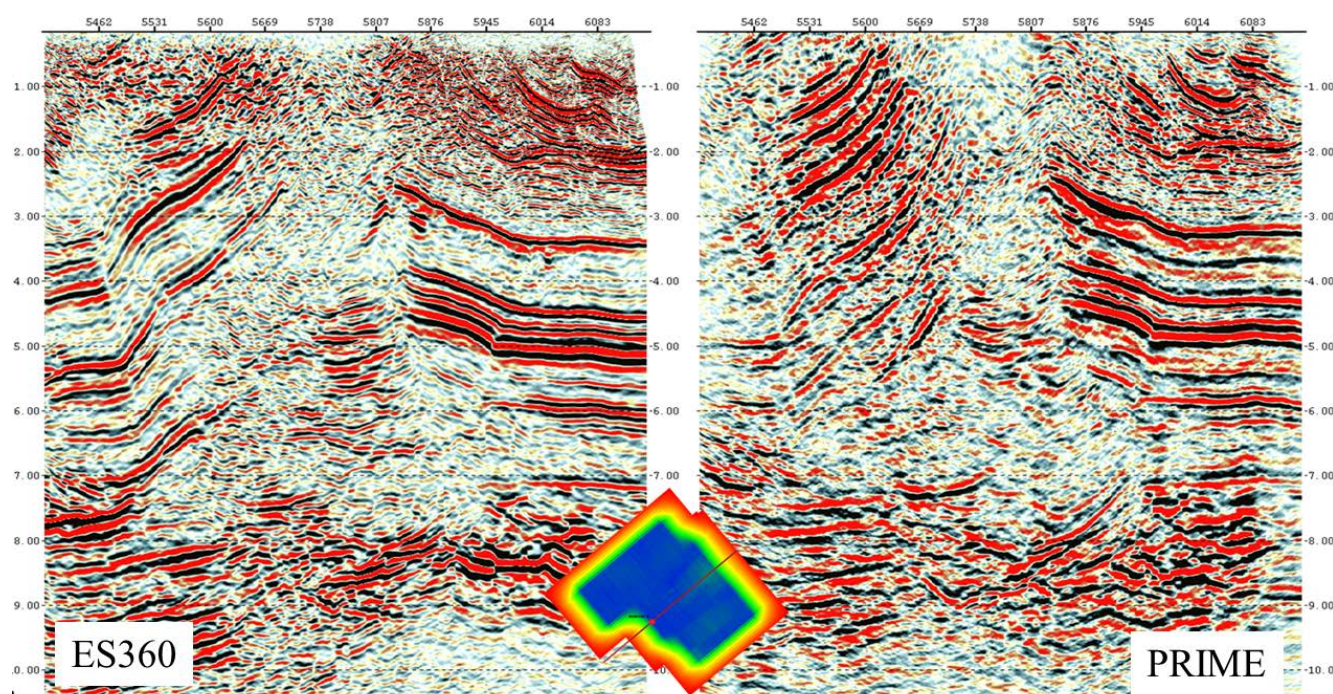


Рис. 4. Две разных реализации алгоритма глубинной миграции Кирхгоффа на основе двух разных глубинно-скоростных моделей (рис. 5).

Результаты.

Интерпретация новых сейсмических данных позволила существенно детализировать внутреннее строение гряды Чернова. Поскольку она расположена не просто на сочленении двух впадин, а является результатом столкновения двух надвиговых пластин, образованных всем осадочным чехлом этих впадин, начиная от нижнего силура до поверхности, и перемещенных по некомпетентным солевым отложениям верхнего ордовика, необходимо привести беглый сопоставительный анализ их строения.

