

## НАЧАЛЬНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ УГЛЕВОДОРОДОВ ШЕЛЬФА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

**А.Ф. Сафронов, А.И. Сивцев, О.Н. Чалая, И.Н. Зуева, А.Н. Соколов, Г.С. Фрадкин**

*Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677891, Якутск, ул. Октябрьская, 1, Россия*

Формирование пассивной континентальной окраины моря Лаптевых (Лаптевская плита), которая до верхнего мела являлась частью Сибирской платформы, связано с проявлением позднемезозойско-кайнозойского рифтогенеза Арктической геодепрессии. Режим пассивной континентальной окраины продолжается и в настоящее время. Максимальная толщина отложений этого возраста превышает, по видимому, 6 км в северо-восточной части шельфа.

Оценены прогнозные ресурсы УВ позднедокембрийско-кайнозойских отложений, слагающих чехол Лаптевской плиты. С позиций представлений о близости истории развития Лаптевской плиты и Вилуйской синеклизы использованы геохимические характеристики РОВ одновозрастных отложений Вилуйской синеклизы.

*Шельф моря Лаптевых, история развития континентальной окраины, потенциальные ресурсы углеводородов.*

### INITIAL GEOLOGIC HYDROCARBON RESOURCES OF THE LAPTEV SEA SHELF

**A.F. Safronov, A.I. Sivtsev, O.N. Chalaya, I.N. Zueva, A.N. Sokolov, G.S. Fradkin**

Formation of the passive continental margin of the Laptev Sea (Laptev Plate), which was part of the Siberian Platform till the Late Cretaceous, was related to the Late Mesozoic–Cenozoic rifting of the Arctic geodepression. The regime of the passive continental margin still continues. The maximum thickness of the deposits of this age seems to exceed 6 km in the northeastern part of the shelf.

The hydrocarbon resources of the Late Precambrian–Cenozoic deposits forming the Laptev Plate cover are evaluated. Based on the concept of the similar evolution of the Laptev Plate and Vilyui syncline, the geochemical characteristics of dispersed organic matter of the coeval deposits of the Vilyui syncline are used.

*Laptev Sea shelf, evolution of continental margin, potential hydrocarbon resources*

### ВВЕДЕНИЕ

Континентальные окраины Северного Ледовитого океана, в том числе и Российского сектора, рассматриваются как важнейший резерв углеводородного сырья XXI в. В составе Российского арктического сектора выделяется пассивная континентальная окраина моря Лаптевых. На настоящий момент это одна из самых слабоизученных акваторий. Вместе с тем ряд прогнозно-поисковых критериев свидетельствует о достаточно высокой перспективности как шельфа моря Лаптевых, так и прилегающих континентальных территорий. Достаточно упомянуть крупнейшее в РФ Оленекское месторождение природных битумов, нефтяные залежи в структурах Анабаро-Хатангской седловины.

### ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ШЕЛЬФА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

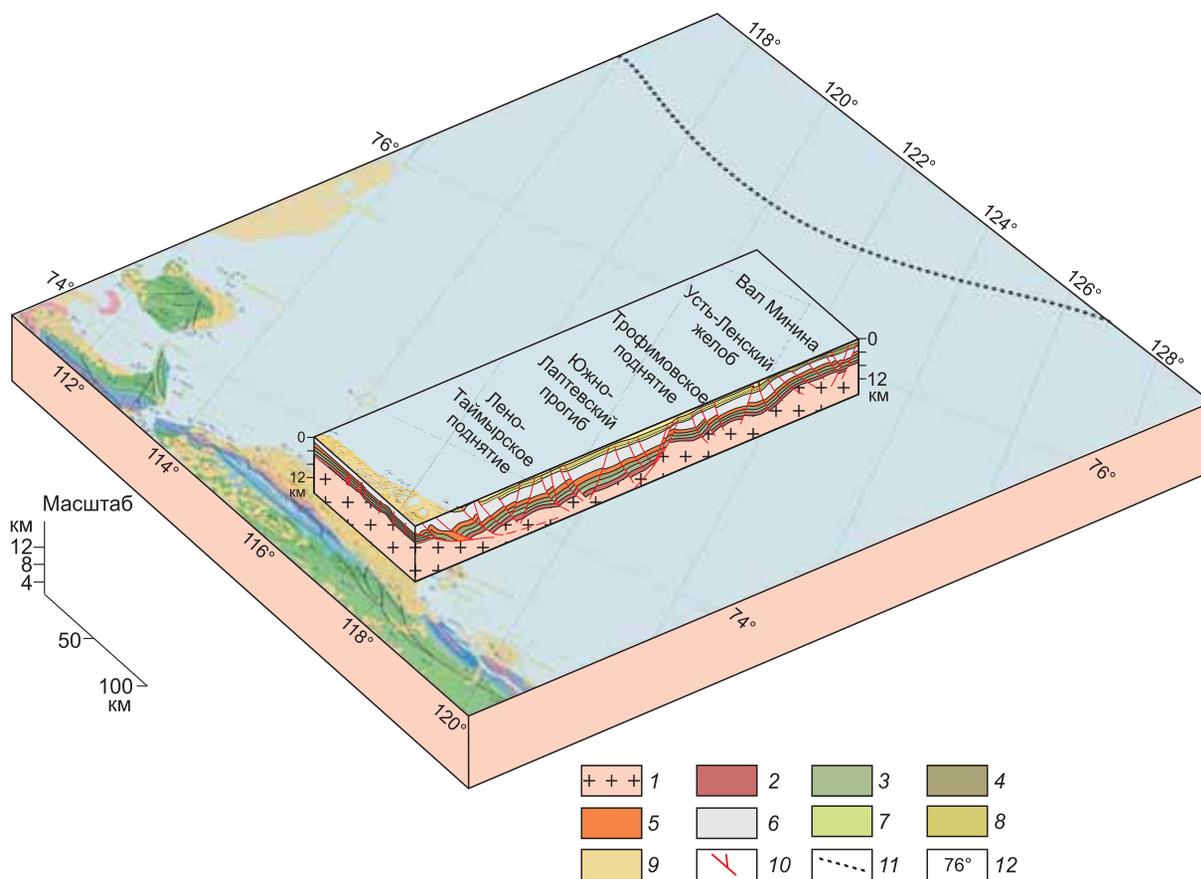
Геологическая интерпретация геофизических материалов акватории моря Лаптевых подтвердила высказанное Т.Н. Спижарским еще в 1958 г. предположение о том, что Лаптевская плита (мегаблок) является частью Сибирской платформы [Спижарский, 1958]. По В.А. Виноградову [1967] и Ю.Е. Погребницкому [1971] Лаптевский блок был отделен от Сибирской платформы Оленекским авлакогеном в раннекаменноугольную эпоху. В.А. Литинским [1977] было высказано предположение о существовании над Оленекским авлакогеном крупной синеклизы, образованной Лено-Анабарским и Южно-Лаптевским прогибами. Акваториальным продолжением Сибирской платформы считают западную и восточную части шельфа моря Лаптевых сотрудники ВНИИОкеангеологии [Ким и др., 2007, 2011; Евдокимова и др., 2008]. В развитие изложенных представлений нами [Сафронов, 1981] была выделена Оленекская (Лаптевская) синеклиза. Однако, в отличие от предыдущих исследователей, мы считаем, что Лаптевский блок от Сибирской платформы был отделен в верхнем мелу, а в течение практически всего фанерозоя развивался как единое целое в составе Сибирского кратона.

Лено-Анабарский прогиб с таких позиций нами рассматривается как южный борт Оленекской синеклизы, формировавшейся в пределах Лаптевской плиты (мегаблока). Следовательно, историю гео-

логического развития шельфа моря Лаптевых надо рассматривать в неразрывной связи с историей геологического развития восточной части Сибирской платформы. И, соответственно, представления о составе, строении и распределении толщин доверхнемеловых отложений в пределах Лаптевской плиты в первом приближении можно получить при рассмотрении состава и строения доверхнемелового разреза отложений Лено-Анабарского прогиба.

