

## Combined geophysical acquisition methods heighten hydrocarbon prospectivity of the Sea of Okhotsk

### Совмещенные способы геофизической съемки увеличивают перспективность добычи углеводородов в Охотском море

Erling M. Frantzen и Kjell E. Trommestad, TGS-NOPEC Geophysical Company, объясняют, каким образом двумерные сейсмические данные, полученные в многоклиентной разведке в Охотском море, при совмещении с магнитными и гравиметрическими данными опровергают распространенные идеи об ограниченности нефтегазовых ресурсов Дальневосточного побережья.

После открытия на Сахалине первого месторождения (Оха) в 1923 г., крупные залежи, обнаруженные на Дальневосточном побережье, указали на присутствие активных нефтегазовых систем в малоизученном эпиконтинентальном Охотском море, покрывающем площадь 900х1200 км на Дальнем Востоке России.

После того, как в 1932 г. скважина Токинский-1 продемонстрировала наличие значительных залежей нефти на глубине 800 м на Камчатском полуострове, в течение более трех деkad в регионе проводилась интенсивная разведка, и к 1971 г. там были обнаружены 35 месторождений нефти, газа и газоконденсата.

Разведка в Охотском море началась в 1970-х гг и большей частью ограничивалась областями у острова Сахалин. Крупные нефтегазовые месторождения, открытые у берегов Сахалина – такие, как Одопту (1977), Чайво-море (1979), Лунское-море (1984), Пильтун-Астоское (1986), и Аркутун-Дагинское (1989), создали сахалинскому шельфу репутацию нефтегазоносной провинции мирового уровня. Ее резервы составляют более 5.5 млрд баррелей нефти и около триллиона кубометров газа. Ожидается, что общие резервы в узком коридоре к востоку от Сахалина (где располагаются все указанные месторождения) составят 90 млрд баррелей нефтяного эквивалента. Несколько международных нефтяных компаний, включая BP, ChevronTexaco, ExxonMobil, Роснефть, Shell, и др., присоединились к поиску в конце 80-х – начале 90-х гг.

Совместное предприятие BP и Роснефти «Элвари-Нефтегаз» объявило в октябре 2004 о том, что поисковая



Рис.1. Многочисленные месторождения, обнаруженные на Сахалине, Камчатке и японском острове Хоккайдо, демонстрируют, что на большой площади в Охотском Море существуют активные нефтеносные системы.

скважина «Пела-Лаче» обнаружила Сахалина в период, считающийся значительные объемы нефти и газа в современной эрой разведки нефти и газа. нескольких песчаниковых резервуарах В октябре 2005 BP и Роснефть объявили о в 6000 км<sup>2</sup> Кайганско-Васюканском том, что вторая разведочная скважина, исследовательском блоке, в 40 км к «Удачная-1», обнаружила углеводороды северо-востоку от Сахалина. Таким в трех зонах на поверхности, в 15 км к образам, бурение «Пела-Лаче» стало западу от «Пела-Лаче». Во время первой успешной находкой вне ограниченного тестирования с 28/64-разведанного коридора у берега дюймовым штуцером «Удачная»

скважина давала 1900 баррелей нефти в день.

Кроме этих замечательных успехов, несколько морских испытательных скважин были пробурены на шельфе Охотского моря. Наличие нефти и газа было доказано в Татарском проливе между островом Сахалин и материком. Тем не менее, пять скважин, пробуренных в заливах Анива и Терпения, на южном и восточном берегах Сахалина, соответственно, оказались сухими. Кроме этого, три относительно неглубокие сухие скважины были пробурены в Магаданской области у северной оконечности Охотского моря.

### Результаты двумерной сейсморазведки

Подтвердив существование богатой нефтеносной зоны к востоку от Сахалина, скважины ВР-Роснефти помогли возродить интерес к нефтегазовой перспективности Охотского моря. Тем не менее, признаки наличия запасов нефти вдали от берега еще не привели к открытию и разработке крупных месторождений. Это частично объясняется тем, что нынешние взгляды на геологическую структуру Охотского моря основаны лишь на оценке и интерпретации старых сейсморазведочных данных, явно ограниченных в разрешении и определений последовательности.

