

Строение коры и нефтегазоносность бассейна Бофорт-Маккензи по результатам интерпретации сейсмических данных 2D по большим удалениям с 9-километровой постановкой, полученных в рамках программы ArcticSPAN™

Менно Дж. Динкелман (Menno G. Dinkelmann)

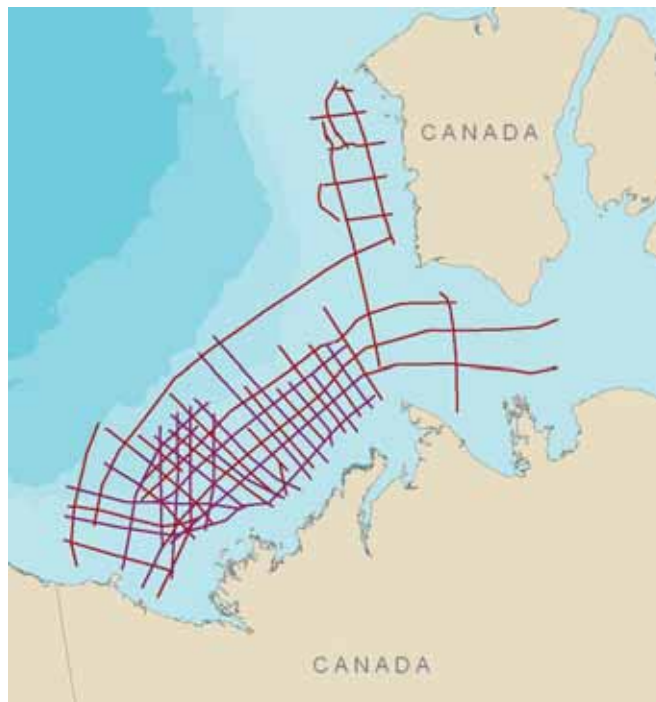
Главный геолог программ BasinSPAN,
ION Solutions – GX Technology

**Нареш Кумар (Naresh Kumar),
Джеймс Э. Хелвиг (James A. Helwig),
Пит Эммет (Pete Emmet) и Джим Грэнат (Jim Granath)**
Консультанты, ION Solutions – GX Technology

ОБЗОР

Бассейн Бофорт-Маккензи в канадском секторе Арктики является нефтегазоносной провинцией с высоким потенциалом, разведка которой началась относительно недавно. Почти за три десятилетия разведочных работ здесь было открыто 48 значительных нефтяных и газовых месторождений с общим объемом запасов примерно в 1,7 млрд. баррелей (277 млн. м³) нефти и 11,7 трлн. куб. футов (332 млрд. м³) природного газа (Chen and others, 2007). Хотя разработка этих запасов практически не ведется, средний объем еще неоткрытых ресурсов бассейна за пределом глубоководной площади, по оценкам Геологической службы США (2006 г.), равен примерно 14,5 млрд. баррелей (2,3 млрд. м³) нефти и природного газоконденсата и 86,6 трлн. куб. футов свободного и сопутствующего газа, что в целом составляет 2,32 трлн. м³.

Несмотря на большой объем работ, проведенных в этом районе, остались большие вопросы по строению и нефтегазоносности бассейна, особенно на участках с глубиной моря более 200 м. Если оставить их неразрешенными, это может стать препятствием для выявления всего потенциала данного бассейна, поэтому отрасль высказала заинтересованность в проведении здесь сейсмической разведки в масштабе бассейна. В ответ на это в конце 2006 года компания ION Geophysical (GX Technology) осуществила сейсмосъемку 2D с большими удалениями общей протяженностью 3534 км (этап I). Эта программа предусматривала освещение разреза до корового основания с использованием 9-километровой косы при длине записи 18 секунд и финальной глубинной миграцией до суммирования до глубины 40 км. Интерпретация полученных данных позволила картировать региональную границу между океанической и континентальной корой и верх границы Мохо, а также выявить основные стратиграфические комплексы, сформировавшиеся со времени раскрытия Канадского бассейна. Кроме



Канадский сектор моря Бофорта

того, наши данные SPAN обеспечили превосходную картину строения коры и осадочного чехла на глубоководье, достигая в глубину 1500 м и более. Основываясь на успехе этапа I, в сезоне 2007-2008 гг. были получены данные еще по 12316 км с теми же параметрами (этап II) (рис. 1).

