

УДК 553.98.061.32:551.733(470.26)

Отмас А.А. (старший), Волченкова Т.Б., Богословский С.А.Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт» (ФГУП «ВНИГРИ»), Санкт-Петербург, Россия, ins@vnigri.ru

ГЛИНИСТЫЕ ТОЛЩИ СИЛУРА В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ОБЪЕКТ ПОИСКА УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

Исследованы нефтематеринские толщи силурских отложений территории Калининградской области, выделяемые по геохимическим данным, исходя из распределения рассеянного органического вещества. Различными методами изучена степень катагенеза этих толщ. Сделан вывод, что возможным типом флюида при его разработке является нефть. Определены масштабы генерации и остаточного потенциала сланцевых толщ региона, выделены перспективные направления исследований.

Ключевые слова: углеводородное сырье, нефтематеринские толщи, силур, катагенез органического вещества, Калининградская область.

Поиск альтернативных источников углеводородного сырья в условиях устойчивого спроса и достаточно высоких цен на природное топливо при объективном ухудшении фонда традиционных объектов и снижения их рентабельности - тема на сегодняшний день достаточно актуальная.

В последние годы при изучении принципиально новых (нетрадиционных) направлений освоения углеводородов все больше внимания уделяется таким понятиям как сланцевые нефть и газ. Эта тема в последние 5-10 лет стала очень популярной, чему способствуют достижения в разработке сланцевого газа в Северной Америке, которая за короткий период времени смогла преодолеть тенденции падающей добычи газа и нарастить добычу газа до рекордного уровня, что привело к значительному падению цен на газ на северо-американском рынке.

В России наибольший интерес с этой точки зрения представляют битуминозные глины баженовской свиты мезозоя Западной Сибири (разрабатываются на Салымском и других месторождениях Западной Сибири), а также глинисто-кремнистые известняки и доломиты верхнего девона – турне востока Русской плиты.

В Европе разведка месторождений сланцевого газа велась в Великобритании, Франции, Швеции, Германии, Австрии, Венгрии, Румынии и Украине. На сегодняшний день самыми перспективными считаются месторождения сланцевого газа, находящиеся в Польше, а также Украине. Определенная роль при выделении сланцевых ареалов (рис. 1) в прибалтийском регионе отводится и Калининградской области РФ [Сланцевый газ..., 2011].

Все открытые в калининградском регионе (Балтийская нефтеносная область) нефтяные месторождения связаны с кварцевыми песчаниками среднего кембрия и приурочены к ловушкам структурного типа. Нефть в таких ловушках была аккумулирована, в основном, в результате вторичной латеральной и вертикальной миграции.

