

Влияние температур поверхности на зрелость нефтематеринской породы: Пример из арктической зоны

С. Нелскамп, Т. Дондерс, Дж.-Д. Ван Уис, О. Аббинк

Influence of Surface Temperatures on Source Rock Maturity: An Example from the Russian Arctic

S. Nelskamp, T. Donders, J.-D. van Wees, O. Abbink

Введение

В сентябре 2004 года, первое за всю историю бурение на хребте Ломоносова (Арктическая экспедиция для бурения с отбором керна, ACEX, или экспедиция IODP 302, рис. 1а) выявило беспрецедентную картину образования осадочных пород в центральной части Северного Ледовитого океана, охватывающего период в последние ~56 миллионов лет. При помощи палеонтологических и геохимических методик впервые оказалось возможным задокументировать развитие центральной Арктики. Экологическая обстановка и палео-климатическое эволюционирование оказались весьма отличными от того, что предполагалось до проведения бурильных работ. С использованием нового палео-климатического постепенного изменения, в целях того, чтобы показать влияние палео-температур на температуру и историю зрелости данного региона, было произведено прогнозирование тектонического палео-теплого потока в зоне Карского моря.

Цели

Западно-Сибирский бассейн является одним из самых больших интра-кратонных бассейнов в мире и также представляет собой самую богатую нефтегазоносную провинцию России. Этот бассейн охватывает площадь приблизительно в 2,2 миллиона квадратных километров, и он располагается между широтами 55 и 75. В целях изучения влияния температур на поверхности на зрелость нефтематеринской породы в северной части бассейна, в Карском море (рис. 1а), был создан и смоделирован резервуар с 5 различными температурными кривыми поверхности от различных источников. Постепенное изменение температуры на поверхности в сочетании с процессами постепенного изменения бассейна определяют геотермальное

Introduction

In September 2004, the first-ever drilling of the Lomonosov Ridge (Arctic Coring Expedition, ACEX, or IODP Expedition 302, Fig. 1a) recovered unprecedented sedimentary records of the central Arctic Ocean spanning the past ~56 Ma. With paleontological and geochemical techniques it has been possible to document the long-term development of the central Arctic for the first time. The environmental setting and paleo-climatic evolution turn out very different from that expected prior to the drilling operation. With the help of the new paleo-climatic evolution a tectonic paleo-heat flow prediction of the Kara Sea area was performed to show the influence of paleo-temperatures on the temperature and maturity history of that region.

Aim

The West Siberian Basin is one of the largest intra-cratonic basins of the world and is also the richest petroleum province of Russia. It covers an area of approximately 2.2 million km² and is situated between latitude 55 and 75. In order to study the effect of surface temperatures on the maturity of the source rock, a synthetic well in the northern part of the basin, the Kara Sea (Fig. 1a) was created and modeled with 5 different surface temperature curves from different sources. Surface temperature evolution coupled with basin evolution processes determines the geothermal and associated maturity evolution.

Methods

PetroProb

To predict geothermal and maturity evolution, a recently developed coupled lithosphere and basin thermal model has been used (PetroProb, Van Wees et al., 2009). PetroProb is capable of calculating tectonic basement heat flows, incorporating a variety of tectonic scenarios (including rifting, underplating, mantle upwelling), and capable of

постепенное изменение и связанное с этим постепенное изменение зрелости.

Методы

PetroProb

Для прогнозирования геотермального постепенного изменения и постепенного изменения зрелости была использована недавно разработанная объединенная литосферно-бассейновая термальная модель (PetroProb, Van Wees et al., 2009). PetroProb обеспечивает возможности для расчета тепловых потоков тектонических подстилающих пород, включая сюда большое разнообразие тектонических сценариев (включая раскалывание, подслаивание, подъем мантии), и обеспечивает возможности для включения обратных влияний отложений и изменений температур на поверхности на тепловые потоки в подстилающих породах и температуры бассейна. Данная модель инвертирует обстановку осадконакопления, калиброванную под данные по температурам и зрелости. Анализ калибровки и чувствительности выполняются при помощи выборочного анализа Monte Carlo с использованием экспериментального метода расчёта для обеспечения эффективности вычислений.