Основные результаты интерпретации: 1) Шельфовая дельтовая система Маккензи подстилается очень мощным осадочным клином (в некоторых местах его мощность достигает почти 15 км); 2) В результате процессов складкообразования в условиях сжатия, сдвигообразования, растяжения, опрокидывания и гравитационного нагружения, практически одновременно происходивших в разных частях данного региона, сформировались сложные складки, нарушения и надвиги (на участках с глубиной моря почти 2 км); 3) Наши данные позволили картировать региональную границу между океанической и континентальной корой; 4) Помимо «нормальной» океанической и континентальной коры, мы выявили участок «аномальной» коры, перекрытый самой мощной осадочной толщей в этом бассейне.

ВВЕДЕНИЕ

Целями программы BeaufortSPAN East являлись адекватное распределение сейсмопрофилей по известным структурным и стратиграфическим провинциям, выявление новых перспективных объектов и выработка новых идей по их поиску. Программы SPAN служат основой для новых направлений геологоразведки и поиска нефтегазоносных объектов в будущем. Съемка на этапе I (август – октябрь 2006 г.) проводилась со следующими параметрами: расстояние между ПВ – 50 м, расстояние между ПП – 25 м, шаг дискретизации – 2 мс. Финальная обработка данных состояла в глубинной миграции до суммирования методом Кирхгофа до глубины 40 км с кратностью 90. Программы для этапов II и III реализованы в августе–октябре 2007-2008 гг. с такими же параметрами. Данные по этапу II уже обработаны, а обработка данных этапа III будет завершена к маю 2009 г. Полученные данные увязаны с данными по представительным скважинам в этом районе. Результаты региональной интерпретации этих данных служат основой для выводов в настоящей статье.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

На рисунке 2 показаны основные комплексы и горизонты, выявленные по проинтерпретированным данным. На рисунке 3 хорошо видна граница между океанической и континентальной корой, а также граница Мохо, вычисленная по гравиметрическим данным (красный горизонт) и находящаяся значительно глубже под континентальной корой. Цвета горизонтов примерно соответствуют цветам на рисунке 2.

Рисунок 2: Сейсмические горизонты, скоррелированные и картированные по набору данных BeaufortSPAN. Комплексы над континентальной корой сложены палеозойскими и протерозойскими породами. Самые древние осадки в толще на океанической коре – готеривские и более древние синрифтовые осадки. Отложения, перекрывающие готеривское несогласие (BKUP, 130 млн. лет), – «наносные» осадки. Осадки, перекрывающие поздне меловое несогласие (80 млн. лет), отражают периодическое накопление осадков реки Маккензи и ее дельты. Мы также выделили участок «аномальной» коры, находящийся, главным образом, под дельтой р. Маккензи между океанической корой и кристаллическим фундаментом (границы и абсолютный возраст толщ приведены по данным Pyle and others (2006) и ConocoPhillips (2004)).