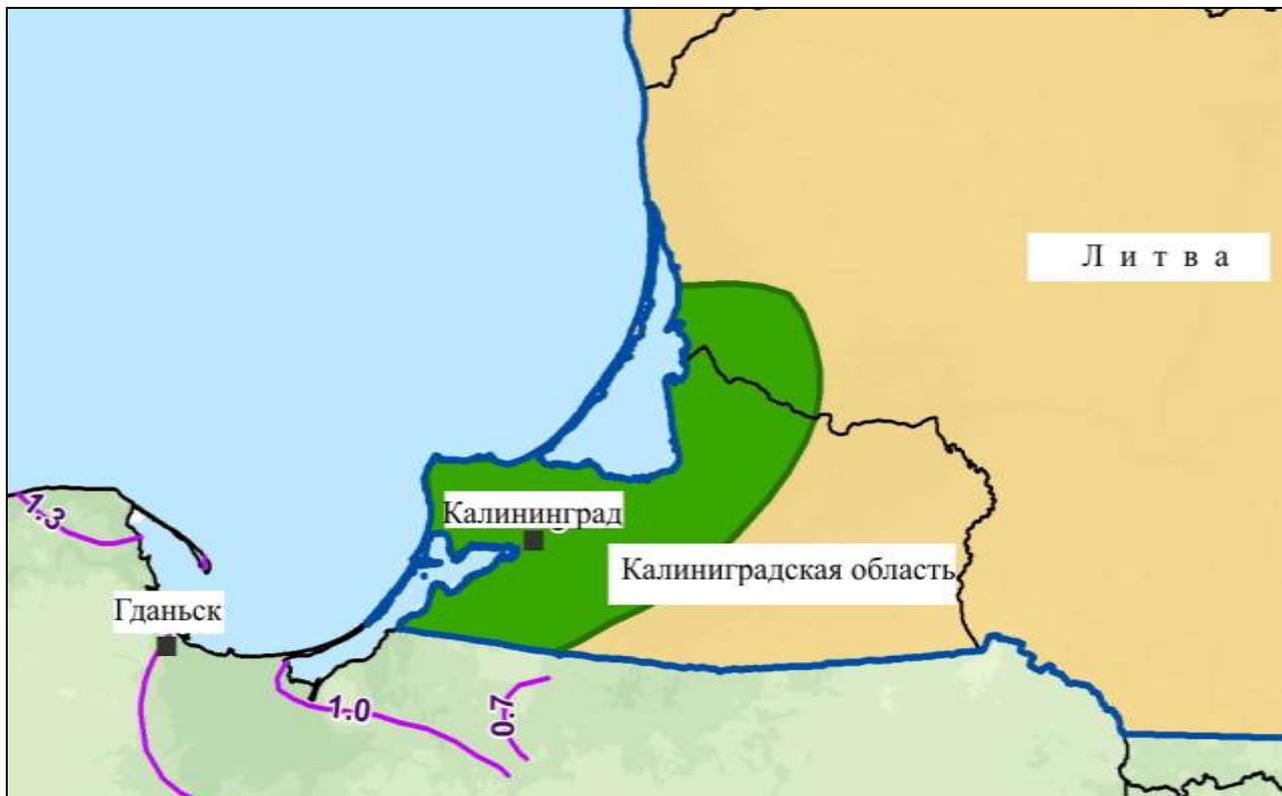


Рис. 1. Схема расположения перспективной нефтеносной зоны в нижнесилурийских сланцах Калининградской области в Балтийском бассейне (EIA/ARI, 2013)

На схеме желтым цветом выделена Балтийская провинция на территории Калининградской области и Литвы, зеленым цветом – перспективные нижнесилурийские нефтеносные сланцы, цифрами показаны %Ro (отражательная способность витринита) в аналогичных сланцах на территории Польши.

К нефтегазоматеринским толщам в регионе, нефть в которых могла сформироваться «in situ» (на месте, автохтонно) относятся разновозрастные глинисто-карбонатные толщи осадочного чехла нижнего палеозоя - от кембрия до силура.

Касаясь «сланцевых» источников нефти в Калининградской области, мы постарались на начальной стадии исследований найти ответ на самые общие вопросы:

- какие толщи в регионе могут рассматриваться в качестве нефтегазоматеринских;
- какова степень катагенеза этих толщ и, соответственно, какой в них следует ожидать тип флюида: нефть или газ;
- каковы масштабы генерации и эмиграции УВ из нефтегазоматеринских толщ;
- какие перспективные территории можно выделить для дальнейших исследований.

По геохимическим данным исходя из распределения рассеянного органического вещества (POB), на территории Южной Прибалтики наиболее обогащенными толщами, которые могут быть рассмотрены в качестве нефтематеринских, являются [Макаревич и др., 1984]:

- темно-серые и серые аргиллиты и глинистые алевролиты кембрия. Содержание $C_{орг}$ в нижекембрийских аргиллитах изменяется в диапазоне 0,0-1,91% (среднее 0,28), в алевролитах – от 0,02 до 1,87 % (среднее – 0,26). В среднекембрийских отложениях в западной части Балтийской синеклизы содержание $C_{орг}$ изменяется в пределах 0,06-3,42% (среднее – 0,53), в алевролитах 0,05-1,99% (среднее – 0,20%).