Палео-температуры

Для определения возраста отложений, в особенности останков динофлагеллятных цист (диноцист) использовался палинологический анализ, а для обеспечения стратиграфического подразделения ключевыми элементами были диатомовые водоросли. Данные останки диноцист и наземных растений (главным образом пыльца и споры) обеспечивают важную информацию по палео-климатическому эволюционированию бассейна. Такой анализ дополняется данными по органической геохимии, которые проливают свет на происхождение и (изотопный) состав органических веществ в отложениях. Дополнительно к этому мы использовали заново разработанный палео-термометр TEX_{86} , который в своей работе основывается на относительном распределении кренаркаэталных мембранных липидов (Schouten et al., 2002). Калибровка TEX_{86} основывается на 104 морских приповерхностных отложениях и, как выясняется, очень хорошо коррелирует со средним годовым значением SST: $TEX_{86} = 0,016 \times SST + 0,20$, при $R^2 = 0,93$. Данное уравнение использовалось для преобразования TEX_{86} в SST.

Результаты

В моделировании нефтеносных систем расчет зрелости нефтематеринской породы главным образом зависит от базисного теплового потока, температуры поверхности раздела седиментационной воды (SWIT), теплопроводности и выработки радиогенного тепла породой в системе. Два последних параметра обычно определяются использующимися различными по

including feedback effects of sedimentation and surface temperature variation on basement heat flow and basin temperatures. The model inverts burial histories, calibrated to temperature and maturity data. Calibration and sensitivity analysis are done through Monte Carlo sampling analysis using an experimental design technique for computational efficiency.

Paleo-temperatures

Palynological analyses were used for deriving sediment ages, especially the remains of dinoflagellate cysts (dinocysts) and diatoms were keys in providing a stratigraphic framework. Both dinocysts and terrestrial plants remains (mainly pollen and spores) provide important information on the paleo-climatic evolution of the basin. These analyses are complemented by organic geochemical data that provide origin and (isotopic) composition of organic matter in the sediments. We summarised all available data from the newly developed paleo-thermometer TEX_{86} , which is based on the relative distribution of crenarchaeotal membrane lipids (Schouten et al., 2002). Calibration of the TEX_{86} is based on 104 marine surface sediments and found to correlate very well with annual mean SST: $TEX_{86} = 0.016 \times SST + 0.20$ with $R^2 = 0.93$. This equation was used to convert TEX_{86} into SST.

Results

In petroleum systems modeling the calculation of the maturity of a source rock is mainly dependent on the basal heat flow, the sediment water interface temperature (SWIT), the thermal conductivity and the radiogenic heat production of the rocks in the system. The latter two parameters are usually defined by the used lithologies while the first two are considered user input. With our setup we want to stress the importance of good constraints on these values.

A detailed analysis of palynological proxies leads to a detailed surface temperature curve which can be used as input data for the SWIT curve in petroleum systems modeling. The analysis of the newly acquired data from the arctic at latitude 85 have revealed the successful recovery of the Paleocene - Eocene transition, with the occurrence of an *Apectodinium augustum* acme and a prominent, 6‰ drop in stable carbon isotopes of bulk organic carbon ($\delta^{13}C$ TOC) at the Paleocene Eocene Thermal Maximum (PETM) some 55.5 Ma ago (Fig. 1c). This finding contrasts predictions, which had placed the base of the sediment column, above Cretaceous basement, at 50 Ma. During the PETM the dinocyst and TEX_{86} paleo-thermometer records show combined increased runoff and sea level rise and a subtropical Arctic Ocean, with sea surface temperatures of $\sim 23^\circ C$ (Sluijs et al., 2006).