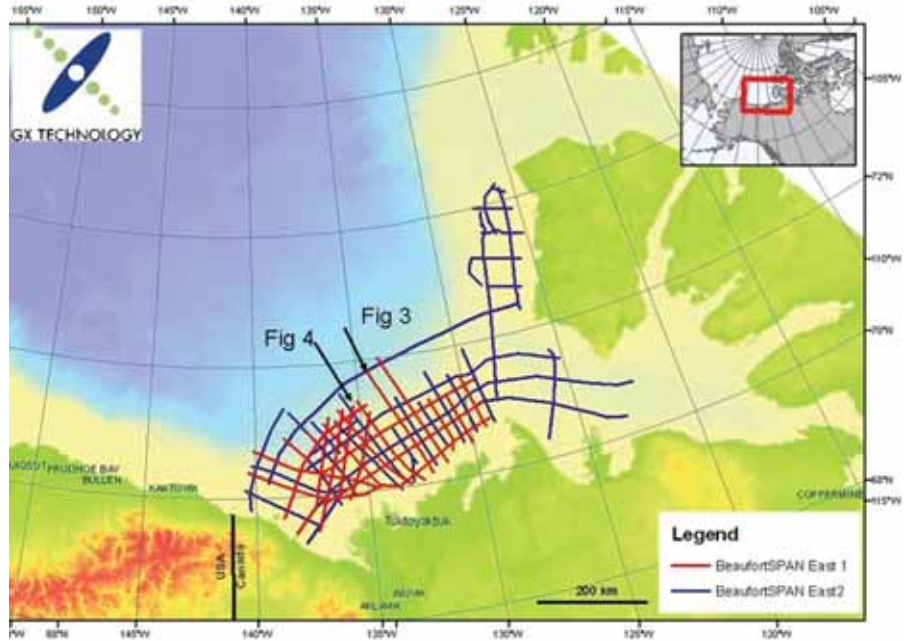


Рисунок 1: Профили сейсмических съемок BeaufortSPAN East этапа I (2006 г.) и II (2007 г.) на батиметрической карте района. Данные зарегистрированы с 20 м при глубине моря 2000 м.

Seismic Horizons Identified and Mapped in the Beaufort-Mackenzie Offshore

Horizon (Unconformity)	Estimated Age (m.y.)	Horizon (Unconformity)	Approx. Sequence/Formation Boundaries	Peak or Trough
Continental Crust		Oceanic Crust		
	5.3		Iperk	
08_LATE MIO	23.03	08_LATE MIO	Akpak, Mackenzie Bay	Trough
25_LATE OLIG	37.2	25_LATE OLIG	Kugmallit, Richards	Trough
40_MID EOCENE	48.6?	40_MID EOCENE	Taglu	Trough
50?_EARLY EOC	60	50?_EARLY EOC	Aklak	Peak
60_PAL	83.5	60_PAL	Fish River	Peak
80_LateCRET	130	80_LateCRET	Smoking Hills	Peak
130_Haut_BKUP	150?	130_Haut_BKUP	SIKU ?	Peak
	359.2	OCEANIC_CRUST		Peak
360_LateDev	443.7		Imperial?	
445_EarlyPZ	542		Mount Kindle?	
Proterozoic				
Cryst_BSMT				
MOHO		MOHO		Peak

Как видно на рисунке 4, в результате гравитационного оползания и тектонической деятельности, связанной с хребтом Брукса, сформировались складки и надвиги с главной поверхностью срыва протяженностью почти 15 км в южной и западной частях этого района. Более позднее сжатие вызвало структурное опрокидывание, смятие главной поверхности срыва и создание крупной структуры на крае шельфа, простирающейся на глубокководье. Мы считаем, что данные BeaufortSPAN очень помогут понять строение сложной нефтегазоносной системы Бофорт-Маккензи.

ВЫВОДЫ

- Выявлены отражающие горизонты возрастом от 8 млн. лет до протерозоя.
- Итерационная интерпретация сейсмических данных и потенциальных полей позволила выделить участки континентальной, океанической и «аномальной» коры. Последняя занимает шельфовый дельтовый район и представляет собой, скорее, мощное океаническое плато, а не тектонически выклинивающуюся континентальную кору.
- Формирование синрифтового осадочно-го клина, сложенного пелагическими и терригенными отложениями мощностью 1-3 км, происходило 150-130 млн. лет назад.
- Выделено несколько этапов раннетретичного-позднемиоценового надвигообразования. Сжатие, вызвавшее надвигообразование, также привело к созданию сдвиговых транспрессионных структур в некоторых районах. Главная поверхность срыва на надвигах расположена у подошвы осадочной толщи на глубине около 15 км.
- Большинство «диапироподобных» структур не являются настоящими диапирами, так как по полученным данным в них наблюдается внутренняя слоистость.
- Имеется потенциал для геологоразведки на неизученном внешнем шельфе и верхней части континентального склона, а также в неисследованных, более глубинных частях осадочного разреза под внутренним шельфом.