- черные аргиллиты нижнего, среднего и верхнего ордовика. Данные отложения формировались в подводных депрессиях в условиях застойного режима в пакеротское (O_1), кукрузе-оандуское (O_2) и ворсмиское (O_3) время, содержание $C_{орг}$ достигает 12,91% (в среднем 3,95%). Суммарная мощность ордовикских черных аргиллитов – первые десятки метров.

- темно-серые мергели и аргиллиты нижней части разреза силура, мощность которых в наиболее погруженной части синеклизы превышает 300 м. Содержание $C_{орг}$ в толще достигает 16,46, в среднем – 1,01%.

Из указанных толщ наибольшее обогащение органическим веществом характерно для лландоверийских отложений, содержащих значительно количество прослоев черных аргиллитов. Мощность лландоверийских отложений в западной части Калининградской области достигает 60 м, а среднее содержание органического вещества – 5,98%. Венлокские отложения сложены довольно однородной толщей темно-серых и черных мергелей и аргиллитов. Среднее содержание органического вещества – 1,7-1,9%, битумоидов – 0,26-0,33%. Темно-серые мергели и аргиллиты верхнесилурийских отложений по битуминологической характеристике схожи с нижележащими венлокскими.

Суммарная мощность силурийских отложений в Калининградской области значительно изменяется в направлении с юго-востока на северо-запад от 420 м (скв. 1-Дубровская) до 1296 м (скв. 1-Путиловская). Абсолютные отметки кровли силура изменяются от -700 м на востоке и до -1400м в западной части района, в зоне шельфа.

Учитывая, что мощность «сланцевых» толщ на месторождениях сланцевого газа составляет десятки (до 60-90 м) метров [Сланцевый и другой..., 2012], что во многом отвечает требованиям разработки залежей горизонтальными стволами, породы нижнего силура, на наш взгляд, следует рассматривать в качестве первоочередного объекта

исследований в рассматриваемом регионе. Особый интерес в этой толще представляют черные аргиллиты нижнего силура (S_{1ln}).

Следует отметить, что охарактеризованные [Баженова и др., 2012] породы нижнего силура не представляют собой собственно граптолитовые сланцы, хотя и содержат граптолиты, непосредственно наблюдаемые в породах. Люминесцентная характеристика битумоидов образцов также отличается от таковой типичных граптолитовых сланцев.

Поскольку исследуемая часть разреза никогда не рассматривалась в качестве перспективной в отношении нефтегазоносности, опробование и испытание силурийских и нижнекембрийских образований в регионе носили сугубо подчиненный и единичный характер и проводились крайне редко. Наблюдались незначительные притоки пластовой воды, чаще - отсутствие притока.

Остановимся подробнее на оценке степени катагенеза рассеянного органического вещества нижне-среднепалеозойских отложений Балтийской синеклизы, сопоставив результаты различных методов.

Степень катагенеза рассеянного органического вещества нижне-среднепалеозойских отложений, по данным химико-петрографических исследований, на территории Южной Прибалтики нарастает с северо-востока на юго-запад, от протокатагенеза (ПК) до начала среднего мезокатагенеза (MK_2).

Согласно химико-петрографическим исследованиям, осуществленным ранее во ФГУП «ВНИГРИ», степень катагенеза данных отложений на территории Южной Прибалтики нарастает с северо-востока на юго-запад, от протокатагенеза (ПК) до начала среднего мезокатагенеза (MK_2). По данным Г.М. Парпаровой, степень катагенеза рассеянного органического вещества в силурийских отложениях, залегающих до глубины ~ 1700 м, относится к градациям ПК- MK_1 ; на глубине 1700-2600 м – MK_1 ; на глубине 2600 м – MK_2 . Таким образом, степень катагенеза рассеянного органического вещества силурийских отложений западной части Южной Прибалтики вполне достаточна для частичной реализации его нефтематеринских свойств.

