УДК 551.86

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ НАДУГОЛЬНОЙ ТОЛЩИ ВАСЮГАНСКОЙ СВИТЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАЛЧАГСКОГО МЕЗОВЫСТУПА^{1,2}Староселец Д.А., ¹Смирнов П.В.¹Тюменский государственный университет, Тюмень, *d_star1997@mail.ru, geolog.08@mail.ru;*²АО «Тандем», Тюмень, *d_star1997@mail.ru*

Выполнены комплексные седиментологические исследования продуктивных отложений надугольной толщи васюганской свиты северо-западной части Калчагского мезовыступа. Основой определения фациальных условий формирования пластов Ю₁² и Ю₁¹ васюганской свиты послужил анализ кернового материала – литолого-петрографические исследования и результаты макропалеонтологических и микрофаунистических анализов. В полной мере описан и интерпретирован керн из 24 скважин и проведена фациальная интерпретация ГИС более 300 скважин. Идентифицированы следующие обстановки осадконакопления: для пласта Ю₁² приливо-отливная обстановка, связанная с фациями приливо-отливных отмелей, приливных протоков (каналов), для пласта Ю₁¹ пляжевая обстановка ассоциирует с фациями верхнего и нижнего пляжа, приливных каналов. Установлены закономерности строения, указывающие на то, что пласт Ю₁² формировался в регрессивную стадию, с характерным увеличением зернистости пород вверх по разрезу. А пласт Ю₁¹ образовался в условиях регрессивно-трансгрессивного цикла с общей направленностью к затоплению территории. Сделаны выводы об изменении гидродинамического режима в процессе накопления отложений надугольной толщи васюганской свиты с приливной на волновую деятельность. Представлена принципиальная схема осадконакопления отложений пластов Ю₁¹ и Ю₁² надугольной толщи васюганской свиты. Предложена концептуальная седиментологическая модель надугольной толщи васюганской свиты, применение которой в последующем возможно для корректировки разведочного и эксплуатационного бурения, построения кубов литологии и фильтрационно-емкостных свойств и создания эффективной системы разработки месторождения. Выявлены зоны улучшенных коллекторов, которые связаны такими фациями, как приливо-отливные протоки, приливо-отливные песчаные отмели и приливные каналы.

Ключевые слова: васюганская свита, фация, обстановка осадконакопления, келловей, оксфорд**CONCEPTUAL MODEL FOR THE FORMATION OF THE INFLATABLE THICKNESS OF THE VASYUGAN FORMATION IN THE NORTHWESTERN PART OF THE KALCHAGA MEZOVYSTUP**^{1,2}Staroselets D.A., ¹Smirnov P.V.¹Tyumen State University, Tyumen, *d_star1997@mail.ru, geolog.08@mail.ru;*²АО «Тандем», Тюмень, *d_star1997@mail.ru*

Complex sedimentation studies of productive sediments of the inflatable thickness of the Vasyugan Formation in the northwestern part of the Kalchaga mezovystup. The analysis of core material – lithological and petrographic studies and the results of macropaleontological and microfaunistic analyses – served as the basis for determining the facial conditions of formation of beds J12 and J11 of the Vasyugan Formation. Core material from 24 wells was fully described and interpreted, and more than 300 wells were facialized for GIS interpretation. The following sedimentation conditions were identified: for formation J12 the tidal environment associated with the facies of tidal flats, tidal ducts (channels), for formation J11 the tidal environment associated with the facies of the upper and lower beach, tidal channels. And the formation of J11 was formed in the conditions of a regressive-transgressive cycle with a general orientation to flooding of the territory. The conclusions about the change of the hydrodynamic regime in the process of accumulation of deposits of the inflatable thickness of the Vasyugan Formation with a tidal wave activity were made. The principal scheme of sedimentation accumulation of deposits of layers J11 and J12 of the inflatable thickness of the Vasyugan Formation is presented. A conceptual sedimentation model of the inflatable thickness of the Vasyugan Formation is proposed, application of which in the future is possible for correction of exploratory and production drilling, construction of lithology cubes and filtration-capacitance properties and creation of an effective system of field development. The zones of improved reservoirs are revealed, which are connected with such facies as tidal ducts, tidal sandy shoals and tidal channels.