Чтобы помочь компаниям преодолеть недостатки старых данных, российская сейсморазведочная компания Дальморнефтегеофизика (ДМНГ), базирующаяся в Южно-Сахалинске, совместно с норвежско-американской TGS-NOPEC Geophysical Company (TGS) с 1998 г. проводила многоклиентные сейсмические съемки в Охотском море. Целью этих двумерных съемок является разведка крупных неизученных тектонических объектов, обозначенных ДМНГ около Сахалина и на Хабаровском и Магаданском шельфах. Современные двумерные сейсмические профили во многом превосходят старые региональные профили, показывая глубокие осадочные бассейны, крупные структурные замыкания, и структуры вытекания жидкостей.

Съемка первых 9700 км показала, чье сильно нарушенного структурного что Магаданский шельф содержит тренда, простирающегося с северо-связанные с фундаментом наклонные востока на юго-запад, где глубокие тектонические блоки, горсты, анти-пост-меловые грабены могут содержать клинали и выклинивания мирового зрелые нефтегазоносные породы. Съемка уровня. Присутствие этих геологических данных вокруг Сахалина значительно ких элементов вкупе с находкой улучшила разрешение и определение многочисленных прямых признаков комплексов пластов и структурных углеводородов (ППУ) предоставляет трендов во многих известных нефтеубедительные причины для продол-газоносных провинциях. Комплексы, жения исследований на Магаданском относящиеся к до-третичному периоду – шельфе. Возможные резервуары в особенности области Сахалин-4 и -5, должны относиться к палеогену или смогли быть обозначены; были выделены неогену; углеводороды должны небуренные структуры Сахалин-1,-2, и - поступать из палеогеновых слоев. 3. Сейсморазведка проводилась на

На Хабаровском шельфе дву- постоянной основе. К тому времени, мерная съемка подтвердила нали- когда ДМНГ и TGA завершат съемку

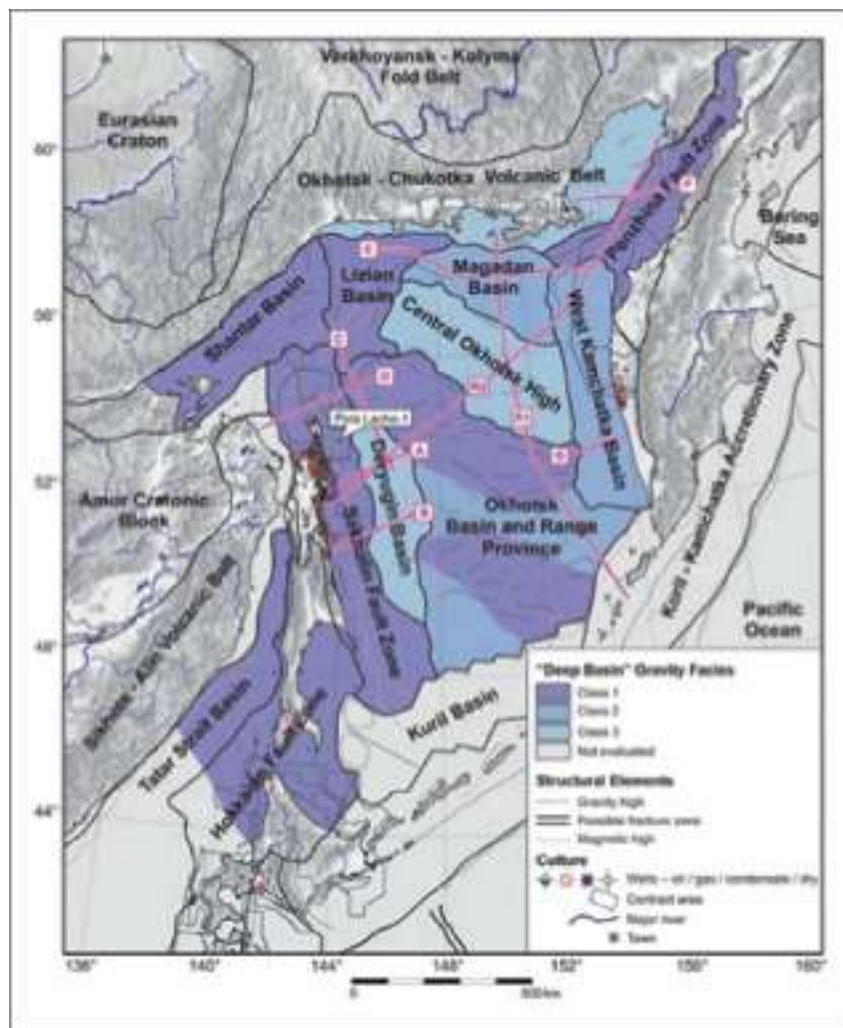


Рис.2. Классификация корковых провинций в соответствии с наличием глубоких, зрелых осадочных бассейнов. Корковые провинции были размежеваны на основании гравиметрических и магнитных данных четко различных фаций; зрелость материнской породы на дне бассейна была оценена с помощью данных о тепловом потоке. Крупнейший потенциал глубоких осадочных бассейнов обнаружен вдоль направления Сахалинского пласта в зоне Пенжинского разлома, а также в центральной области Охотского бассейна и провинции Range.