В строении осадочного чехла восточной части Сибирской платформы принимают участие отложения широкого стратиграфического диапазона — от среднего рифея до кайнозоя, который подразделяется на пять структурно-вещественных мегакомплексов [Структура..., 1985]. С позиций бассейнового подхода осадочный чехол восточной части Сибирской платформы слагают отложения, совпадающие на значительной части рассматриваемой территории в вертикальной проекции, трех однотипных по генезису рифейско-нижнепалеозойского, среднепалеозойско-нижнемезозойского и кайнозойского осадочно-породных бассейнов (ОПБ), являвшихся и являющимися частями древних и современной пассивных континентальных окраин. Назовем их, с известной степенью условности, в связи с нестрогостью применяемого критерия, как соответственно: «каледонский», «герцинский» и «кайнозойский» ОПБ. Для этих ОПБ характерна одна и та же стадийность развития — рифтовая, пассивно-окраинная, коллизионная и постколлизионная [Сафронов, 1987, 1992]. Если первых два возрастных уровня ОПБ прошли все эти стадии соответственно: рифейский и девонский рифтогенез, вендскую и каменноугольно-верхнеюрскую пассивно-окраинную; кембрийскую и верхнеюрско-нижнемеловую коллизионную стадии, нижнепалеозойскую и третично-кайнозойскую постколлизионную стадии, то кайнозойский уровень прошел только рифтовую (позднемеловую-третичную) стадию и находится в настоящее время в пределах Лаптевской плиты на пассивно-окраинной стадии (рисунок).

В соответствии с высказанным представлением о том, что шельф моря Лаптевых (Лаптевская плита) являлся частью восточной части Сибирской платформы до верхнего мела, можно в общих чертах представить и историю геологического развития Лаптевской плиты (большая часть современного шельфа



**Панорамная блок-диаграмма строения осадочного чехла шельфа моря Лаптевых (построена по материалам [Ким и др., 2011] с упрощениями).**

1 — фундамент; отложения: 2 — рифей-вендские, 3 — кембрийские, 4 — ордовикско-среднедевонские, 5 — верхнедевонские, 6 — каменноугольно-нижнемеловые, 7 — верхнемеловые, 8 — палеогеновые, 9 — неоген-четвертичные; 10 — разрывные нарушения; 11 — бровка шельфа; 12 — угловые координаты.

фа моря Лаптевых). При этом мы считаем, что территория современного Лено-Анабарского прогиба являлась южным бортом синеклизы (Оленекской), располагавшейся на Лаптевской плите. Предполагается, что эта синеклиза развивалась по близкой к Вилуйской синеклизе схеме [Сафронов, 1987, 1994, 2011].

Формирование кайнозойской пассивной континентальной окраины в пределах Лаптевской плиты связано с проявлением поздне мелового-кайнозойского этапа рифтогенеза в пределах всей Арктической геодепрессии. Раскрытие Евразийского бассейна на рубеже позднего мела и палеогена привело к погружению территории современного шельфа моря Лаптевых, которая еще в нижнем мелу представляла собой аккумулятивную приморскую равнину, аналогичную существовавшей в это же время на территории современной Вилуйской синеклизы. В этот период формируется рифтовая система субмеридионального направления в виде узких трогов, разделяющих в настоящее время шельфы моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. Небольшие, неглубокие трог (Кенгдейский грабен) прослеживаются и на современной континентальной части рассматриваемой территории. В настоящее время «кайнозойский» ОПБ в пределах шельфа моря Лаптевых находится на пассивно-окраинной стадии. По общегеологическим оценкам и результатам морской сейсмоки можно предположить накопление в некоторых частях шельфа моря Лаптевых поздне меловых-кайнозойских отложений толщиной до 5 км, а в пределах зоны Усть-Ленского желоба до 6 км. Не исключено, что Усть-Ленский желоб и Омолойский прогиб развиваются по самой северной ветви Предверхоанского прогиба, формировавшегося в верхней юре—нижнем мелу в зоне сочленения Лаптевской плиты с мезозойским орогенным поясом. На этапе формирования «кайнозойского» ОПБ в пределах континентальной части рассматриваемой территории резко усилились процессы восходящих тектонических движений.