Keywords: Vasyuganskaya formation, facies, sedimentary situation, Callovian, Oxford

Васюганская свита келловей-оксфордского возраста является одним из основных объектов для поиска и добычи нефти и газа в Западной Сибири и формирует серию продуктивных пластов горизонта Ю₁.

Результаты первого этапа изучения основных продуктивных горизонтов верхней юры в Западной Сибири и фундаменталь-

ные закономерности их формирования рассмотрены в цикле исследований «классиков» нефтегазовой геологии Западной Сибири. В последнее время наблюдается устойчивый рост числа научных исследований, посвященных изучению васюганской свиты в различных аспектах. В.П. Алексеев и др. [1] анализировали вариативность со-

става и строения Ю₁ в Широтном Приобье и его ближнем окружении, установив общие закономерности формирования верхнеюрских отложений. В.Б. Белозёров [2] выполнил палеогеографические реконструкции верхнеюрского времени на основе проявления волнового процесса тектогенеза. Г.Г. Кравченко [3] в своей работе установил цикличность строения васюганской свиты, В.В. Шиманский и др. [4] проводили исследования нефтегазоносных отложений васюганской свиты в северо-восточной части Широтного Приобья. Детальная характеристика васюганского горизонта для многих районов южной части Западно-Сибирского осадочного мегабассейна приведена в ряде последних работ сибирских литологов [5, 6].

В строении васюганской свиты выделяют следующие литолого-фациальные пачки (снизу вверх): *подугольную* (пласт Ю₁³⁻⁴), *межугольную* (пласт Ю₁^м) и *надугольную* (пласты Ю₁¹, Ю₁²) [3]. В остальном можно утверждать, что пласты васюганской свиты характеризуются сложным распределением как литологических, так и фильтрационных свойств, что связано с многообразием фациальных обстановок и характером вторичных изменений. Высокая неоднородность коллекторов создаёт трудности при разработке и доразведке месторождений и, очевидно, требует создания более надёжной геологической и палеогеографической основы. Концептуальная модель формирования отложений, которая будет последовательно дополняться и детализироваться, позволила бы обеспечить эффективное выполнение поисково-оценочных работ путем выявления зон распространения песчаных тел различного генезиса.

Основной целью настоящего исследования является создание концептуальной модели формирования продуктивных пластов Ю₁¹ и Ю₁² васюганской свиты на месторождениях, относящихся к северо-западной части Калчагского мезовыступа, и последующее прогнозирование наиболее перспективных участков разработки и доразведки этих месторождений. В крайних частях локализации отложений, к числу которых относится исследуемый авторами участок юго-востока Западной Сибири, эта задача приобретает еще большее значение по причине высокой вариативности существовавших обстановок осадконакопления.

Исследуемый участок расположен на юго-востоке Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции в пределах Пудинского

нефтегазоносного района Васюганской нефтегазовой области.

Материалы и методы исследования

Материалами для исследования послужили:

1. Керновые данные по 24 скважинам, включающие фотографии керна, его описание, результаты гранулометрических исследований, фотографии шлифов, результаты макропалеонтологических и микрофаунистических анализов.

2. Данные каротажных диаграмм ГИС, не менее 300 скважин.

Первичной основой для построения фациальных схем послужили данные о генетических признаках, выявленных при изучении керна. Детальное седиментологическое описание и фотографии керна использованы для уточнения особенностей осадконакопления на исследуемой территории. На их основе проанализированы структурно-текстурные параметры пород и произведена интерпретация физико-географических условий формирования отложений. Полученные параметры были экстраполированы на скважины без кернового материала по методике электрометрических моделей фаций В.С. Муромцева. За основу анализа взяты эталонные диаграммы для различных фаций, взятые из методики В.С. Муромцева с адаптацией к особенностям гамма-каротажа. При анализе формы графиков обращалось внимание на характер боковой линии, а также верхние и нижние границы. Анализ фаций выполнен в двух системах – пространственной (изучение закономерностей распределения фаций по площади для ограниченного стратиграфического интервала) и временной (изучение смены фаций по разрезу). За основу классификации фаций принимался ведущий тип динамики среды, резко доминирующий на фоне полидинамического ландшафта.