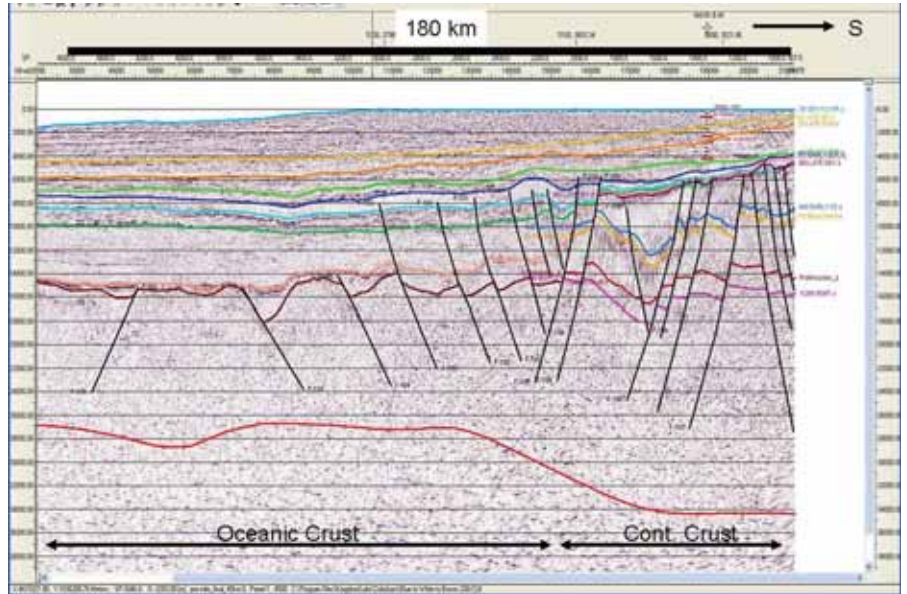


Рисунок 3: Мезозойские и палеозойские сейсмические горизонты, пропикированные по профилю съемки BeaufortSPAN East. VE=-3. Вертикальная шкала – 40 км; примерное расположение профиля показано на рис. 1.