Начало главной фазы нефтеобразования, по данным химико-битуминологических исследований, для нижнекембрийских НМП фиксируется на глубине 2050 м, для среднекембрийских – 1950 м, ордовикских – 1850 м, силурийских – 1750 м [Макарова, Отмас, Суханов, 2012].

Геохимические исследования последних лет [Баженова и др., 2012] показали, что по ряду критериев (степени битуминизации, данным Rock-Eval и др.) катагенез ОВ в породах

ордовика относится к стадиям ПК₃ – конец МК₁, а для кембрия – МК₂¹. При этом, исследованные (4 анализа) образцы нижнего силура расположены в первой, верхней половине главной фазы нефтеобразования, выше её максимума.

При определении зрелости ОВ по количественным характеристикам спектральных особенностей ИК-спектров [Макарова, Отмас, Суханов, 2012] установлено, что степень катагенетической преобразованности ОВ нижнесилурийских отложений оценивается на уровне градаций МК₂², МК₂ – МК₃, МК₃ – МК₄; это отвечает зоне нефтяного окна и предполагает существенное преобразование липидных компонентов.

Сходные результаты были получены при определении степени катагенеза исследуемых пород косвенными палеонтологическими методами - по оценке палеотемпературы породы на основе изменения индекса окраски конодонтов.

Таким образом, породы большинства исследованных образцов нижнего палеозоя (от кембрия до силура), обогащенных ОВ с остатками граптолитов, по степени катагенеза приурочены к главной зоне нефтеобразования. Основным выводом из этого следует считать, что указанные породы являются нефтематеринскими (не газоматеринскими!), и, следовательно, нефть в них как объект поиска является единственным типом флюида.

Геотермические градиенты в кембрийских отложениях варьируют в диапазоне от 2,4-2,5°C/100 м (Ершовское, Домновское месторождения) до 4,0-4,1 °C/100 м на северо-востоке области (Новосеребрянское, Восточно-Горинское месторождения). Максимальные значения температур от + 84°C до + 94°C (Ладушкинское, Алешкинское, Калининградское и другие месторождения) встречены на глубинах 2400-2950 м. В тоже время, на глубинах 1900-2100 м пластовые температуры изменяются в достаточно широком диапазоне от + 50°C до + 75°C. Существует предположение [Баженова и др., 2012], что в прошлые геологические эпохи температуры кембрийских отложений были выше на 20÷25%. В современном геотермическом поле характер распределения температур в основном контролируется глубинами залегания отложений и, возможно, разломной тектоникой и тектонической приуроченностью.

По палеоструктурным построениям наиболее перспективными из силурийских образований, с точки зрения погружения их в главную фазу нефтеобразования, следует считать отложения нижнего силура в западной (юго-западной) части нынешней территории Калининградской области, залегающие на глубинах от 1500 м и выше (до 2400-2500 м) и находящиеся в зоне прогресса свыше 50°C не менее 65-100 млн. лет (рис. 2).

Максимальная температура прогрева нижнесилурийских отложений по нашим расчетам на отдельных участках при нынешнем температурном градиенте около 3°С на 100м не превышала 85÷90°С. В главную фазу нефтеобразования нижнесилурийские отложения полностью погрузились во время мелового периода.

При определении генерационного потенциала отложений нижнего силура были выполнены модельные расчеты для различных фациально-генетических типов – альгинитового и граптолитового ОВ. Эти расчеты показывают, что УВ-потенциал альгинитового ОВ примерно в 1,5 раза выше, нежели УВ-потенциал граптолитового. К тому же, динамика генерации УВ в процессе катагенеза в обоих типах ОВ различна. Если в альгинитовом типе генерация битумоидов заканчивается в начале градации МК₃, то в граптолитовом типе – к концу МК₁. Всё это, соответственно, отражается на смешанном типе ОВ. Поэтому в расчетах вначале было определено количественное соотношение разных типов ОВ в каждом из образцов. Далее, исходя из модельных данных для каждого уровня, вычислялось количество генерированных битумоидов для каждого «чистого» типа ОВ, затем - средневзвешенные значения, после чего определялось количество генерированной нефти на км² на 1 м мощности, т.е. удельную плотность генерации. Основные исходные данные и полученные величины сведены в таблицу, по которой удельная плотность остаточной нефти в исследованных образцах нижнего силура составляет от 6,2 до 27,9 тыс. т/км²/м.

