

К вопросу изучения классификационных литолого-петрографических параметров для построения геолого-геофизической модели

О. В. Тюкавкина

Тюменский государственный нефтегазовый университет

Сургутский институт нефти и газа (филиал)

tov.sing@mail.ru

Геологическое доизучение юрских горизонтов в пределах Западно-Сибирской плиты актуально в теоретическом и практическом отношении, т. к. детальное расчленение и корреляция опорных стратиграфических горизонтов дает возможность сопоставить между собой сложнопостроенные коллекторы в различных частях Западно-Сибирской плиты и установить зоны, содержащие остаточные запасы нефти и газа. В работе приведены результаты фундаментально-прикладных исследований классификационных литолого-петрографических параметров для построения геолого-геофизической модели.

На основе полученных данных обоснована детальность литолого-петрографических характеристик пород-коллекторов, позволяющая систематизировать информацию о положении нефтегазоносных зон, содержащих трудноизвлекаемые остаточные запасы, установить генетическую связь нефтегазосодержащих пород с вмещающими.

Ключевые слова: классификационные параметры, геолого-геофизическая модель, вещественный состав.

Фундаментальные исследования в области геолого-промыслового моделирования и основополагающее внедрение этих работ в производственной практике осуществлял ряд известных ученых и исследователей-практиков: В. И. Азаматов, С. Л. Барков, В. Б. Белозеров, С. И. Билибин, А. М. Волков, Л. Ф. Дементьев, М. И. Максимов, В. П. Мангазеев, Э. Д. Мухарский, А. Я. Фурсов, И. П. Чоловский, Е. А. Юканова и др. Эти исследования были посвящены обоснованию критериев дифференциации запасов, созданию методики построения геолого-технологической модели залежи и ее использованию при проектировке и разработке месторождений нефти и газа.

Создание методологии построения моделей невозможно без детализации вещественного состава пород литостратиграфических подразделений, который в разное время на территории Сургутского свода изучался: И. И. Горским, В. С. Бочкаревым, В. Г. Кривичкиным, И. М. Лашневым, З. В. Лашневой, Н. П. Запиваловым, Б. С. Погореловым и др.

В настоящей работе на основе изучения kernового материала и данных ГИС для выделения сложнопостроенных зон коллекторов и дальнейшего их морфологического моделирования, т. е. для создания основы для построения модели структуры порового пространства терригенных юрских коллекторов, предлагается четко определить классификационные литолого-петрографические параметры седиментационной трансляции, изучить изменения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) в процессе разработки, что в дальнейшем позволит построить адекват-

ную геологическую модель. На основании проведенных исследований [1] классификационными литолого-петрографическими параметрами для построения геолого-геофизической модели целесообразно считать:

1) типы коллекторов по седиментационным параметрам (устойчивые и неустойчивые) в процессе разработки месторождений;

2) литотипы и подтипы по гранулометрическому составу;

3) группы коллекторов аллювиального комплекса фаций по текстурным особенностям как формирующие микрофильтрационную неоднородность, характеризующую неравномерность притока углеводородов к скважине;

4) типы коллекторов прибрежно-морского комплекса фаций (упорядоченные и хаотичные).

Характеризуя первый классификационный параметр, отметим, что при сравнительной характеристике степени изменения коллекторов под действием техногенных природных и технологических факторов в процессе разработки месторождений целесообразно выделять устойчивые седиментационные признаки: размер, форму, окатанность, сортировку, — и неустойчивые (изменяющиеся в процессе осадконакопления, тектонических и технологических факторов): упаковку, минеральный состав, количественное содержание, структуру и тип цемента, структуру порового пространства, поверхностную активность, а также количество и состав растительно-органического вещества.

Характеризуя второй классификационный параметр, отметим, что постседиментационные

преобразования обломочных пород-коллекторов (увеличение плотности пород, более компактная укладка обломочных зерен и цементирующего материала, уменьшение содержания поровой воды, изменение типа цемента, уменьшение пор, усложнение их формы и сообщаемости, изменение структуры хемогенного цемента, образование пустот выщелачивания в межзерновом пространстве) целесообразно использовать при характеристике и выделении литотипов.

В настоящее время появилась уникальная возможность изучать преобразование исходных параметров коллектора статистически (со временем разработки месторождения) т. к. в фондах накоплен большой фактический материал по изучению литолого-петрографического состава коллекторов за время поискового, разведочного, эксплуатационного этапов разработки месторождения.

При статистическом изучении геолого-геофизического материала и керна по одному и тому же пласту за период 20–30 лет необходимо отметить, что не все седиментационные признаки устойчивы и, конечно, степени их влияния на коллекторские и экранирующие параметры неодинаковы.