Other Paleogene highlights also include the recovery of the Eocene Thermal Maximum 2 (aka ELMO ~ 53.5 Ma). Dinocyst assemblages show a freshening of Arctic Ocean surface waters, while TEX_{86} -derived paleo-sea surface temperatures rise from $\sim 18 - \sim 22^\circ C$ and palm

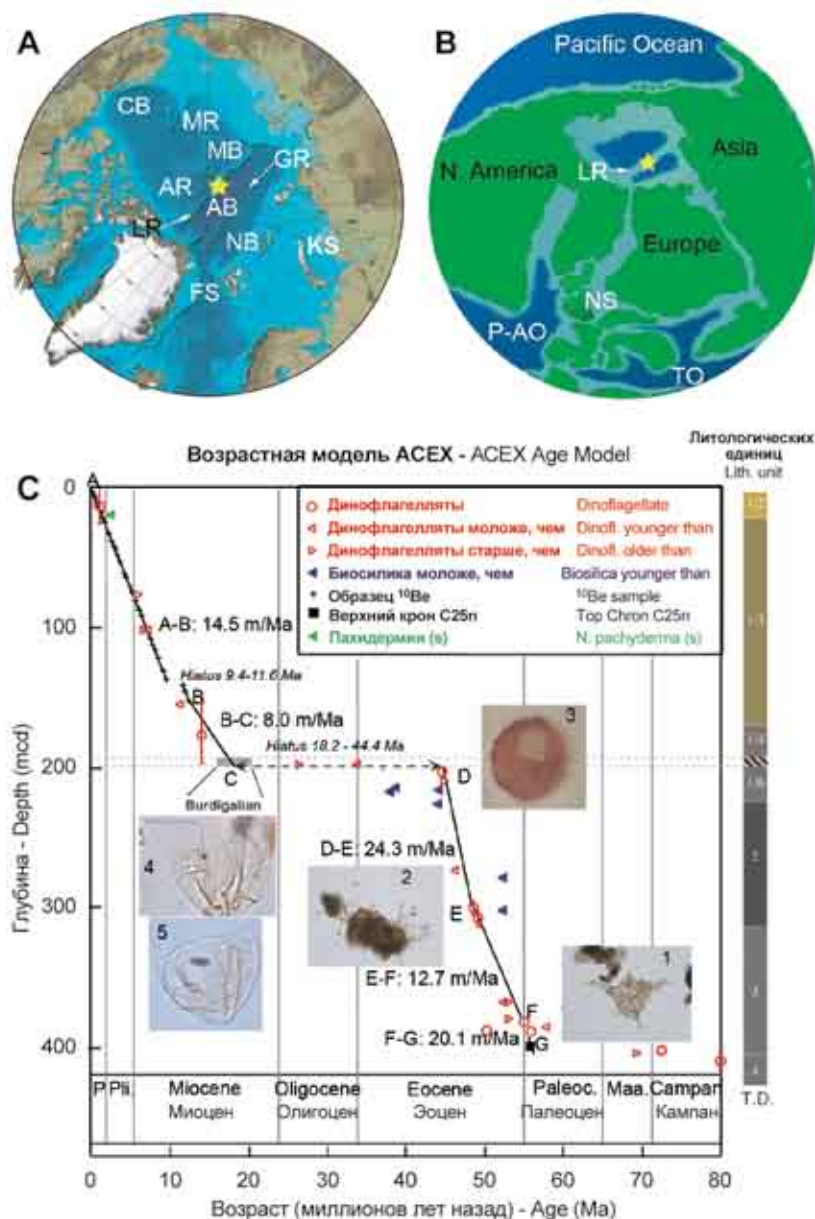


Figure 1: A) Arctic Ocean map (modified from International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean, Jakobsson et al., 2000), with indication of the Arctic sub-basins and ridges: AR, Alpha Ridge; FS, Fram Strait; GR, Gakkel Ridge; KS, Kara Sea; LR, Lomonosov Ridge; MR, Mendeleev Ridge; MB, Makarov Basin; NB, Nansen Basin; AB, Amundsen Basin; CA, Canada Basin. Star indicates the location of IODP 302 drilling on the LR; B) Location of drilling within the early Eocene paleo-geographical reconstruction of the Arctic Ocean (Brinkhuis et al., 2006) TO, Tethyan Ocean; P-AO, Proto-Atlantic Ocean; NS, North Sea; C) ACEX age model (modified from Backman et al., 2008) with indication of the Lithologic Units (Lith. Unit) and sub-units (Expedition 302 Scientists, 2006). Pictures of the dinoflagellate cysts *Apectodinium augustum* (1), *Phthanoperidinium clithridium* (3), *Arcticacysta backmanii* (4), *A. moraniae* (5) and the remains of *Azolla* (2) used as biostratigraphical markers are also shown. The palynological events considered in building the age model in the early Cenozoic are: Last Occurrence (LO) of *A. augustum* (F), LO of *Azolla* (E), Last Abundant Occurrence of *P. clithridium* (D) and the mid point of the Burdigalian stage where *A. backmanii* and *A. moraniae* occur (C). The oldest identified paleomagnetic chron datum (top of magnetochron C25n, Chron C25n), (G) deepest Berillium-10 samples (B) and top of the section (A) on which the age model is based are also shown. TD: Terminal Depth. Depth scale in meters composite depth (mcd)

Рисунок 1: А) Карта Северного Ледовитого океана (получена путем изменения международной батиметрической карты Северного Ледовитого океана, Jakobsson et al., 2000), с указанием арктических суббассейнов и хребтов: AR - хребет Альфа; FS - ущелье Фрэм; GR - хребет Гаккеля; KS - Карское море; LR - хребет Ломоносова; MR - хребет Менделеева; MB - котловина Макарова; NB - котловина