Согласно схеме литофациального районирования келловейского, оксфордского, киммериджского и волжского ярусов Западной Сибири, исследуемая территория относится к переходной области Пурпейско-Васюганского и Сильгинского структурно-фациальных районов [7], которая характеризуется транзитом преимущественно морских отложений васюганской свиты (J₂₋₃vs) в одновозрастные континентальные породы наукальской свиты (J₂₋₃nuk). Переходность зоны обуславливает высокую неоднородность и резкость смены фациальных обстановок в разрезе исследуемого участка.

На примере скважины 613 (рис. 1), как наиболее репрезентативной и характеризующей закономерность строения надугольной толщи, выполнена дифференциация пластов и установлена цикличность их формирования, определенная на основе изучения керновых данных.

Рис. 1. Литологическая колонка по скв. 613 с трансгрессивно-регрессивными циклами

Результаты определения фациальных обстановок по керновым данным

Пласт $Ю_1^2$: представлен песчаником светло-серым, мелкозернистым, неравномерно алевритистым, с глинистым цементом, с текстурой активной мелкой ряби волнений, подчеркнутой глинистым материалом. Отмечаются волны с пологими пиками, субгоризонтальные. Нередко текстуры пород подчеркнуты углефицированным растительным детритом. Прослеживаются серии тонкой прерывистой косо-волнистой (флазерной) слоистости, подчеркнутой глинистым материалом. Присутствует биотурбация (ихнофаия *Cruziana*, *Skolithos*); ходы частично замещены пиритом и сидеритом.

Так же часто наблюдается горизонтальная слоистость с ярко выраженными слоевыми швами, сформированными тонким переслаиванием илесто-песчаных наносов (рис. 2).

В скважинах, расположенных на юге изучаемой территории, в основании пласта присутствует неравномерное переслаивание аргиллита темно-серого с песчаником светло-серым. Аргиллит с примесью алевритового материала, массивный, с включениями углефицированных остатков растительного детрита, слюдистый. По поверхностям напластования развит пирит. Отмечается углефицированная органика.

Совокупность признаков позволила идентифицировать обстановку осадконакопления как приливно-отливную (связанную с фациями приливно-отливных отмелей, приливных протоков (каналов) [8]), а также заключить, что пласт $Ю_1^2$ формировался в условиях преобладающей приливной деятельности.

Пласт $Ю_1^1$: в нижней части пласт сложен битым известняком ракушняковым с небольшими прослоями аргиллита и известняком скрытокристаллическим с единичными остатками битых и целых раковин двустворок, размером в первые миллиметры. Совокупность этих признаков указывает на принадлежность отложения к фации верхнего пляжа (волноприбойного вала) (рис. 2).

Выше по разрезу пласт сложен песчаником мелкозернистым с косой слоистостью, местами клиновидной, подчеркнутой намывами слюдисто-углистого материала. Биотурбация отсутствует.

В целом при интерпретации керновых данных выделены фаии верхнего и нижнего пляжей, приливных каналов, а также макрофаия бухт и заливов, связанная с глинистой перемычкой, разделяющей пласт $Ю_1^1$ на две пачки. В сравнении с нижележащими отложениями пласт формировался в условиях преобладающей приливной деятельности, что выражается в смене текстурных особенностей пород.

Результаты фацальной интерпретации каротажных диаграмм

При корреляции керновых данных с данными каротажных диаграмм устанавливается их высокая сходимость (рис. 3, 4). Это делает релевантным использование данных ГИС в скважинах, пробуренных без извлечения кернового материала, и тем самым расширяет количество данных, применение которых возможно при создании концептуальной модели.

Рис. 2. Литолого-генетические типы пластов Ю_1^2 и Ю_1^1 (а – песчаник мелкозернистый, массивный. Фация приливного канала; б – песчаник мелкозернистый со специфической мелкомасштабной слоистостью. Фация приливо-отливных песчанистых отмелей; в – песчаник мелкозернистый с горизонтальной и линзовидно-волнистой слоистостью. Фация приливо-отливных смешанных отмелей; г – переслаивание аргиллита, алевролита и песчаник с пологоволнистой, субгоризонтальной слоистостью; д – песчаник мелкозернистый с массивной и субгоризонтальной слоистостью. Фация приливной протоки; е – песчаник мелкозернистый с косослоистой, клиновидной сходящейся слоистостью. Фация нижнего пляжа; ж – известняк-ракушняк органогенный, сцементированный кальцитом. Фация верхнего пляжа (волноприбойного вала))

Результаты исследования и их обсуждение

На основе фациальной интерпретации отложений пластов Ю_1^2 и Ю_1^1 и определения распространения фаций в пространственном и временном интервалах, удалось восстановить их условия осадконакопления (рис. 5). Для создания фациальных схем в дополнение к керновым данным и данным ГИС по материалам АО «Тандем» использовались карты общих и эффективных толщин, карты песчанистости и палеорельефа.