(в конце осени или к началу зимы), с начала разведки в 1998 г. будет снято между 35,000 и 40,000 км современных двумерных данных.

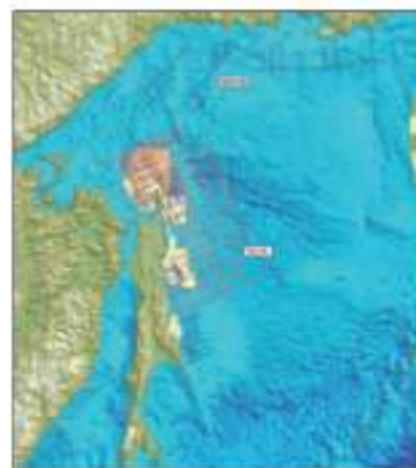
### СМГ: новый метод интерпретации данных

Недавно полученные сейсмические данные предоставляют детальную информацию об акустическом сопротивлении и скоростном строении осадочных бассейнов. Тем не менее, стоимость съемки высока и разрешение на большой глубине обычно снижается. Чтобы получить дополнительную информацию о неразбуренных подповерхностных структурах Охотского моря, TGS совместно с Volcanic Basin Petroleum Research (VBPR) провела интерпретацию сейсмических данных в сочетании с аккуратно обработанными и отфильтрованными магнитными и гравиметрическими данными (так называемый СМГ-метод).

Метод СМГ-комплексирования легко принимается сейсмическими исследователями и обычно увеличивает эффективность и качество геологической интерпретации. В частности, пропущенные через фильтры высоких частот и наложенные на систему координат данные могут использоваться для графического

отображения глубоких осадочных бассейнов, структурных возвышений, и вулканических пород. В начале интерпретации проводится идентификация фаций, аномалий и сейсмических групп в отфильтрованных магнитных и гравиметрических данных. Следующий шаг – комплексирование обнаруженных фаций и аномалий в интерфейс для обработки сейсмических данных. Это проводится с помощью импорта магнитных и гравиметрических данных как псевдогоризонтов, описываемых как карты плотности и подверженности воздействию.

Метод СМГ-комплексирования особенно полезен при ограничении интерпретации бассейнов и выступов фундамента, для обнаружения геологических объектов, которые не являются очевидными в сейсмических данных, а также для литологических определений, таких, как различие между опрокинутыми бассейнами и выступами фундамента, или вулканическими и осадочными породами. Последним этапом интерпретации является числовое моделирование разрезов через главные аномалии и фации, основываясь на аккуратно отобранных магнитных и гравиметрических аномалиях для получения важных



Сейсмическая активность в Охотском море.

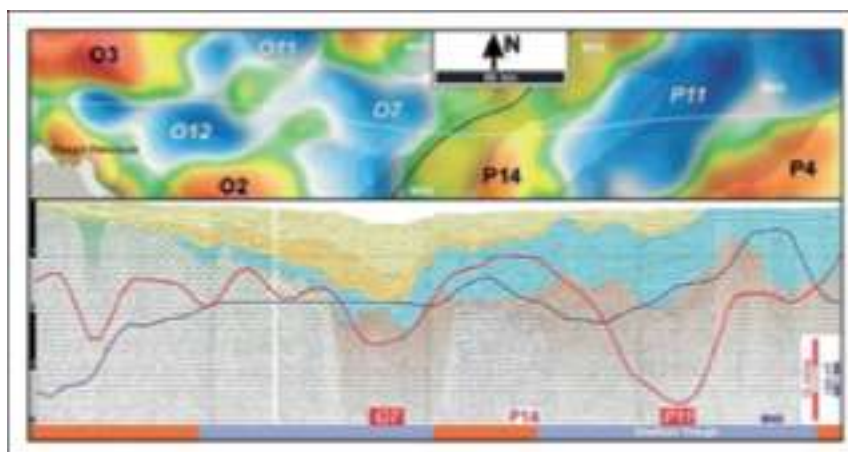
ограничений структуры и глубины бассейна, а также для того, чтобы помочь проверке противоречащих геологических гипотез.