Характеризуя третий и четвертый классификационные параметры, отметим, что для построения геологической модели, учитывая устойчивые седиментационные признаки, рекомендуется выделять наиболее важные текстурные особенности коллектора, которые также будут классификационными параметрами при построении геологических моделей [2]. В пределах месторождений Сургутского свода (Фроловско-Сургутский фациальный район) песчаные юрские коллекторы в большинстве случаев являются результатом деятельности палеорек и прибрежно-морских обстановок. В связи с этим для детализации литологических и фильтрационных параметров каждой локализованной сложнопостроенной зоны коллектора необходимо все песчано-алевролитовые тела аллювиального комплекса фаций, характеризующиеся косослоистой текстурой и связанные с проявлением ряби (луноподобной, волнистой, линзовидной, ряби течений, волнений), объединить в две большие группы: I — крупная косая однонаправленная сходящаяся слоистость; II — косая разнонаправленная клиновидная слоистость меандрирующих рек. Для группы I свойственны хорошая выдержанность прослоев в одном направлении и их частое чередование в перпендикулярном направлении, для группы II в косослоистых коллекторах выдержанность прослоев в каком-либо направлении не прослежи-

вается. Вследствие этого в группе I проявляется пространственная анизотропия фильтрации, в группе II она отсутствует, что позволяет уменьшить число комбинаций результатов фациального анализа и оптимизировать число параметров, вводимых в алгоритм программы.

Среди всего многообразия прибрежно-морских аккумулятивных тел наибольшим распространением в пределах Сургутского свода пользуются вдольбереговые бары и прибрежные валы (рис. 1).

Песчаные осадки подводных баров, разрывных течений, устьевых баров, пляжей трудно диагностируются по характеру и чередованию слоев и их серий. Более уверенно они определяются по электрическим характеристикам, следовательно, для детализации литологических и фильтрационных параметров прибрежно-морских обстановок целесообразно выделить следующие типы коллекторов: упорядоченные (вдольбереговых баров с косой однонаправленной слоистостью) и хаотичные (прибрежных валов с крупной косой мультислойной слоистостью).

С учетом вышеизложенного методология построения геолого-геофизической модели и зон повышенной глинизации коллектора (ЗПГК) в пределах центральной части Сургутского свода заключается в проведении нескольких этапов.

1. Выделение продуктивного резервуара (объекта исследования) на основе интерпретации данных сейсморазведки и его корреляция по имеющемуся фонду скважин.

2. Изучение и картирование ЗПГК на основе керна материала, данных ГИС, определения фациальной принадлежности пород (континентальная, морская, переходная), выделения классификационных показателей (литотипы и подтипы коллекторов по гранулометрическому составу, седиментационным параметрам, текстурным особенностям), что позволяет значительно уменьшить число возможных обстановок осадконакопления терригенных пород, участвующих в формировании коллектора, и способствует более однозначному фациальному анализу отложений по форме кривой ПС и значений энергетических уровней, характеризующихся коэффициентом $\alpha_{\text{ПС}}$ [3].

3. Проведение систематизации неоднородности строения пласта по данным ГИС и формирование предварительной модели коллектора (предварительная литолого-фациальная модель коллектора или ряд альтернативных моделей). Построение предварительной литолого-седиментационной модели на основе интерпретации данных сейсморазведки способствует уточнению пространственных границ сложнопостроенных коллекторов.