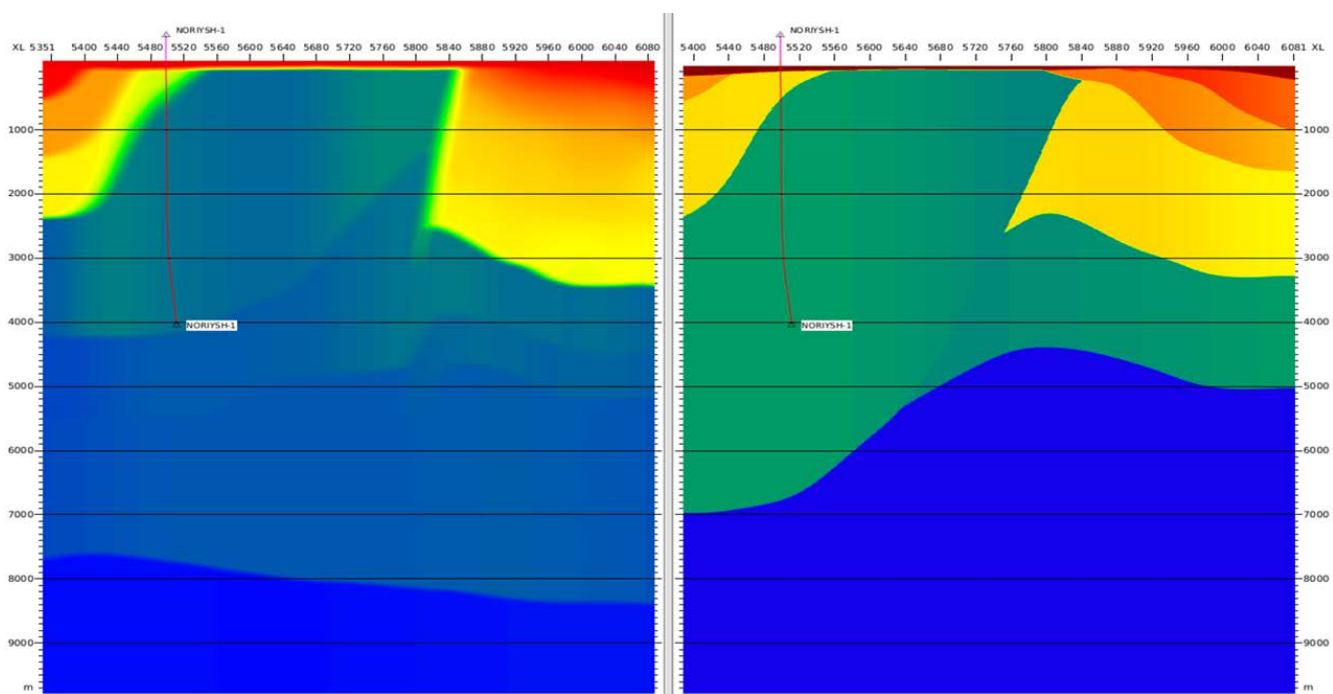


Рис. 5. Две разные глубинно-скоростные модели, построенные двумя самостоятельными коллективами, и использованные для расчета глубинной миграции по двум разным модификациям алгоритма Кирхгоффа (рис. 4).

Основным отличием осадочного чехла обеих надвиговых пластин, важным для понимания последствий их столкновения, является состав слагающих их пород, всего комплекса этих пород: в целом разрез осадочного чехла Косью-Роговской впадины характеризуется большим количеством карбонатных отложений, накапливавшихся в условиях мелководного шельфа, чем разрез Коротаихинской впадин, который на протяжении практически всего палеозоя формировался в условиях глубоководья при дефиците привноса осадочного материала. При сходстве литологического состава некоторых стратиграфических комплексов, например, карбонатных пластов силура и нижнего девона, различие наблюдается в существенном уменьшении их толщин в Коротаихинском разрезе относительно Косью-Роговского.

При столкновении столь разных по прочностным характеристикам надвиговых пластин, разрушение их также происходило по-разному: более прочная, крепкая Косью-Роговская пластина раздробилась на крупные блоки, круто наклоняющиеся, смещенные относительно друг друга с формированием стопок моноклинально и круто падающих на юг слоев; менее прочная, хрупкая пластина Коротаихинской впадины раскрошилась на множество разновеликих, в основном мелких обломков, сгруженных друг на друга, наклоненных в разные стороны, под разными углами (рис. 6).