О начале пассивно-окраинной стадии развития Лаптевской плиты можно только предполагать. Скорее всего, эта стадия начинается в эоцене. Режим пассивной континентальной окраины продолжается и в настоящее время. Максимальная толщина отложений этой стадии, по-видимому, превышает 6 км в наиболее погруженной зоне Усть-Ленского желоба.

Режим растяжения привел к резкой смене структурного плана — северо-восточное простирание структур I порядка Лаптевской плиты, сложенных верхне докембрийскими-нижнемеловыми отложениями, сменилось преобладанием северо-западного простирания структур I порядка, сложенных датскими-плейстоценовыми отложениями.

По-видимому, современный структурный план Лаптевской плиты сформировался в процессе позднепалеоценовой компрессии (по В.Е. Хаину). «Отколовшийся от Баренцево-Карско-Лаптевского шельфа хребет Ломоносова занял свое современное положение между Новосибирским архипелагом, сместившись к востоку вдоль Хатангско-Ломоносовского трансформного разлома» [Хаин и др., 2009, с. 163]. Про правосторонний сдвиг по этой зоне в палеоцен-эоценовое время пишет и Н.А. Малышев с соавторами [Малышев и др., 2009]. На наш взгляд, в результате этого процесса Лаптевская плита подверглась сжатию, испытала поворот по часовой стрелке и была надвинута на современную осевую часть Лено-Анабарского прогиба (о чем можно судить по уменьшению степени дислоцированности складок при движении от Дюлонгского антиклинория (Оленекская протока) на запад до хр. Прончищевых).

Современная структура осадочного чехла датских-кайнозойских отложений Лаптевской плиты сложена чередующимися положительными (горсты, валы) и отрицательными (грабены, впадины) структурами, как отмечалось выше, северо-западного простирания.

## ОЦЕНКА НАЧАЛЬНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ

Степень изученности геологического строения шельфа моря Лаптевых еще крайне низка. Начальные сырьевые ресурсы шельфа моря Лаптевых, по оценкам разных специалистов, 3,8 млрд т.у.т.

Чаще всего в основе оценки потенциальных ресурсов углеводородов (УВ) для неизученных территорий используется объемно-статистический метод. К примеру, известна формула М.Ф. Двали и Т.П. Дмитриевой [Контрович, 1976]:

$$Q = a V,$$

где  $Q$  — начальные ресурсы УВ (т.у.т.),  $V$  — объем осадочного выполнения ( $\text{км}^3$ ). Коэффициент  $a$  для платформенных бассейнов в этой формуле составляет  $15470 \text{ т/км}^3$ . Зная  $Q$  и коэффициент  $a$ , определим объем осадочного выполнения, который мог бы обеспечить известную величину потенциальных запасов УВ шельфа моря Лаптевых. Получаем 206 тыс.  $\text{км}^3$ . В соответствии с нашими построениями этот объем примерно соответствует объему датских-четвертичных отложений шельфа моря Лаптевых. А если из этого объема вычесть объем отложений, еще не попавших в ГЗН, то можно предположить, что генерационный потенциал мезозойских, палеозойских и верхне докембрийских отложений шельфа моря Лаптевых превышает известную на настоящее время величину начальных сырьевых ресурсов шельфа моря

Лаптевых. Б.И. Ким с соавторами [Ким и др., 2011] приводят суммарный объем пород в очагах генерации УВ на шельфе моря Лаптевых, равный 476280 км<sup>3</sup>. По вышеупомянутой статистической зависимости начальные ресурсы УВ в этом случае составят 7.36 млрд т.у.т. Расхождение существенное.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Попробуем, с известной долей условности, оценить прогнозные ресурсы УВ позднедокембрийских-нижнемезозойских отложений, слагающих разрез Лаптевской плиты, с позиций близости истории геологического развития Лаптевской плиты и Виллойской синеклизы. Используем для этого геохимические характеристики РОВ позднепалеозойских и нижнемезозойских отложений Виллойской синеклизы.

Коэффициенты отдачи микронефти материнскими породами рассчитаны по уравнениям материального баланса, предложенным С.Г. Неручевым [1969].