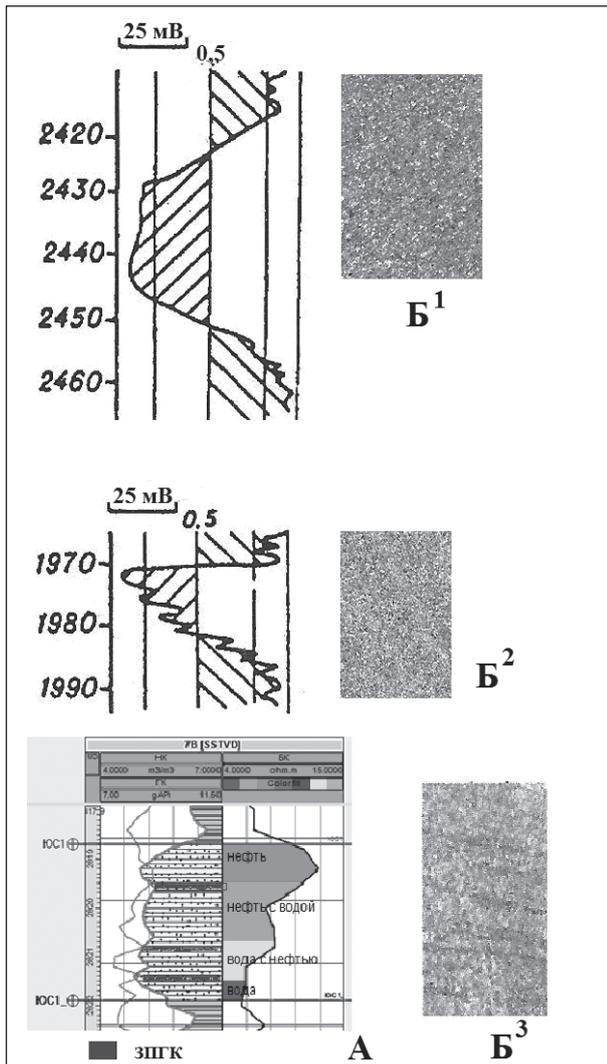


Рис. 1. Выделение классификационных показателей и литотипов коллекторов для продуктивных частей пласта и ЗПК:
А — электрометрические модели устьевых и вдольбереговых регрессивных баров; **Б¹** — песчаники мелкозернистые алевролитовые, переходящие в крупнозернистые алевролиты с глинисто-карбонатным цементом; **Б²** — песчаники мелкозернистые и песчаники мелкозернистые алевритистые, однородные, средне и хорошо отсортированные, слабоглинистые (приблизительно менее 15%); **Б³** — алевролиты песчаные, слоистые, с прослоями и линзочками глин

4. Прогнозирование распространения зон фациальных обстановок, не выявленных бурением, но предполагаемых седиментационной моделью на основе геолого-геофизического моделирования неравномерно-ячеистых моделей резервуара (цифровые модели, построение трехмерной геологической модели). Корректировка методики и результатов детальной промысло-

геофизической корреляции продуктивных пластов, обоснование объемных сеток и параметров модели, построение структурных литологических моделей залежей с учетом распределения ФЕС и построение литологических моделей в зонах сложнопостроенных коллекторов.

5. Уточнение фациальной модели коллектора на основе проведенной геофизической интерпретации. Построение кубов ФЕС для сложнопостроенных пластов с трудноизвлекаемыми запасами (построение модели насыщения пластов флюидами) и подсчет геологических запасов в зонах выклинивания сложнопостроенного коллектора.

Работа по геологическому моделированию на кафедре нефтегазового дела Сургутского института нефти и газа ведется с 2005 г. По результатам этапов 1 и 2 опубликован ряд работ [1, 2, 4, 5].

В данной работе рассмотрено проведение этапов 3–5, детализация построения модели с учетом классификационных литолого-петрографических параметров, особенностей строения сложнопостроенных коллекторов группы ЮС в пределах центральной части Сургутского свода.

При проведении этапа 3, т. е. при систематизации данных ГИС для формирования объемных сеток объектов моделирования, выбирался тип сетки геометрии «угловой точки» (corner point). При моделировании изменения коллектора в процессе разработки и воздействия на него механических методов, например с целью построения трещин, которые образуются в результате гидроразрыва пласта, сетки геологических моделей были ориентированы так, чтобы длинные оси моделей совпадали с направлением максимального напряженного состояния пластов (перпендикулярно осевой линии пластов). Поворот сеток был выбран 30° на северо-запад (Западно-Сургутское месторождение).

Построение структурной модели пласта ЮС в западной и восточной частях Западно-Сургутского, Быстринского месторождений проводилось с помощью стратиграфических отметок кровли и подошвы. Для площадей, недостаточно охарактеризованных керном или разбуренных без отбора керна, строились структурные карты путем интерпретации закономерностей изменения косвенной поверхности кровли (подошвы) пласта в изученной части по данным ГИС. Корректность выполненных построений оценивалась путем сравнения отдельных участков (по кустам скважин) построенной модели с данными электрокаротажа.

С целью моделирования сложнопостроенных геологических объектов, представляющих собой пласт из двух и более гидродинамически

связанных залежей (пласты ЮС Конитлорского, Быстринского, Западно-Сургутского месторождений), создавался отдельный сеточный каркас для каждого из прослоев с самостоятельной «нарезкой» слоев [5].

Для построения структурного каркаса продуктивного сложнопостроенного пласта ЮС Западно-Сургутского месторождения в качестве основы использовались стратиграфические поверхности, полученные в результате выполнения и обработки сейсмических данных 3D (2005–2007 гг.), с учетом последующей корректировки и дополнения по данным 2D сеймики, выполненной в рамках работы по заказу Департамента науки и инвестиций ХМАО-Югра «Интенсификация и идентификация притока углеводородов в залежь» в Сургутском институте нефти и газа (2007 г).