Положение границ тектонических элементов на геологической карте

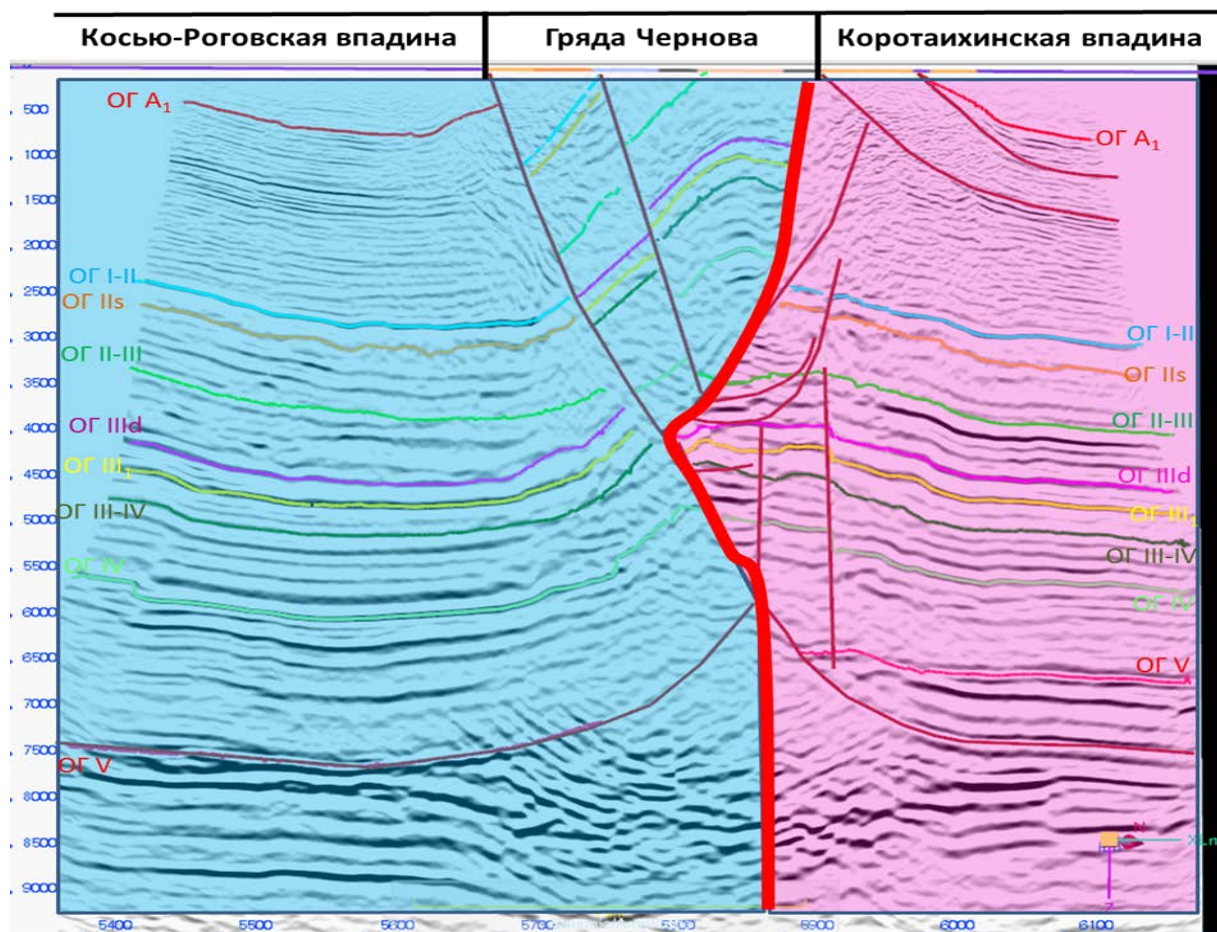


Рис. 6. Глубинный разрез вкрест гряды Чернова с положением границ тектонических элементов. На верхней панели вынесены границы тектонических элементов на геологической карте. На разрезе красная линия – фактическая граница, которая разделяет разрезы, накопленные в условиях Косью-Роговской впадины (голубая заливка), и в условиях Коротаихинской впадины (красная заливка).

Степень разрушения первоначальной структуры Косью-Роговского надвига от столкновения с Коротаихинской пластиной существенно зависела от его исходного положения по отношению к направлению сжимающего напряжения. Так, наиболее устойчивыми к разрушению в позднемеловое время оказались Тарьуский и Воркутский блок (название тектонических элементов гряды Чернова в составе показано на рис. 3 слева внизу). Тарьуский блок устоял в силу своего субширотного простирания, направленного по касательной к сжимающим усилиям, а Воркутский блок - вероятно потому, что был удален от вектора основных напряжений. Наибольшему разрушению в позднемеловое время подвергся Косью-Роговский надвиг в районе северного Падимейского блока. В его пределах практически не

сохранилось козырьковой складки Косью-Роговского надвига, и он практически по всей своей высоте построен породами, накопившимися севернее своего текущего положения. Вероятно, в этой части начинается зарождение Вашуткино-Толотинского надвига, состоящего полностью из пород, переместившихся по Коротайхинскому надвигу.