На всей территории исследуемого участка во время формирования пласта Ю_1^2 наблюдалась приливо-отливная обстановка с линией берега на юге и постепенным увеличением глубины на север. Это была приливо-отливная равнина, на которой формировались отмели песчаного и смешанного состава.

Ко времени формирования пласта Ю_1^1 происходит смена преобладающего режима с приливной деятельности на волновую, в результате чего на побережье с терригенной седиментацией начинают преобладать отложения пляжевых фаций.

На большей части территории доминировали отложения верхнего пляжа, распро-

странённые на юге, западе и северо-западе и постепенно переходившие в нижний пляж на северо-востоке. Также в пляжевой обстановке существовали приливные каналы, которые обеспечивали локальный принос большого количества песчаного материала.

Комплексное применение данных позволило повысить детальность и точность прогноза фациальных схем, что в будущем позволит использовать их в качестве трендов для построения кубов литологии и фильтрационно-емкостных свойств.

Наилучшими коллекторскими свойствами для пласта Ю_1^2 обладают алевроито-песчаные отложения, связанные с приливо-отливными протоками и приливо-отливными песчанистыми отмелями (Кпр от 100 до 250 мД, Кп от 0,18 до 0,20), распространёнными на северо-востоке территории общей толщиной до 15 м. Южная часть исследуемого участка заглинизирована илистыми отложениями приливо-отливной зоны. Для пласта Ю_1^1 , толщина которого составляет в среднем 10 м, наилучшие коллекторские свойства связаны с приливными каналами (Кпр от 100 до 180 мД, Кп от 0,19 до 0,20).

Рис. 3. Детальная схема корреляции с фациальной интерпретацией (разрез с запада на восток)

Рис. 4. Детальная схема корреляции с фациальной интерпретацией (разрез с севера на юг)

Рис. 5. Фациальная схема формирования пластов Ю₁² и Ю₁¹

В дальнейшем рекомендуется учитывать данные исследований для более рационального размещения разведочных и добывающих скважин, также применять при последующем построении геологических и флюидодинамических моделей, с целью повышения их качества.

Выделение фациальных обстановок по керновому материалу позволило выявить закономерности их распределения и цикличность осадконакопления на исследуемом участке. Пласт Ю₁² формировался в регрессивную стадию, что характеризуется постепенным увеличением зернистости вверх по разрезу. В свою очередь пласт Ю₁¹ образовался в условиях трансгрессивно-регрессивного цикла.

Таким образом, в целом для пласта Ю₁² обстановка осадконакопления определена как приливно-отливная, а для пласта Ю₁¹ – пляжевая.

Заключение

1. На основе изучения керна материала определены фациальные условия формирования пластов Ю₁² и Ю₁¹ васюганской свиты. Обстановка осадконакопления пласта Ю₁² интерпретирована как приливно-отливная и связана с фациями приливно-отливных смешанных и песчаных отмелей и с фациями приливных протоков. Формирование пласта Ю₁¹ ассоциировано с пляжевой обстановкой. Установлены фации: верхнего и нижнего пляжа, приливных каналов.

2. Установленные закономерности строения указывают, что пласт Ю₁² формировался в регрессивную стадию, в литологии характеризующуюся увеличением зернистости пород вверх по разрезу. А пласт Ю₁¹ образовался в условиях регрессивно-трансгрессивного цикла с общей тенденцией к затоплению территории.

3. Предложена концептуальная модель формирования надугольной толщи. В дальнейшем, она может послужить для создания более точных двумерных и трёхмерных геологических моделей пластов надугольной толщи васюганской свиты.

4. Зоны с лучшими ФЕС (Кпр от 80 до 250 мД, Кп от 0,18 до 0,20) алевроитопесчаных пород-коллекторов связаны с деятельностью приливных каналов и протоков на северо-востоке изучаемой территории.