Для трехмерного моделирования ФЕС сложнопостроенных коллекторов группы ЮС Западно-Сургутского месторождения использовались параметры ГИС и РИГИС по 12 поисково-разведочным и 39 эксплуатационным скважинам (рис. 2).

Перед построением литологической модели восточной залежи пласта ЮС_x¹ и процедурой интерполяции любого параметра литологии проводился компьютерный анализ, по результатам

которого определялись основные константы, используемые для настройки интерполяционных процедур.

После интерполяции ячейки полученного куба представляются непрерывными значениями в интервале от 0 до 1, куб делится на дискретные значения — коллектор и неколлектор — с учетом некоторого граничного значения α_{nc} , которое помогает разделить различные по литологическим характеристикам интервалы пласта в модели [3]. Однако в большинстве случаев при использовании одного граничного значения искажается общая картина распределения коллектора. При этом искажения растут с увеличением литологической неоднородности пласта. Следует также учитывать тот факт, что построение геологических моделей осуществляется с использованием ряда интерполяционных процедур, заложенных в математический аппарат программного комплекса, в результате чего распределение параметров, как правило, излишне идеализировано, «подчищено» некоторому математическому закону.

В результате для максимального учета неоднородности пласта при дискретизации модели использовалось переменное граничное значение, изменение которого можно контролировать картой эффективных мощностей.

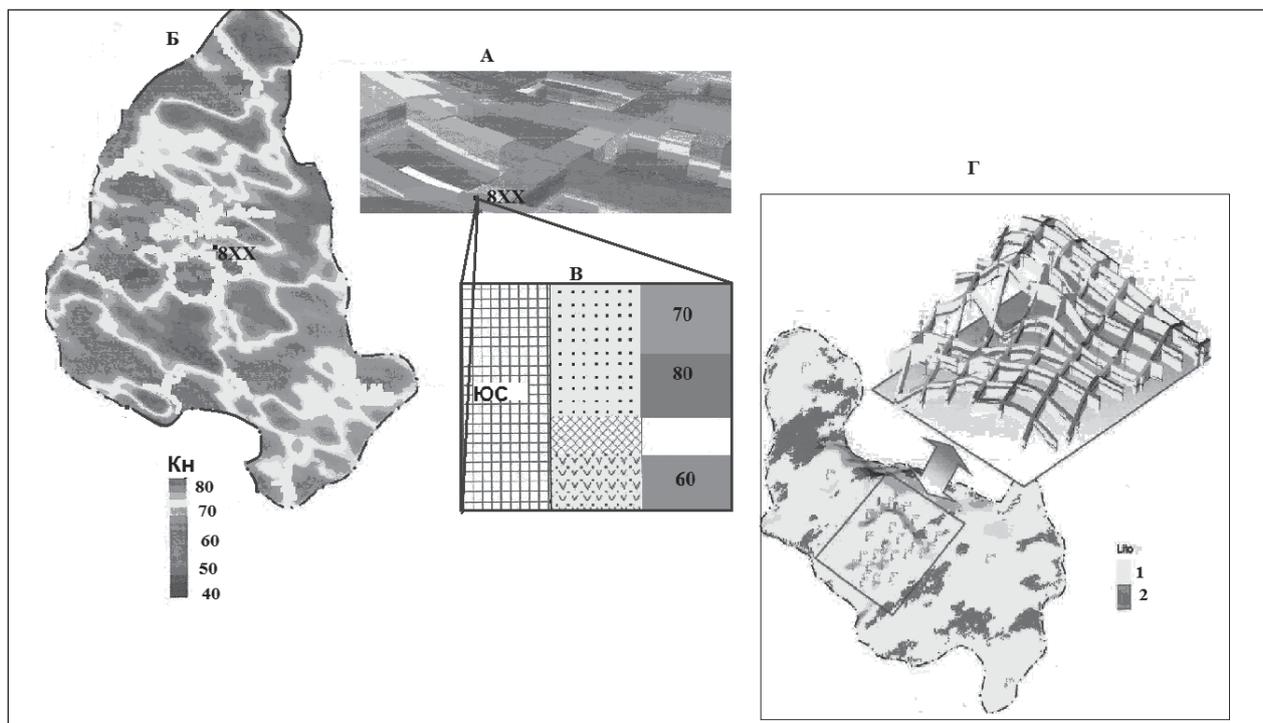


Рис. 2. Построение геологической модели пласта ЮС месторождения центральной части Сургутского свода: А — фрагмент 3D модели центрального участка месторождения; Б — 2D модель нефтенасыщенности; В — изменение нефтенасыщенности в пределах сложнопостроенного коллектора; Г — фрагмент трехмерной литологической модели восточной залежи пласта ЮС_x¹ Западно-Сургутского месторождения

