

района характеризуется повышением класса сейсмической опасности в этом слое. Регистрируется линейная зона локальных максимумов (КО 5,4-6,0), проходящая по югу Татарского пролива с продолжением на севере о. Сахалин и заканчивающаяся в Охотском море. В восточной части района регистрируется два локальных максимума (КО = 5,4) на юге Алданского щита [2]. Южнее изолиниями КО = 5,2 выделяется локальный максимум, маркирующий Аргуно-Мамынский архей-протерозойский блок повышенной жесткости [2]. К востоку изобаты регистрируют локальный минимум, расположенный на Амуро-Зейской равнине, сложенной мезозойско-кайнозойскими отложениями. Эти отложения характеризуются пониженной вязкостью, и в них происходят редкие и незначительные по магнитуде землетрясения.

Третий слой (диапазон глубин 16-20 км) исследуемого района характеризуется относительно низкой сейсмичностью (КО 2,6-5,4). Низкая сейсмичность регистрируется в пределах Алданского щита (КО 2,6-3,4), снижена сейсмическая опасность в пределах о. Сахалин (КО 3,0-4,4). В этом слое регистрируется три локальных максимума, расположенных в пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса. Локальный максимум на северо-западе исследуемого района маркирует Аргуно-Мамынский блок, в центре максимум изобат района регистрирует Цзямусы-Буреинский массив [2], на востоке – территорию нижнего Амура.

Литература

1. NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ngdc.noaa.gov/> (дата обращения: 17.01.2017).
2. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии / отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Малышев, Б.Г. Саксин. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 332 с.
3. Землетрясения России. – Обнинск: Геофизическая служба РАН, каталоги 2003 – 2009 гг.
4. Левин Б.В., Ким Чун Ун, Нагорных Т.В. Сейсмичность Приморья и Приамурья в 1888-2008 гг. // Вестник ДВО РАН. – Владивосток, 2008. – №6. – С.16 – 22.

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ И СКВАЖИННЫХ ДАННЫХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТРЕЩИНОВАТЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ФУНДАМЕНТЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.А. Волкова

Научный руководитель доцент В.П. Меркулов

*Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет,
г. Томск, Россия*

В настоящее время большинство крупных месторождений с традиционными запасами, в основном представленными терригенным коллектором в антиклинальных ловушках, выработаны и приходит время трудноизвлекаемых запасов углеводородов в сложнопостроенных, преимущественно трещиноватых коллекторах. В последние годы заметно возрос интерес к изучению данного типа коллекторов, которые характеризуются достаточно низкой пористостью и высокой проницаемостью за счет трещин. Одной из основных трудностей для последующей разработки является понимание распространения трещин в межскважинном пространстве, что особенно актуально при выборе направления ствола дорогостоящих наклонных и горизонтальных скважин.

Следует отметить актуальность поиска и разведки месторождений в фундаменте. Обычно такие месторождения характеризуются комплексными системами порового пространства, состоящими из соединенных между собой пор, каверн и фильтрующих трещин. Кроме того, данным месторождениям зачастую свойственны различные литологические замещения, вызванные вторичными дигенетическими преобразованиями горных пород.

Основными, наиболее достоверными методами изучения трещиноватости являются скважинные методы. Например, измерение элементов залегания на ориентированном керне и микросканирование скважин позволяют достаточно точно определить плотность трещин и их ориентацию. Но значительная неопределенность данных методов вызывается тем, что при бурении горные породы деформируются, происходит разгрузка напряженных состояний, вследствие чего образуются новые (техногенные) трещины и изменяется апертура ранее существовавших трещин. Кроме того, у данных методов радиус исследований может лишь незначительно превышать радиус скважины. Гидродинамические исследования скважин позволяют оценить расстояние до разломов/зон трещиноватости; гидропрослушивание скважин и трассерные исследования позволяют выделить преимущественные направления фильтрации. Естественно, данных исследований недостаточно для достоверного определения распределения сети трещин в породе-коллекторе. Можно изучать трещиноватость на обнажениях, где имеется возможность наблюдать распространение трещин и их взаимодействие на значительной площади. Но обнажения-аналоги месторождений находятся на большом удалении от изучаемых территорий, и, кроме того, месторождения-аналоги не могут быть точной копией изучаемого объекта, что опять же не позволяет дать точную характеристику трещиноватости.

Сейсмические исследования позволяют значительно снизить неопределенности при изучении данного вопроса. Несравненный плюс таких исследований заключается в том, что современная трехмерная (3D) сейсмическая съемка равномерно охватывает значительную площадь над месторождением, независимо от неравномерно расположенных на площади скважин [1]. Существует достаточное количество разнообразных

методов выделения трещиноватости по данным сейсморазведки. Имеется возможность оценивать как интенсивность трещиноватости, так и ее азимутальную направленность.

