

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ 3D МОДЕЛИРОВАНИЮ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВЕРХВЯЗКОЙ НЕФТИ (СВН) ШЕШМИНСКОГО ГОРИЗОНТА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

GEOLOGIC 3D MODELING CONCEPTUAL METHOD OF SHESHMA HORIZON OF HIGH-VISCOSITY OIL FIELDS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Сюрин Антон Александрович

младший научный сотрудник,
Институт «ТатНИПИнефть»
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
anton@tatnipi.ru

Syurin Anton Aleksandrovich

Junior researcher,
«TatNIPIneft» institute
PJSC «Tatneft» of V.D. Shashin
anton@tatnipi.ru

Аннотация. В работе рассмотрены условия осадконакопления продуктивных отложений шешминского горизонта (верхняя пермь), построены палеогеографические карты месторождений СВН. Установлено, что исследуемые отложения формировались в прибрежно-морских условиях. На основании литолого-фациального анализа была предложена концепция геологического моделирования подобных залежей.

Annotation. Deposition conditions of Sheshma horizon (Upper Permian) are considered and paleogeographic maps of high-viscosity oil fields are made. It is founded that considered deposits were accumulated at marginal-marine conditions. Geologic 3D modeling method of such fields is proposed on the ground of lithological-facial analysis.

Ключевые слова: обстановки осадконакопления, шешминский горизонт, песчаник, ГИС, 3D моделирование.

Keywords: depositional environments, Sheshma horizon, sandstone, log data, 3D modeling.

В связи с высокой степенью выработки традиционных запасов углеводородов Республики Татарстан наибольшую актуальность имеют исследования нетрадиционных запасов, в том числе и месторождений сверхвязкой нефти (СВН). Начиная с 2006 года, когда в ПАО «Татнефть» начата реализация программы освоения запасов СВН в пермских отложениях, появилось значительное количество новых геологических и геофизических материалов по отложениям шешминского горизонта, позволяющие создавать детальные геологические и гидродинамические модели залежей. Однако традиционный подход к построению геологических моделей выявил недостаточную их достоверность для залежей уфимского яруса, что подтверждается некоторыми пробуренными горизонтальными скважинами. Поэтому разработка нового подхода к геологическому моделированию месторождений СВН, основанного на принципиально иной концепции, с целью повышения достоверности этих моделей является весьма актуальной.

Исследуемые отложения представляют собой терригенные породы, преимущественно пески и песчаники верхней («песчаной») пачки шешминского горизонта уфимского яруса, распространенные на юго-востоке Республики Татарстан. Подстилаются они песчано-алевритово-глинистыми породами нижней пачки шешминского горизонта и перекрываются преимущественно глинистыми породами маркирующего горизонта «лингуловые глины».

В научной литературе существуют две принципиально разные точки зрения на генезис исследуемых отложений. Согласно первой из них, песчаники шешминского горизонта формировались в континентальных и переходных условиях – в аллювиальных и дельтовых обстановках [6, 7]. Вторая концепция рассматривает их как комплекс отложений баровых построек [1, 3, 5]. Проанализировав фактический материал (макроописание керн и комплекс ГИС) по 78 вертикальным скважинам Южно-Ашальчинского месторождения, а также построенные структурные карты, был сделан первоначальный вывод о том, что генезис отложений верхней пачки шешминского горизонта прибрежно-морской (обстановки баров, барьерных островов, разрывных течений, забаровых лагун и мелководного шельфа).

Достоверность палеогеографических реконструкций зависит от полноты имеющейся информации. Для восстановления обстановок осадконакопления используется информация, полученная при макроописании керн (структура и текстура породы, наличие включений, находки остатков флоры и фауны), результаты микроскопических исследований шлифов (минеральный, гранулярный состав, степень сортированности материала, тип и состав цемента, вторичные процессы и пр.), а также данные ГИС (электрометрические модели). Наиболее информативны методы, основанные на литологических исследованиях, однако неполнота отбора керн и дискретность получаемой в результате таких работ информации не всегда позволяют проводить палеогеографические построения. Разработанная Муромцевым В.С. [2] и широко применяемая зарубежными исследователями [4] методика электрометрических моделей фаций позволяет проводить восстановление условий седиментации терригенных отложений на основе характеристик каротажных кривых ПС или ГК, отражающих глав-

ным образом содержание глинистой составляющей. Сочетание этого метода с информацией, полученной при макроописании керна, позволяет с высокой степенью достоверности восстанавливать обстановки осадконакопления пород и строить палеогеографические карты.