Выполнены геохимические реконструкции процессов нефтеобразования в палеозойских отложениях Калининградской области на основе моделирования с помощью программного продукта Temis 3D.

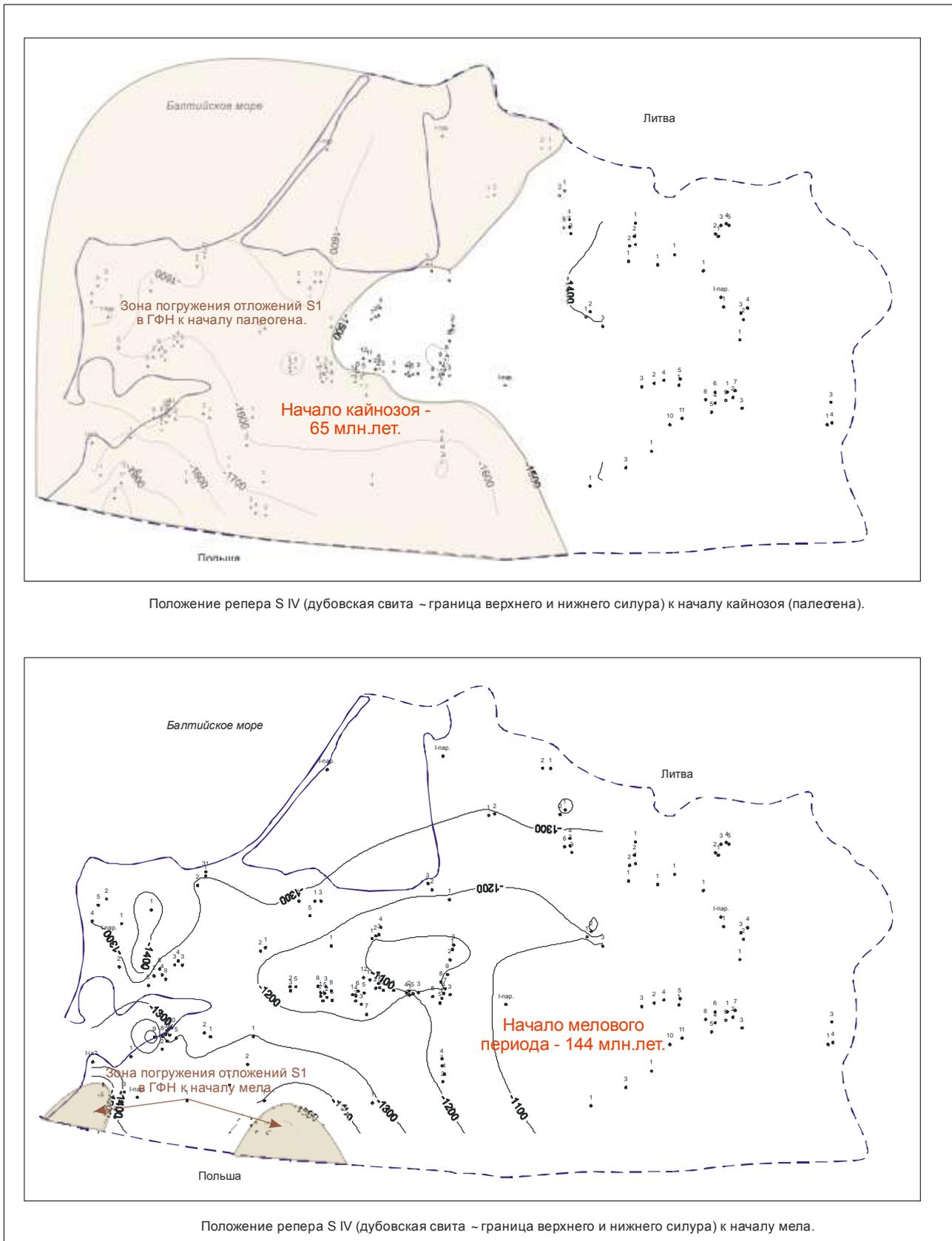


Рис. 2. Палеоструктурные планы репера S IV (с выделением территорий погружения отложений S1 в зону главной фазы нефтеобразования)

Как показывают построения, генерация нефти в силурийских отложениях могла начаться уже в конце каменноугольного – начале пермского времени (рис. 3); на значительной части Калининградской области уже к концу триаса нижнесилурийские породы достигли стадий ПК₃-МК₁, а в крайней западной ее части – даже МК₂.

Полученные градации катагенеза хорошо коррелируются как с результатами лабораторных исследований ФГУП «ВНИГРИ», так и с данными И.С. Гольдберга и Г.М. Парпаровой (см. выше). В то же время по данным Т.