Важно понимать, что по сейсмическим материалам затруднительно сказать, сколько именно трещин находится в пласте и какова пространственная ориентация каждой из них; но можно по характерным признакам выделить зоны повышенной трещиноватости и определить их преимущественную азимутальную ориентировку.

Наиболее распространенными и общедоступными для решения этой задачи являются сейсмические атрибуты, каждый из которых подчеркивает определенную характеристику волнового поля, связанную с трещинами. Геометрические атрибуты преимущественно направлены на анализ геометрии сейсмического горизонта, что является прямым признаком наличия трещиноватости. К геометрическим атрибутам относится большая часть всех применяющихся на практике методов. Наиболее информативные из них следующие: кривизна, дисперсия и запатентованный компанией Шлюмберже атрибут Ant-Tracking. Кривизна является мерой структурной деформации – анализирует форму сейсмического горизонта и показывает, насколько он изогнут в некоторой точке. Дисперсия позволяет выделить несоответствие сигнала по латерали и указывает на неоднородности вследствие зон разломов, трещин и разрывных нарушений. Ant-Tracking особо ценится за технологию прослеживания разрывных нарушений, зон высокой плотности трещин и коридоров трещиноватости. Метод включает в себя нейронные сети с обучением для создания синергетического искусственного интеллекта на основе поведения колонии муравьев, что имитирует поток флюида по трещинам [3].

Рассмотренные геометрические атрибуты были рассчитаны и проанализированы для одного из месторождений пород фундамента со сложным блоковым строением. Месторождение S расположено в юго-восточной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции в структурном элементе северо-восточного борта Нурольской впадины и локализовано на тектоническом поднятии северо-западного простирания. Доюрская поверхность палеозойского фундамента представлена разновозрастными породами различного состава (доломиты, известняки, кремнистые породы и эффузивы) и характеризуется высокой степенью расчлененности. Основные тектонические нарушения имеют северо-западное и северо-восточное простирания. Нефтяная залежь месторождения S приурочена к доломитам замещения [4].

Существующие методы выделения трещиноватости по сейсмике являются достаточно точными, но косвенными. Это вызвано тем, что множество других явлений, например, зоны выклиниваний, литологические замещения, да и просто артефакты, связанные с проведением полевых сейсморазведочных работ, дают сейсмический отклик, сравнимый с откликом от трещиноватости.

Кроме того, зачастую наблюдается, что разные сейсмические методы показывают неодинаковую картину распространения трещиноватости.

Для наиболее полного понимания распространения трещиноватости в исследуемой породе недостаточно только сейсмических данных, необходима интеграция сейсмике с другими данными, содержащими в себе информацию о трещинах [2]. Наиболее точными считаются скважинные измерения. Но только при попадании скважины в зону направленной трещиноватости верификация выделенных трещин по сейсморазведке с результатами интерпретации скважинных методов будет давать положительный результат. Причина заключается в кардинально различающихся радиусах исследования. На опытном участке месторождения S с направленной трещиноватостью обоснован перебор сейсмических методов выделения трещиноватости с целью наилучшей корреляции со скважинными данными, после чего можно с большей уверенностью перемещаться на недостаточно исследованные скважинами аналогичные территории.

Помимо данных по плотности трещин, скважинные методы позволяют получать информацию об их азимутальной направленности, которая обычно наглядно визуализируется в виде роз-диаграмм. На рассматриваемом месторождении S, из скважинных исследований трещиноватости имелись только данные, полученные электрическим микросканером (Compact Micro Imager) в скважине S2.

Для сопоставления сейсмических данных со скважинными были выделены линеаменты на временном срезе атрибута Ant-Tracking в области исследованной скважины.

Для выделения преимущественных направлений трещиноватости по сейсмическим данным автором был написан макрос в программе Microsoft Excel. На вход в макрос подаются координаты линеаментов, а на выходе получается роза-диаграмма азимутальной направленности трещин.

На рисунке представлены результаты комплексного анализа сейсмических и микросканерных данных в палеозойском фундаменте месторождения S, которые показали неплохую сходимость.

Таким образом, для сложнопостроенных месторождений фундамента на примере месторождения S был продемонстрирован интеграционный подход к оценке направлений трещиноватости путем комплексного анализа сейсмических атрибутов и данных скважинного микросканера. Наблюдается достаточная сходимость данных микросканера с атрибутным анализом сейсмике.

Результат свидетельствует о том, что в зоне расположения скважины S2 наблюдается протяженная система трещин.

Для дальнейшего развития методов анализа трещиноватости по выделенным линеаментам в комплексе со скважинными данными следует объективно оценивать требуемый радиус выделения линеаментов на сейсмических материалах.

Также более корректно будет присваивать линеаментам различные веса, например, в зависимости от их протяженности.

Кроме того, появляется возможность выхода на оценку плотности трещиноватости, что явилось бы достаточно ценным результатом.