Литолого-фациальный анализ производился с использованием метода актуализма – сравнения с современными обстановками осадконакопления. Наиболее ярким примером современных баровых построек является побережье Мексиканского залива в США, где можно проследить цепочку параллельных берегов баров и барьерных островов, отделенных от него широкими лагунами. Цепочки этих построек разрезаны промоинами разрывных течений, оканчивающихся широкими веерообразными конусами выноса, направленными в сторону открытого моря, – головными частями разрывных течений. Баровые острова здесь протягиваются на километры и первые десятки километров, а их ширина достигает 1–1,5 км. Конечно, в условиях уфимского палеоморя размеры аналогичных построек были несколько меньше, однако сохранили общую морфологию.

В результате проведенных исследований был построен ряд палеогеографических карт поднятий СВН, на которых достаточно ясно были о контурены области преимущественного распространения тех или иных обстановок – барьерных островов и их подводных частей (склонов), промоин разрывных течений, лагун и мелководного шельфа (рис. 1, 2).

Бары формировались на определенном удалении от берега при фронтальном воздействии волн на берег, образуя вытянутые линейные цепочки характерных по морфологии (линзовидные в поперечном сечении) песчаных тел. Серии баров, по-видимому, образовывали барьерный остров, выходящий на поверхность, на территории которого откладывались хорошо сортированные пески и практически полностью отсутствовал глинистый и алевритовый материал, что обусловило низкую степень сцементированности пород. Как правило, цемент в этих отложениях вторичный – карбонатный или битумный.

В зоне между берегом и баром формировались лагуны, для которых были характерны застойные условия седиментации. В них откладывались преимущественно глины и в подчиненном количестве алевриты и пески. В зоне сочленения с баром отмечаются «языки» песчаных тел в глинистых и алевритовых отложениях.

Нагон воды в забаровую часть бассейна приливами, штормами, а также поступлением от речных стоков создавал условия, при которых избыточная вода прорывала баровые цепочки, образуя промоины разрывных течений. Водный поток в зонах между барами откладывал преимущественно песчаный материал, иногда переслаиваемый алевритовыми и глинистыми осадками.

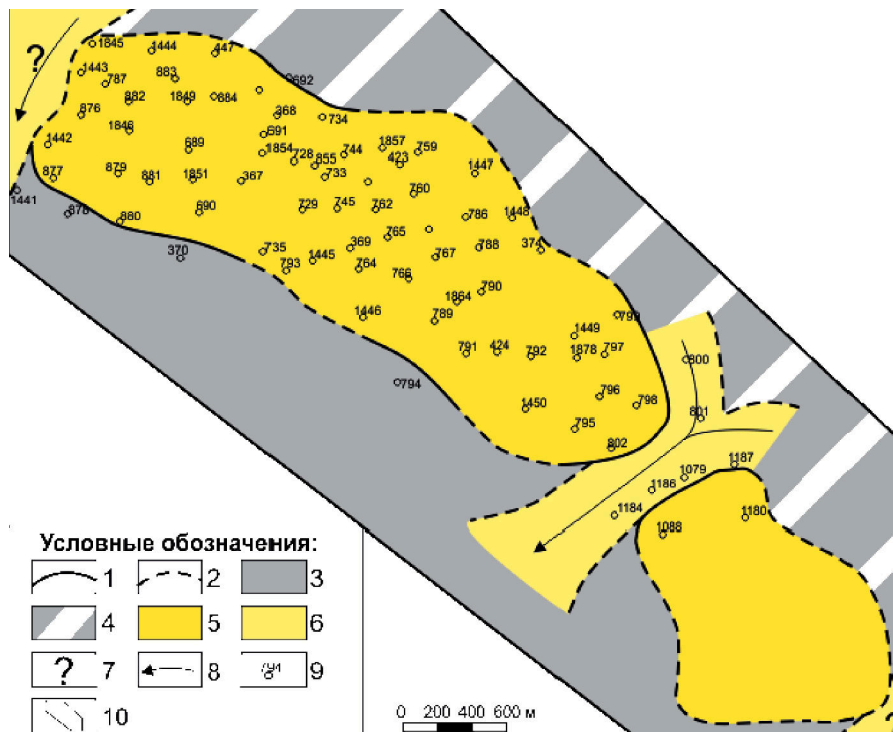


Рисунок 1 – Палеогеографическая схема

верхней пачки шешминского горизонта Южно-Ашалчинского месторождения:

- 1–2 – границы обстановок осадконакопления: 1 – проведенные по скважинным данным; 2 – условные;
- 3–6 – обстановки осадконакопления: 3 – мелководный шельф; 4 – лагуны; 5 – бары и барьерные острова;
- 6 – промоины разрывных течений; 7 – предполагаемые обстановки осадконакопления;
- 8 – направления водных потоков; 9 – скважины; 10 – территория исследования

В обстановках мелководного шельфа, на склоне баров и барьерных островов со стороны моря отмечается резкая смена типов фаций с преимущественно песчаных на переслаивание глин, алевроитов и песков, образуемых штормовыми явлениями, и далее, вероятно, на преимущественно тонкообломочные и глинистые разности.

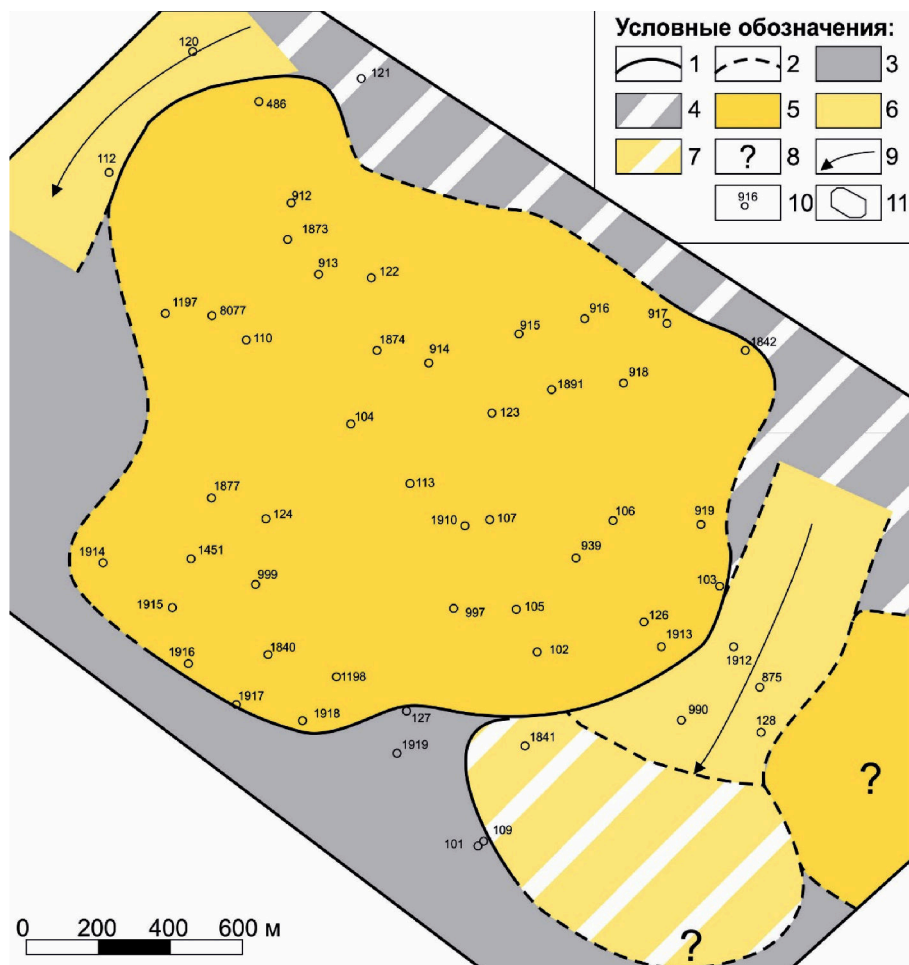


Рисунок 2 – Палеогеографическая схема верхней пачки шешминского горизонта Северо-Ашальчинского поднятия:

- 1–2 – границы обстановок осадконакопления: 1 – проведенные по скважинным данным; 2 – условные;
 3–6 – обстановки осадконакопления: 3 – мелководный шельф; 4 – лагуны; 5 – бары и барьерные острова;
 6 – промоины разрывных течений; 7 – головные части разрывных течений;
 8 – предполагаемые обстановки осадконакопления; 9 – направления водных потоков;
 10 – скважины; 11 – территория исследования

Подобные палеогеографические реконструкции на месторождениях СВН в сочетании с петрофизическими характеристиками керна в дальнейшем позволят с большей степенью точности прогнозировать фильтрационно-емкостные свойства коллектора в межскважинном пространстве на основе характера распространения фаций, увеличить достоверность оценки запасов углеводородов, выбирать наиболее перспективное расположение и направление при проектировании горизонтальных скважин, что сможет уменьшить риски и повысить эффективность разработки залежей сверхвязкой нефти.

Теоретической основой нового концептуального подхода к геологическому моделированию послужил закон миграции фаций Головкинского-Вальтера. Согласно этому постулату фации, сменяющиеся в разрезе по вертикали, соседствовали в рамках одного бассейна седиментации и накапливались в единый момент геологического времени.

Текущий подход к геологическому моделированию предполагает наличие разновозрастной границы между «песчаной пачкой» и «лингуловыми глинами», поэтому распространение таких показателей как пористости и проницаемости в межскважинном пространстве осуществляется в соответствии с положением кровельной границы песчаников. Однако согласно закону Головкинского-Вальтера, накопление песков баровых построек происходило в одно и то же время с глинами и алевроитами лагун и мелководного шельфа. При анализе построенных геологических моделей для месторождений СВН уфимского яруса и проведенной детальной корреляции было установлено, что толщины нижнеказанских глин варьируют в широких пределах – от 4–5 до 15–16 м. Причем наименьшие их значения соответствуют наибольшим толщинам песчаной пачки и наоборот (рис. 3).



Рисунок 3 – Концепция разновозрастных границ уфимско-нижнеказанских отложений (P_2) месторождений СВН:

1–3 – литотипы: 1 – преимущественно известняки; 2 – преимущественно глины; 3 – преимущественно песчаники; 4 – разновозрастные границы; 5 – границы обстановок осадконакопления

За точку отсчета была выбрана подошва «среднеспириферового известняка», которая является разновозрастной границей, так как условия накопления выдержанных по толщине и по площади карбонатов во всем бассейне наступили в один момент геологического времени. Известно, что накопление глинистого материала происходит медленно при низкой динамике среды. Такой процесс седиментации предполагает незначительную дифференциацию толщин глинистых отложений в рамках одной области, обусловленную, как правило, включениями прослоев алевритового и песчаного материала. Однако учитывая закономерное увеличение толщин нижнеказанских глин к окраинным частям баровых построек, есть основание утверждать, что нижняя часть этих отложений на окраинах поднятия накапливалась одновременно с верхней частью песчаной пачки в центральной части (см. рис. 2). Таким образом, литологическая граница между песчаниками шешминского горизонта и нижнеказанскими («лингуловыми») глинами не может считаться разновозрастной, следовательно, при геологическом моделировании распространение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород между скважинами согласно этой границе не является верным. Для построения геологических моделей была выбрана средняя поверхность между кровлей глин и песчаной пачки, которая в первом приближении может считаться изохронной.