Магнитные и гравиметрические данные часто не принимаются во внимание исследовательскими компаниями. Но эти данные, будучи правильно обработанными и использованные в сочетании с сейсмическими данными, могут предоставить ценную информацию, которая дополняет и при этом является независимой от сейсморазведочной информации. Интегрированный СМГ-метод в нескольких ситуациях привел к совершенно новому геологическому описанию малоизученных областей. Находки были собраны в геофизическом атласе Охотского моря.

### Новый взгляд на геологию Охотского моря

Один из примеров, взятых из геофизического атласа Охотского моря – работы, проведенные в Магаданской области, списанной со счетов многими исследователями из-за трех пробуренных на шельфе пустых скважин. В прошлом считалось, что вероятность обнаружения богатых месторождений в третичных слоях Магаданского бассейна близка к нулю. Тем не менее, СМГ-интерпретация обнаружила, что многие объекты, ранее ошибочно считавшиеся выступами фундамента, на самом деле – опрокинутые бассейны, и что обширные и глубокие старые бассейны находятся под слоями, ранее считавшимися фундаментом.

Это открывает возможности



**Рис.3.** Комплексная сейсмо-магнитно-гравиметрическая (СМГ) интерпретация профиля F через зону Пенжинского разлома (см. Рис. 2). Верхняя панель: 200-км аномалии Буге и магнитные аномалии (прозрачные) в коридоре вокруг профиля. Нижняя панель: пропущенные через фильтр верхних частот аномалии Буге (красная линия) и магнитные аномалии (синяя линия) были импортированы как псевдо-горизонты в сейсмический профиль. Яркая выраженная негативная аномалия Буге P11 частично соответствует структурному возвышению в сейсмических данных, обозначая, что возвышение является вершиной глубокого, опрокинутого осадочного бассейна (впадина Шеликова). То же можно применить к точке 07, но меньшая амплитуда аномалии указывает на более тонкий осадочный слой, нежели в точке P11.



*Ранний пример сейсмических данных, полученных в 2004 г. к северу от Сахалина.*

новых исследований в чрезвычайно слабоизученной Магаданской области, где ППУ в сейсмических данных подтверждают возможность наличия углеводородов.

Высокоамплитудные сейсмические отражения могут быть соотнесены с олигоценowymi богатыми углеродом аргиллитами с высоким содержанием органики на краю Пограничной впадины, приближенной к береговой зоне, где аргиллиты формируют коллекторную и материнскую породы. Считается, что богатые углеродом системы присутствовали в Охотском море в олигоцене, создав в большинстве бассейнов материнские породы. Если эта гипотеза окажется верной, она откроет

60

огромные области для исследований с пониженным риском.

Проведенные работы также открыли, что материнские породы ранее залегали глубже, чем сейчас в Северном Сахалинском бассейне. Ремиграция могла произойти во время крупного поворота бассейна. Палеоструктуры, которые не были наклонены и осушены, являются интересными объектами для исследований в этой области.

В Сахалинской и Магаданской областях главным результатом разведки явился пересмотр многих «акустических выступов фундамента», оказавшихся глубокими, повернутыми осадочными бассейнами. Гравиметрические данные указывают на то, что глубокие бассейны

обычны в неисследованных зонах, таких как зона Пенжинского разлома в северо-восточной части Охотского моря, Охотский бассейн и провинция Range в центрально-южной части региона, и Шантарский бассейн к северо-западу от Сахалина.

Для того, чтобы получить лучшее представление о перспективах Охотского моря, требуется проведение дальнейшей съемки. TGS собирается продолжать работу в регионе как минимум до конца 2008 г. или до создания широкой базы сейсмических данных.

Дальнейшие исследования будут оценивать многообещающие районы с помощью более детализированного сейсмического картирования, моделирования бассейнов, и бурения скважин. Для уменьшения риска и обозначения годных к разбуриванию областей требуется дальнейшее накопление данных. Текущая сейсморазведка, совмещенная с СМГ-интерпретацией, основана на желании отрасли принять участие в денежных вложениях, требующихся для выполнения поставленной цели.

© 2006 EAGE