Детальное изучение строения Верхневоркутской зоны дислокаций, примыкающей с севера к гряде Чернова, позволило выявить ряд закономерностей. Весь осадочный чехол на этом участке шарьирован на разных уровнях. Выявлено как минимум 5 уровней некомпетентных пород, по которым происходило смещение блоков, причем омоложение надвиговых процессов происходило сверху вниз и на каждом уровне с востока на запад. Наиболее древним было смещение по ордовикским соленосным отложениям, следом за ним смещение произошло по франским терригенным отложениям, затем по мергилистым отложениям позднесерпуховского возраста, затем по углисто-глинистым отложениям в татарско-казанском интервале. Завершение расслоения произошло по некомпетентным породам в верхней части пермских отложений, возможно по пластам углей.

Заключение

Проведение современной высоко кратной широкоазимутальной сейсмической съемки 3Д с последующей обработкой сейсмических данных с применением глубинных миграций на основе априорной геологической информации позволило получить новую детальную информацию о строении сложной двусторонне надвиговой структуры – гряды Чернова, существенно снизить неопределенности геологической модели и повысить достоверность картирования перспективных объектов.

Благодарность

Авторы благодарят сотрудников ООО «ПетроТрейс» и ООО «Сейсмотек» за активное участие в работе над проектом и сотрудников ПАО «ЛУКОЙЛ» за предоставленную возможность в нем участвовать.

Список литературы

1. Карта тектонического районирования Тимано-Печорского седиментационного бассейна /Богацкий В.И. [и др.]// Тимано-Печорский седиментационный бассейн. Атлас геологических карт, ГУП ТП НИЦ, Ухта, 2000.

2. Новые представления о тектоническом и нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции /Прищепа О.М. [и др.] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011. -Т.6. -№4. http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2011.pdf.
3. Тектоника Тимано-Печорской Нефтегазоносной Провинции. /Дедеев В.А. [и др.] // Объяснительная записка к "Структурно-тектонической карте Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции" масштаба 1:1000 000. Коми научный центр УрО АН СССР, 1989, -28 с.
4. Юдин В.В. «Орогенез и геодинамика Севера Урала и Пай-Хоя». Сыктывкар, 1992.

References:

1. Map of the tectonic regionalization of the Timano-Pechora sedimentary basin / Bogatsky VI [and others] // Timano-Pechora sedimentary basin. Atlas of geological maps, SUE TP SIC, Ukhta, 2000. in Russian.
2. New ideas about the tectonic and oil and gas geological zoning of the Timan-Pechora oil and gas province / Prishchepa O.M. [and others] // Oil and gas geology. Theory and practice. 2011. -Т.6. -№4. http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2011.pdf. in Russian.
3. Tectonics of the Timano-Pechora Oil and Gas Province. / Dedeev VA [and others] // Explanatory note to the "Structural-tectonic map of the Timan-Pechora oil and gas province" of scale 1: 1,000,000. Komi Scientific Center of the UrO Academy of Sciences of the USSR, 1989, -28 p. in Russian.
4. Yudin V.V. "Orogenesis and geodynamics of the North of the Urals and Pai-Khoi". Syktyvkar, 1992. in Russian.

Об авторах



Инга Юрьевна ХРОМОВА

Независимый консультант, эксперт ГКЗ, приглашенный преподаватель геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, кандидат геолого-минералогических наук. В 1987 году окончила геологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова.

Область научных интересов – интерпретация данных сейсморазведки, трещиноватость и методы её изучения, региональная геология России (Тимано-Печорский, Волго-Уральский, Западно-Сибирский регионы). Автор более 50 научных статей, 2 монографий и 1 патента.
ingakhr@inbox.ru



Владимир Филиппович ЦЫБИН

Главный геолог ООО «Восток-НАО», геолог с 43-летним производственным опытом работы в Тимано-Печорском регионе, автор более 10-ти публикаций.

Vladimir.Tzibin@lukoil.com