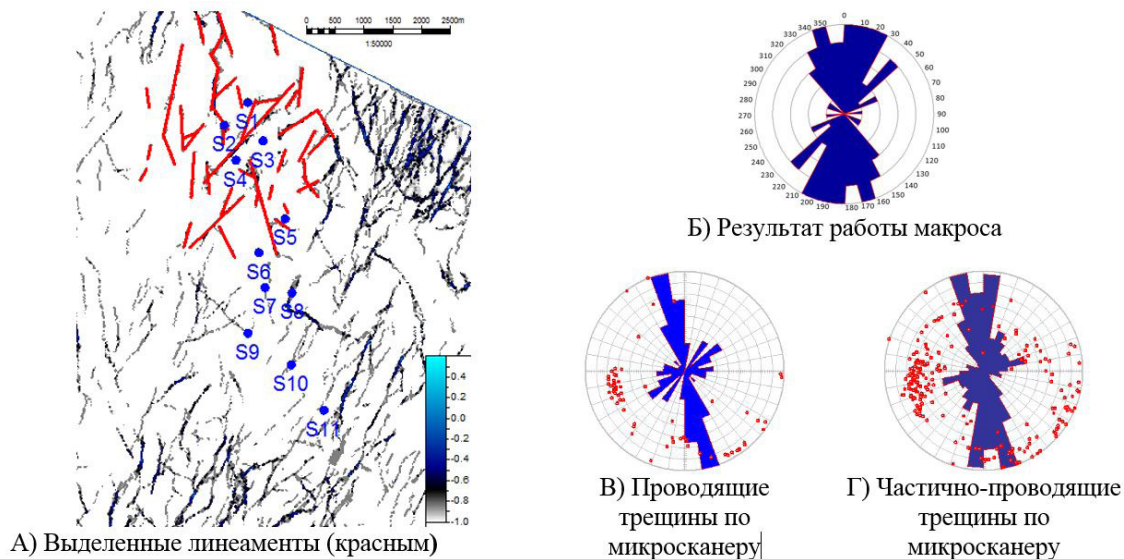


Рис. Интеграционный подход к анализу сейсмических и скважинных данных с целью анализа преимущественных направлений трещиноватости

Литература

1. Aarre V., Astratti D., Dayuni T.N., Mahmoud S.L., Clark A., Stellas M., Stringer J., Toelle B., Vejbaek O., White G. Seismic detection of subtle faults and fractures // Oilfield Review. – 2012. – V. 24. – № 2. – P. 28 – 43.
2. Astratti D., Souche L., Faskhoodi M.M., Menegatti P. Seismic to simulation fracture characterization of a Green carbonate reservoir in presence of large uncertainties // SPE Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference. – Abu Dhabi, 2010. – 10 p.
3. Chopra S., Marfurt K.J. Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization. – SEG Geophysical Development Series. – 2007. – № 11. – 465 p.
4. Ежова А.В., Меркулов В.П., Чеканцев В.А. Геологическая модель строения палеозойского фундамента Северо-Останинского нефтяного месторождения (Томская область) // Горный журнал. – Томск, 2012. – Специальный выпуск. – С. 35 – 38.

ГЕОФИЗИКА И НЕФТЕНОСНОСТЬ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ АЙ-ПИМСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Е.С. Голов

Научный руководитель доцент Г.Г. Номоконова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия

Битуминозные глинисто-кремнисто-карбонатные отложения баженовской свиты – самое известное геологическое образование Западной Сибири. Характеризуется свита, в первую очередь, высокой радиоактивностью и высоким удельным электрическим сопротивлением (УЭС), а также региональным распространением. Благодаря своему составу и аномальным физическим свойствам, в геологических и геофизических исследованиях скважин баженовская свита используется как репер и региональная покрывка для Верхнеюрского нефтегазоносного комплекса. С начала разработки в США формации Баккен за углеводородами баженовской свиты аналогичного залегания закрепился термин «сланцевая нефть».

Ай-Пимское нефтяное месторождение является одним из немногих, где начата разработка и получены притоки нефти из пласта Ю₀ – баженовской свиты. Производственные и научные исследования на этом месторождении ведут ОАО «Сургутнефтегаз» и ТО «СургутНИПИнефть». Опыт их работы бесценен для других нефтяных месторождений Западной Сибири [2]. Поскольку геофизические исследования скважин (ГИС) на этих месторождениях уже проведены, баженовская свита Ай-Пимского месторождения может служить геофизическим эталоном ее нефтенасыщенности.

Цель исследования: выявление связи геофизических параметров баженовской свиты (пласт Ю₀) с ее нефтепродуктивностью.

Объекты исследования: разрезы скважин 1, 2+ и 3+ с данными ГИС. Все три скважины (номера условные) находятся в контуре категории запасов С1, размещаются с севера на юг соответственно, расположены на восточном склоне Ай-Пимской положительной структуры (скважина 2+ ближе всего к купольной части). Статистический анализ проведен для показаний методов ГИС: ГК (естественная гамма-активность); НКТ (нейтронный каротаж,