Были использованы полученные нами в разные годы результаты геохимических исследований рассеянного органического вещества (РОВ) Виллойской синеклизы из верхнепермских отложений, содержащих РОВ сапропелито-гумитового типа, и нижнеюрских (верхнелейасовых) пород с РОВ гумито-сапропелитового типа.

Массу ХБ (или микронефти), эмигрировавших из аргиллитов верхнепермских отложений, определяли по формуле [Контрович, 1976]:

$$Q_{эм} = [(0.01K_{эм}/(1 - K_{эм})) \rho HSb],$$

где  $b = \alpha X_{ост}$  — выход остаточного битумоида на породу (%);  $K_{эм}$  — коэффициент отдачи микронефти из материнских пород нефтепроизводивших толщ;  $H$  — мощность пород нефтепроизводившей свиты;  $S$  — площадь.

В силу специфики анализа при горячей экстракции хлороформенных битумоидов (ХБ) из пород теряются их легкие фракции, поэтому в величину  $Q_{эм}$  введена поправка на низкокипящие фракции. Обычно ее берут с учетом их содержания в нефтях региона (в нашем случае коэффициент потерь — 1.5 для верхнепермских и 1.67 — для нижнеюрских нефтей).

Для позднепалеозойских и нижнеюрских отложений Виллойской синеклизы было установлено, что объемная плотность массы битумоидов, эмигрировавших из материнских пород верхнепермских отложений, увеличивается от 0.23 до 1.08 кг/м<sup>3</sup> с нарастанием стадии катагенеза РОВ от МК<sub>1</sub> до МК<sub>2-3</sub>. На стадии МК<sub>3</sub> она уменьшается до 0.35 и падает до 0.09 кг/м<sup>3</sup> на МК<sub>4</sub>. Объемная плотность массы битумоидов, эмигрировавших из материнских пород верхнелейасовых отложений, изменяется от 0.42—0.43 кг/м<sup>3</sup> на стадии ПК до 0.58 кг/м<sup>3</sup> на стадии МК<sub>1</sub>, что составляет около 50 % от массы микронефти, генерированной этим типом ОВ.

Эти данные нами были использованы при определении возможных масштабов эмиграции микронефти из отложений, слагающих Лаптевскую плиту. Для расчетов нами брались только алевритоглинистые отложения. Соотношение алевритоглинистых и песчаных пород Лаптевской плиты в конкретных возрастных интервалах принималось аналогичным наблюдаемому в разрезах Лено-Анабарского прогиба.

Степень верифицируемости получаемых в результате таких расчетов величин во многом определяется объемом отложений, побывавших в ходе геологической истории в зонах генерации жидких и газообразных углеводородов, и количеством ОВ, захороненного в этих отложениях.

На основе построенных нами палеогеографических схем арктических территорий северо-восточной части Сибирской платформы и прилегающего шельфа моря Лаптевых, были приняты для расчетов следующие толщины алевритоглинистых отложений (генераторов УВ): верхний докембрий—венд — 0.8 км, нижний—средний палеозой — 0.5 км, пермь — 1 км, триас — 0.2 км, юра—нижний мел — 0.9 км, верхний мел—палеоген — 1 км. Средние содержания  $C_{орг}$  были приняты для верхнего докембрия—венда — 0.12 %, нижнего—среднего палеозоя — 0.30 %, перми — 1.31 %, триаса — 0.20 %, юры—нижнего мела — 1.70 %, верхнего мела—палеогена — 0.10 %. Суммарный объем алевритоглинистых отложений верхнего докембрия—кайнозоя, слагающих осадочный чехол шельфа моря Лаптевых и прошедших в ходе геологической эволюции стадии генерации жидких и газообразных УВ, по нашим расчетам, составляет 528732 км<sup>3</sup>.

Исходя из полученных нами для Виллойской синеклизы величин объемной плотности массы эмигрировавших битумоидов из материнских алевритоглинистых пород, в верхнедокембрийских-кайнозойских отложениях масса генерированных битумоидов могла составить 277 млрд т.у.т и масса генерированных УВ газов могла составить 206 млрд т.у.т.