Аналогично, нижняя литологическая граница преимущественно песчаных отложений верхней пачки не может считаться разновозрастной, так как согласно вышеописанному закону миграции фаций в соседствующих обстановках накапливались различные литологические типы пород. Поэтому в краевых частях поднятий сложно провести границу между переслаиванием песчаников, алевритов и глин нижней пачки и аналогичным переслаиванием в переходных зонах от баров к лагунам и мелководному шельфу. Однако в отличие от монотонных глинистых отложений, перекрывающих «песчаную пачку», ниже залегает ритмичное переслаивание грубозернистых и тонкозернистых пород, позволяющее провести циклостратиграфический анализ и в результате выделить разновозрастную границу между нижней и верхней пачками шешминского горизонта. Серьезным препятствием для достижения этой цели является крайне малое количество скважин, вскрывших подстилающие шешминский горизонт отложения сакмарского яруса. Однако при проведении детальной корреляции в нижней пачке был выделен реперный прослой известковистого песчаника, характеризующегося аномально низкими значениями гамма-каротажа и аномально высокими нейтрон-нейтронного и кажущегося сопротивления. Прослой характеризуется малыми толщинами (1–3 м), но выдержан по площади и достаточно явно выделяется практически во всех скважинах, вскрывших его. Это говорит о том, что указанный прослой, вероятно, формировался одновременно на территории каждого отдельного поднятия, поэтому он может быть использован в качестве опорного горизонта для построения геологических 3D моделей.

Таким образом, в результате исследования были получены следующие результаты. Во-первых, для палеогеографических реконструкций шешминского горизонта наиболее рационально использовать сочетание данных ГИС (электрометрические модели фаций) и макроописания керна. Во-вторых, отложения «песчаной пачки» шешминского горизонта формировались в прибрежно-морских условиях, в обстановках преимущественно баров и барьерных островов, а также соседствующих с ними лагун, промоин разрывных течений и мелководного шельфа. В-третьих, палеогеографические реконструкции позволят существенно повысить прогноз распространения ФЕС и характера нефтенасыщения шешминского горизонта. И, в-четвертых, ни верхняя, ни нижняя литологические границы исследуе-

мых отложений не могут считаться разновозрастными. В качестве реперных горизонтов при моделировании ФЭС в межскважинном пространстве были выбраны усредненная виртуальная поверхность между кровлей «лингуловых» глин и песчаной пачки, а также известковистый песчаный прослой в нижней пачке шешминского горизонта.

Литература:

1. Геология Татарстана. Стратиграфия и тектоника / под ред. Б.В. Булова – М. : «ГЕОС», 2003. – 402 с.
2. Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. – Л. : Недра, 1984. – 260 с.
3. Петров Г.А. Литолого-фациальный анализ битумоносных комплексов верхнепермских отложений в связи с оценкой ресурсов битумов на территории Татарстана : Автореф. дис. ... канд. геолого-минерал. наук. – Казань, 2000. – 27 с.
4. Селли Р.Ч. Древние обстановки осадконакопления. – М. : Недра, 1989. – 294 с.
5. Создание и промышленное внедрение комплекса технологий разработки месторождений сверхвязких нефтей / Ш.Ф. Тахтудинов и др. – Казань : Изд-во «Фэн» АН РТ, 2011. – 118 с.
6. Успенский Б.В., Валева И.Ф. Геология месторождений природных битумов Республики Татарстан. – Казань : «ПФ «Гарт», 2008. – 348 с.
7. Форш Н.Н. Волго-Уральская нефтегазоносная область. Пермские отложения. Уфимская свита и казанский ярус. – Л. : Гостоптехиздат, 1955. – 156 с.

References:

1. Geology of Tatarstan. A stratigraphy and tectonics / under the editorship of B.V. Burov. – M. : «GEOS», 2003. – 402 p.
2. Muromtsev V.S. Electrometric geology of sandy bodies – lithologic traps of oil and gas. – L. : Nedra, 1984. – 260 p.
3. Petrov G.A. Lithologo-facies the analysis the bitumes of complexes the upper permian of deposits in connection with an assessment of resources of bitumens in the territory of Tatarstan : Abstract of the thesis for a degree of the candidate of geological and mineralogical sciences. – Kazan, 2000. – 27 p.
4. Selli R.Ch. Ancient situations of sedimentation. – M. : Nedra, 1989. – 294 p.
5. Creation and industrial introduction of a complex of technologies of development of fields superviscous oils / Sh.F. Takhtudinov, etc. – Kazan : «Fen» publishing house of AN of RT, 2011. – 118 p.
6. Uspensky B.V., Valeeva I.F. Geology of fields of natural bitumens of the Republic of Tatarstan. – Kazan : «PF «Gart», 2008. – 348 p.
7. Forsh N.N. Volga-Ural oil-and-gas region. Perm deposits. Ufa suite and Kazan tier. – L. : Gostoptekhizdat, 1955. – 156 p.