Фрагмент куба литологии восточной залежи представлен на рис. 2, Г. По приведенным данным визуально можно оценить сохранение исходной литологической неоднородности пласта. После получения кровли пласта ЮС остальные структурные поверхности (подошва пласта ЮС_x², кровля и подошва пласта ЮС_x¹) рассчитывались аналогично. Операция осуществлялась в инструменте «Stratigraphic modelling» пакета Irap RMS, в качестве входных данных использованы карты общих толщин пластов и координаты пластопресечений по скважинам.

Для построения фильтрационно-емкостной модели и дальнейшего контроля изменения граничных значений ФЕС пласта-коллектора на его отдельных участках (что особенно важно для зон, в которых сосредоточены остаточные запасы нефти и газа), использовались граничные значения эффективных мощностей сложнопостроенных коллекторов, полученные при проведении ГИС с учетом изменения за трех-, пятилетний период разработки месторождения.

Для построения полноценной гидродинамической модели с учетом реальных условий необходимо определять фазовые проницаемости непосредственно для сложнопостроенных участков объекта моделирования на основании фактической динамики добычи нефти и воды [2]. Это возможно при использовании методики эмпирических корреляционных зависимостей «Nonarporou и Brooks- Corey» [6].

Выводы

1. В результате проведенных исследований классификационных литолого-петрографических параметров и выполненных построений рекомендовано проводить трехмерное моделирование процесса разработки, включающее в себя отдельные модули, обеспечивающие построение фильтрационной модели на основе геометрии «угловой точки», которая, в отличие от блочно-центрированной геометрии, имеет более высокую точность воспроизведения параметров залежей.

2. После создания 3D сетки полученные геолого-промысловые данные каротажей, исследований пластов и др. рекомендовано усреднить до размеров ячеек сетки. Используя параметр «Block Wells», данные в скважинах необходимо перенести на ячейки сетки с учетом дискретной литологии. Эта манипуляция необходима для усреднения значений только того типа пород, код которого был присвоен ячейке, т. к. совместное осреднение результатов интерпретации ГИС некорректно без учета литологии.

3. При проведении гидродинамического моделирования с учетом снижения влияния законтурных вод рекомендовано увеличить объем краевых ячеек модели, которые задают приток воды на границах сложнопостроенных объектов разработки.

Литература

1. Тюкавкина О. В. Изучение геологических и геофизических параметров коллектора для построения модели // Отечественная геология. — 2013. — №1. — С. 19–23.
2. Тюкавкина О. В. Моделирование литологически-сложнопостроенных зон нефтегазоносности // Технологии нефти и газа. — 2013. — №6. — С. 42–47.
3. Муромцев В. С. Электрометрическая геология песчаных тел — литологических ловушек нефти и газа. — Л.: Недра, 1984. — 260 с.
4. Тюкавкина О. В. Изучение литологических и промысловых характеристик пласта-коллектора после проведения гидроразрыва пласта на месторождениях Сургутского свода // Георесурсы. — 2013. — №5. — С. 19–22.
5. Тюкавкина О. В. Построение геологической модели юрских коллекторов на примере месторождений Быстринского вала // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2013. — №1. — С. 119–124.
6. Уолкотт. Д. Разработка и управление месторождениями при заводнении» — М., 2001. — С. 144.

О. В. Тюкавкина

Tyumen state oil and gas university, Surgut oil and gas institute (branch)

Towards Study of Lithological-Petrographic Classification Parameters for Development of Geological-Geophysical Model

Geological exploration of the Jurassic horizons within the West Siberian plate is up-to-date from the theoretical and practical point of view since a detailed partition and correlation of the basic stratigraphic horizons give a chance to compare among themselves structurally complex reservoirs in various parts of the West Siberian plate and to establish the zones containing remaining reserves of oil and gas. The results of fundamental and applied research of the classification lithological-petrographic parameters for the development of geological-geophysical model are presented. Detailed lithological-petrographic characteristics of reservoir rocks are based on the data obtained, which allows to systematize the information on the situation of oil and gas bearing zones containing hard to recover residual reserves, to install a genetic correlation between oil and gas containing rocks and the container rocks.

Key words: classification parameters, geological-geophysical model, material structure.