К. Баженовой и А.И. Шапиро [Баженова и др., 2012], степень катагенеза ОВ в ряде образцов оказалось несколько выше, чем можно было ожидать, исходя из современных глубин. Это позволяет предположить несколько большее погружение пород, особенно в восточной части области. Однако в целом различия между палео- и современными глубинами на данной территории невелики.

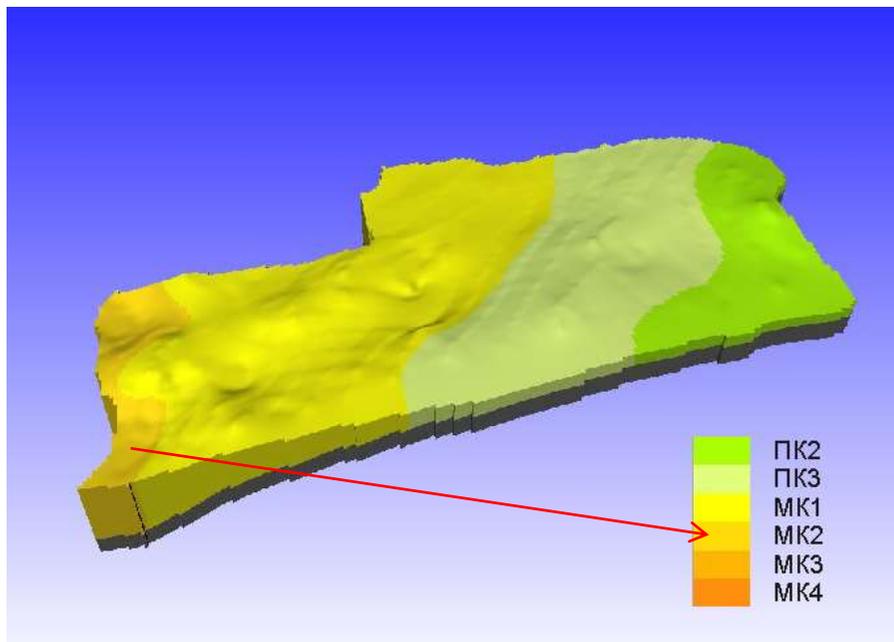
Масштабы генерации нефти в силурийских отложениях Калининградской области заметно увеличиваются с востока на запад. Это объясняется большими показателями степени катагенеза, а также увеличением мощности нефтематеринского горизонта.

Величины масштабов генерации жидких УВ достигают в западной части области 2-3,5 млн. т/км², а суммарные количество генерированных силурийской толщей жидких УВ оценивается в 8-9 млрд. т.