Если принять, что объем аккумулированных УВ составляет 1 % от всей генерированной массы УВ, то получим величину потенциальных начальных ресурсов, равную 4.83 млрд т.у.т.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные расчеты прогнозных начальных сырьевых ресурсов УВ на шельфе моря Лаптевых, несмотря на определенную их условность, позволяют сделать вывод о том, что начальные сырьевые ресурсы (НСР) шельфа моря Лаптевых заметно выше оцениваемых ранее в 3.8 млрд т.у.т.

Работа выполнена в рамках госбюджетной программы VII.59.1.2. «Геология, история развития и нефтегазоносность северо-восточного сектора Арктики РФ и прилегающих территорий моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря».

## ЛИТЕРАТУРА

**Виноградов В.А.** Особенности строения и истории формирования мезозойских прогибов северо-восточного обрамления Сибирской платформы // Геологическое строение и нефтегазоносность восточной части Сибирской платформы и прилегающих прогибов. Л., Недра, 1967, с. 153—156.

**Евдокимова Н.К., Яшин Д.С., Ким Б.И.** Углеводородный потенциал отложений осадочного чехла шельфов восточно-арктических морей России (Лаптевых, Восточно-Сибирского) // Геология нефти и газа, 2008, № 2, с. 3—12.

**Ким Б.И., Евдокимова Н.К., Супруненко О.И., Яшин Д.С.** Нефтегеологическое районирование шельфа восточно-арктических морей России и перспективы их нефтегазоносности // Геология нефти и газа, 2007, № 1, с. 49—59.

**Ким Б.И., Евдокимова Н.К., Харитонов Л.Я., Иванова М.Н., Полищук Л.А.** Осадочный чехол шельфа моря Лаптевых и его нефтегазовый потенциал // Геология нефти и газа, 2011, № 6, с. 116—131.

**Конторович А.Э.** Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. М., Недра, 1976, 250 с.

**Литинский В.А.** О сочленении северной части Предверхоаянского прогиба и Верхоаянского антиклинория по гравиметрическим данным // Геология и нефтегазоносность мезозойских прогибов севера Сибирской платформы. Л., НИИГА, 1977, с. 40—58.

**Малышев А.Н., Барина Е.М., Ихсанов Б.И., Бородулин А.А., Обметко В.В.** Результаты переинтерпретации объединенных сейсмических данных по акватории моря Лаптевых // Геология полярных областей Земли. Материалы XLII тектонического совещания. Т. 2, 2009, с. 30—32.

**Неручев С.Г.** Нефтепроизводящие свиты и миграция нефти. Л., Недра, 1969, 240 с.

**Погребницкий Ю.Е.** Палеотектонический анализ Таймырской складчатой системы. Л., Недра, 1971, 248 с.

**Сафронов А.Ф.** Генетическая природа Лено-Анабарского нефтегазоносного осадочного бассейна // Осадочные бассейны и их нефтегазоносность. Тез. докл. М., Изд-во Моск. ун-та, 1981, с. 64—65.

**Сафронов А.Ф.** История нефтегазообразования и нефтегазоаккумуляции в краевых системах севера Тихоокеанского пояса: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. М., 1987, 36 с.

**Сафронов А.Ф.** Историко-генетический анализ процессов нефтегазообразования (на примере востока Сибирской платформы). Якутск, Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1992, 145 с.

**Сафронов А.Ф.** Модель строения пассивной континентальной окраины моря Лаптевых // Горные ведомости, 2011, № 6, с. 78—81.

**Спижарский Т.Н.** Тектоника. Сибирская платформ // Геологическое строение СССР. Т. 3. М., Госгеолтехиздат, 1958, с. 35—47.

**Структура** и эволюция земной коры Якутии / Ред. В.В. Ковальский. М., Наука, 1985, 248 с.

**Хаин В.Е., Филатова Н.И., Полякова И.Д.** Тектоника, геодинамика и перспективы нефтегазоносности восточно-арктических морей и их континентального обрамления. М., Наука, 2009, 227 с.

*Поступила в редакцию*

*12 мая 2012 г.*