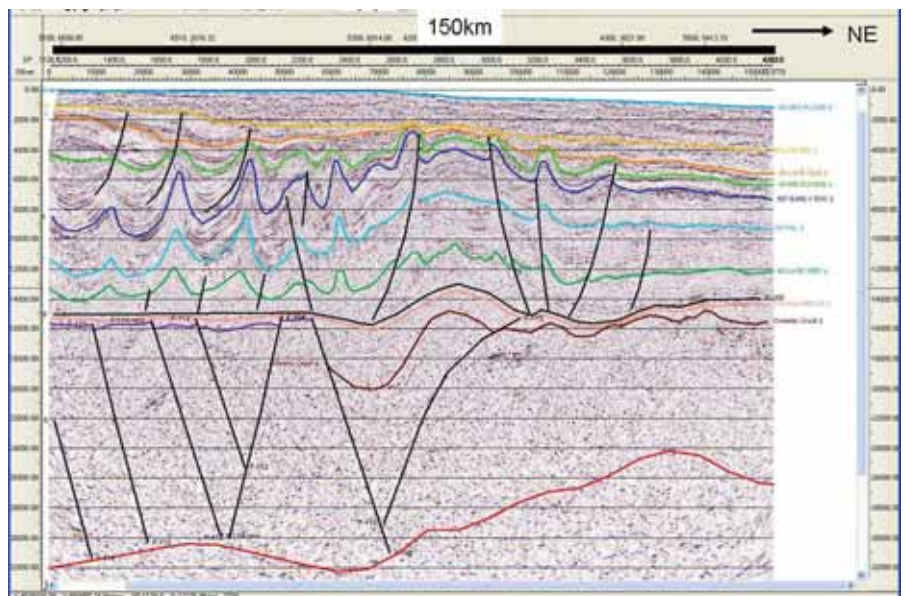


Рисунок 4: Характер деформации осадочного клина дельты р. Маккензи. Клин простирается от участка аномальной коры до океанической коры. Проинтерпретированная поверхность срыва находится на глубине, более-менее эквивалентной глубине поверхности 130_Haut_VKUP. Опрокидывание полуграбеновых отложений ниже поверхности 130_Haut_VKUP привело к формированию «внешнего» поднятия в осадочном клине. Положение профиля показано на рис. 1. Глубинный красный горизонт – граница Мохо, вычисленная по гравиметрическим данным; вертикальная шкала – 40 км, VE=-3.

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодарим исследователей в Геологической службе Канады, особенно Тома Брента (Tom Brent), Чжохен Чэня (Zhouheng Chen), Эшттона Эмбри (Ashton Embry), Криса Харрисона (Chris Harrison), Лэрри Лейна (Larry Lane) и Кирка Осадеца (Kirk Osadetz), за предоставленные данные и информацию о геологическом строении и потенциале нефтегазоносности бассейна Бофорт-Маккензи, а также за обсуждение проблемных вопросов, связанных с историей и тектоникой Канадского бассейна.

ССЫЛКИ

Chen, Z., Osadetz, K.G., Dixon, J., Morrell, G., and Dietrich, J.R., 2007, The future oil discovery potential of the Mackenzie/Beaufort Province, poster presentation at AAPG Annual Convention, Long Beach, California, April 1-4, 2007, AAPG online Journal, Search and Discovery. Article #10133 (2007), ESS contribution number 20070247. В интернете:

<http://www.searchanddiscovery.net/documents/2007/07089chen02/index.htm>

ConocoPhillips, 2004, Application for approval of the development plan for Parsons Lake Field, Project Description: Geology, Geophysics and Petrophysics, Section 2.1, 18p., в интернете:

http://www.mackenziegasproject.com/theProject/regulatoryProcess/applicationSubmission/Documents/MGP_Parsons_DPA_Section_2.pdf

Pyle, L.J., Gal, L.P., Hadlari, T., Jones, A.L., Lemieux, Y., Zantvoort, W.G., Allen, T.L., and Fraser, T.A., 2006, Lower to Middle Paleozoic Mackenzie-Peel Shelf, presentation on Regional Geoscience Studies & Petroleum Potential, Peel Plateau and Plain, 49 p., в интернете:

http://www.nwtgeoscience.ca/petroleum/Peel_docs/Pyle_840am.pdf

USGS Mackenzie Delta Province Assessment Team, 2006, Assessment of undiscovered oil and gas resources of the Mackenzie Delta province, North America, 2004, World Energy Assessment Project Fact Sheet, 2p. В интернете:

<http://pubs.usgs.gov/fs/2006/3002/pdf/FS-2006-3002.pdf>

О BasinSPAN™

Интерпретационные пакеты BasinSPAN™ группы комплексных сейсмических решений (ISS) дают возможность нефтегазовым компаниям получить лучшее представление о нефтегазоносных системах в регионах, представляющих интерес. BasinSPAN – это библиотеки сверхглубинных сейсмических и геологически осмысленных данных в масштабе бассейна, полученных и обработанных с использованием самых передовых геофизических технологий. С их помощью нефтегазовые компании могут прояснить геологическую эволюцию, глубинное строение бассейна и историю осадконакопления и формирования всех нефтегазоносных систем в регионе.

В отличие от обычных неэксклюзивных сейсмических съемок, все программы SPAN проектируются индивидуально компанией GXT (подразделение ION), региональными экспертами и специалистами нефтегазовых компаний. Когда задачи программы согласованы, компания GXT берет на себя руководство проектом и выбирает систему наблюдений, методики регистрации и технологии обработки данных, обеспечивающие получение наилучших результатов. Такие исчерпывающие данные и средства их интерпретации помогают операторам в управлении портфелем своих активов и позволяют существенно снизить риски благодаря разработке программ разведки и оценки с большей достоверностью.