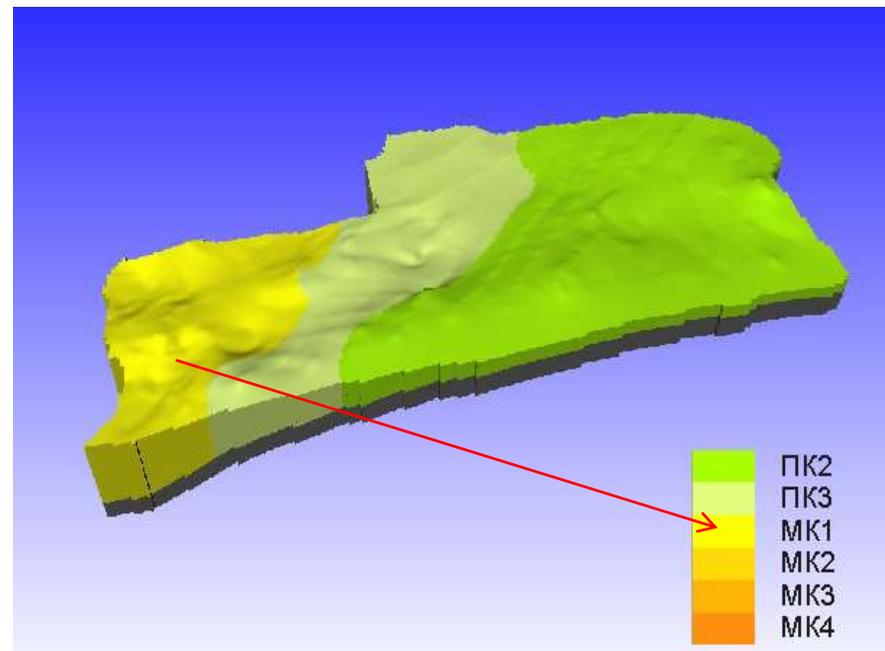
Согласно расчетам Т.К. Баженовой [Баженова и др., 2012], коэффициент эмиграции нефти из породы составлял 0,29-0,53, увеличиваясь с востока на запад. При этом, часть эмигрировавшей из нефтематеринской породы нефти не выходила за пределы нижнесилурийской сланцевой толщи, скапливаясь в наиболее благоприятных – с точки зрения накопления УВ – ее прослоях.

С учетом этих представлений, остаточный (на сегодняшний день) нефтяной потенциал нижнесилурийских отложений Калининградского региона оценивается нами в 2-4 млрд. т.

Следует отметить по интернет-источникам, что U.S. Energy Information Administration (независимое агентство «энергетическая информационная администрация» в составе Министерства энергетики США, которое собирает данные, анализирует их и составляет прогнозы по топливу) приводит схожие цифры по Калининградской области на май 2013 г.: 3137/164 млн. т сланцевой нефти в силурийских отложениях.



на конец триаса



на конец перми

Рис. 3. Расчетные градации катагенеза нижнесилурийских отложений в Калининградской области с учетом температурных палеоградиентов (до 50С/100м)

В заключении хотелось бы остановиться еще на одном аспекте, который может существенно повлиять на выбор объектов исследования. По данным [Сланцевый и другой..., 2012] самое большое содержание глинистых минералов на разрабатываемых «сланцевых» месторождениях Северной Америки не превышает 50%, поэтому для большинства продуктивных формаций подойдет название глинистый алевролит или кремнисто-глинистый алевролит.

Важным составляющим элементом сланцевых пород здесь является кремнезем, придающий породам хрупкость и улучшающие их фильтрационно-емкостные свойства.

В свете сказанного, перспективы силурийских толщ Калининградского региона могут быть переориентированы с преимущественно глинистых толщ на менее глинистые (мергелистые и алевролитовые) пачки нижнего силура как объекты первичной миграции/выдавливания нефти из нефтематеринских толщ в соседний низкопроницаемый коллектор с предельной пористостью 5-10% и проницаемостью до 10 мД.

К перспективным направлениям дальнейших исследований при изучении отложений нижнего силура как потенциального источника сланцевой нефти следует отнести, на наш взгляд, западную часть Балтийской нефтегазоносной области в пределах территории Калининградской области и юго-западную часть примыкающей акватории Балтийского моря.