Список литературы / References

1. Алексеев А.В., Чернова О.С., Амон Э.О., Вале-ев Р.А., Лац С.А., Щергина Е.А. Закономерности изменения состава и строения коллектора Ю1 в Широном Приобье

и его ближнем окружении (Западная Сибирь) // Литосфера. 2014. № 3. С. 51–69.

Alekseev A.V., Chernova O.S., Amon E.O., Valeev R.A., Lats S.A., Schergina E.A. Regularities of changes in the composition and structure of the J1 collector in the Shirotnoye Priobye and its close surroundings (Western Siberia) // Lithosphere. 2014. № 3. P. 51–69 (in Russian).

2. Белозеров В.Б. Палеогеографические особенности формирования нефтеносных пластов васюганской свиты Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. 2007. № 1. С. 67–72.

Belozarov V.B. Paleogeographic features of oil-bearing strata formation in Vasyuganskaya formation in Western Siberia // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2007. № 1. P. 67–72 (in Russian).

3. Кравченко Г.Г. Цикличность строения васюганского горизонта по данным исследований керна (на примере юго-востока Западной Сибири) // VII Всероссийское литологическое совещание (Новосибирск, 28–31 октября 2013 г.). Новосибирск: ИНИГ СО РАН, 2013. С. 92–97.

Kravchenko G.G. Cyclical structure of Vasyuganskiy horizon according to the data of core researches (on the example of the south-east of Western Siberia) // VII All-Russian lithological meeting (Novosibirsk, October 28–31, 2013). Novosibirsk: INGG SO RAN, 2013. P. 92–97 (in Russian).

4. Шиманский В.В., Низяева И.С., Танинская Н.В., Колпенская Н.Н., Васильева Н.Я., Мясникова М.А., Зельцер В.Н. Седиментационная модель нефтегазоносных отложений васюганской свиты северо-восточной части Широного Приобья // Перспективы нефтегазоносности и результаты ГРП. 2017. № 5. С. 21–30.

Shimanskiy V.V., Nizyaeva I.S., Taninskaya N.V., Kolpenskaya N.N., Vasileva N.Ya., Myasnikova M.A., Selzer V.N. Oil and Gas Deposits Sedimentation Model of Vasyuganskaya Suite of Latitude Priob North-Eastern Region // Perspektivy neftegazonosnosti i rezul'taty GRR. 2017. № 5. P. 21–30 (in Russian).

5. Вакуленко Л.Г., Дульцева О.В., Бурлева О.В. Строение и обстановки формирования васюганского горизонта (верхи бата – оксфорд) на территории Александровского свода (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 10. С. 1538–1556.

Vakulenko L.G., Dultseva O.V., Burleva O.V. Structure and depositional environment of the Vasyugan Horizon (Upper Bathonian-Oxfordian) in the Aleksandrovskoe arch area (West Siberia). Russian Geology and Geophysics. 2011. V. 52. № 10. P. 1212–1227. DOI: 10.1016/j.rgg.2011.09.012.

6. Ян П.А. Обстановки формирования бат-верхнеюрских отложений и причины эволюции Западно-Сибирского бассейна // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Саратов: Наука, 2009. С. 268–270.

Yan P.A. Settings of the Bath-Upper Jurassic Formation and Reasons for the West Siberian Basin Evolution // Jurassic System of Russia: Problems of Stratigraphy and Paleogeography. Saratov: Nauka, 2009. P. 268–270 (in Russian).

7. Курчиков А.Р., Бородин В.Н., Недосекин А.С. Стратиграфическая, литолого-фациальная характеристики юрских отложений Западной Сибири и перспективы их нефтегазоносности. Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. 178 с.

Kurchikov A.R., Borodkin V.N., Nedosekin A.S. Stratigraphic, lithologic-facial characteristics of Jurassic sediments in Western Siberia and prospects of their oil and gas bearing capacity. Tyumen: TyumGNGU, 2014. 178 p. (in Russian).

8. Чернова О.С. Научные основы построения геостатических моделей и геометрии юрско-меловых природных резервуаров Западной Сибири на базе петрофизических и седиментологических исследований керна: дис. ... докт. геол.-мин. наук. Томск, 2018. 522 с.

Chernova O.S. Scientific basis for construction of the geostatic models and geometry of the Jurassic-Cretaceous natural reservoirs in Western Siberia on the basis of the petrophysical and sedimentological studies of the core: dis. ... dokt. geol.-min. nauk. Tomsk, 2018. 522 p. (in Russian).