Литература

Баженова Т.К., Шатино А.И., Васильева В.Ф., Отмас А.А. (старший) Геохимия органического вещества и генерация углеводородов в нижнесилурийских отложениях Калининградской области // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2012. - Т.7. - №2. - http://www.ngtp.ru/rub/1/18_2012.pdf

Макаревич В.Н., Вослюс В.М., Десятков В.М. Закономерности формирования и размещения залежей нефти в палеозойских отложениях Балтийской синеклизы. – Л.: ВНИГРИ. - 1984. - 177 с.

Макарова И.Р., Отмас А.А., Суханов А.А. Новые данные о составе органического вещества доманикоидных отложений силура калининградской области // Вестник ИГ КНЦ УрО РАН. - 2012. - №12. - С. 14-16.

Сланцевый и другой газ. Заметки издаека. Дата доступа 12.07.2012. - <http://slanceviy-glas.livejournal.com/43441.html>

Сланцевый газ, мифы и перспективы мировой добычи. - <http://pronedra.ru/gas/2011/12/23/slancevyj-gaz>.

EIA/ARI World Shale Gas and Shale Oil Resource Assessment. Дата доступа 17.05.2013. - www.eia.gov/analysis/.../pdf/chaptersviii_xiii.pdf.

Otmas A.A. (Senior), Volchenkova T.B., Bogoslovskiy S.A.

All-Russia Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), Saint Petersburg, Russia, ins@vnigri.ru

SILURIAN PELITIC LAYERS IN KALININGRAD REGION - A POSSIBLE TARGET FOR HYDROCARBON PROSPECTING

The oil source layers of the Silurian deposits in the Kaliningrad region, allocated due to geochemical data based on the distribution of dispersed organic matter, were studied. The catagenesis grade of these layers was examined using different methods. It was supposed that oil will be the main type of fluid during their possible development. The scope of generation and the residual potential of shale layers of the region were determined; perspective areas for research were outlined.

Key words: hydrocarbons, oil source layers, Silurian, catagenesis of organic matter, Kaliningrad region.

References

Bazhenova T.K., Shapiro A.I., Vasil'eva V.F., Otmas A.A. (Senior) *Geokhimiya organicheskogo veshchestva i generatsiya uglevodorodov v nizhnesiluriyskikh otlozheniyakh Kaliningradskoy oblasti* [Geochemistry of organic matter and hydrocarbon generation in the Lower Silurian deposits of the Kaliningrad region]. Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika, 2012, vol. 7, no. 2, available at: http://www.ngtp.ru/rub/1/18_2012.pdf

Makarevich V.N., Vosilyus V.M., Desyatkov V.M. *Zakonomernosti formirovaniya i razmeshcheniya zalezhey nefi v paleozoyskikh otlozheniyakh Baltiyskoy sineklizy* [The regularities of formation and distribution of oil deposits in the Paleozoic sediments of the Baltic syncline]. Leningrad: VNIGRI, 1984, 177 p.

Makarova I.R., Otmas A.A., Sukhanov A.A. *Novye dannye o sostave organicheskogo veshchestva domanikoidnykh otlozheniy silura kaliningradskoy oblasti* [New data on the composition of organic matter of Domanikoid Silurian sediments of the Kaliningrad region]. Vestnik IG KNTs UrO RAN, 2012, no. 12, p. 14-16.

Slantsevyi i drugoy gaz. Zametki izdaleka [Shale and other gas. Notes from afar]. Retrieved 12th July 2012, available at: <http://slanceviy-glas.livejournal.com/43441.html>

Slantsevyi gaz, mify i perspektivy mirovoy dobychi [Shale gas, myths and prospects of world production]. Available at: <http://pronedra.ru/gas/2011/12/23/slancevyj-gaz>.

© Отмас А.А. (старший), Волченкова Т.Б., Богословский С.А., 2013