Нансена; AB - котловина Амундсена; CA - канадская котловина. Звездой обозначено место бурения IODP 302 на хребте Ломоносова LR; В) Местоположение бурения в рамках эоценовой палеогеографической реконструкции Северного Ледовитого океана (Brinkhuis et al., 2006) TO - Тетисский океан; P-AO - Прото-Атлантический океан; NS - Северное море; С) Возрастная модель ACEX (изменено от Backman et al., 2008) с указанием литологических единиц (Lith. Unit) и суб-единиц (Специалисты экспедиции 302, 2006

г.). Показаны также изображения динофлагеллятных цист *Apectodinium augustum* (1), *Phthanoperidinium clithridium* (3), *Arcticacysta backmanii* (4), *A. moraniae* (5) и останков *Azolla* (2), используемых в качестве биостратиграфических маркеров. Палинологическими событиями, учитываемыми при построении возрастной модели в начале кайнозойской эры являются: Последний случай (LO) *A. augustum* (F), Последний случай *Azolla* (E), Последний обильный случай *P. clithridium* (D) и средняя точка бурдигальского яруса, когда имеют место *A. backmanii* и *A. moraniae* (C). Показаны также самая старая идентифицированная палеомагнитная хроновая отметка (вершина магнетокрона C25n, Chron C25n), (G) образцы самого глубокого Бериллия-10 (B) и вершина секции (A), на основе которых строится возрастная модель. TD: глубина конечной точки. Шкала глубин в метрах составной глубины (mcd)

составу осадочными породами, в то время, как первые два рассматриваются в качестве входных параметров от пользователя. Нашей схемой мы хотим подчеркнуть важность разумных ограничений по этим значениям.

Детальный анализ палинологических заместителей дает в результате подробную температурную кривую поверхности, которая может использоваться в качестве входных данных для кривой SWIT при моделировании нефтеносных систем. Анализ новых полученных данных из арктической зоны на широте 85 выявил успешное восстановление палеоцен - эоценового периода перехода, с кульминационной точкой *Apectodinium augustum* и значительным, 6‰-ным понижением по стабильным изотопам углерода у массового органического углерода ($d^{13}C$ TOC) во время Теплого максимума палеоцена – эоцена (PETM) около 55,5 миллионов лет назад (рис. 1с). Такой вывод контрастирует с прогнозами, которые относили основание столба осадочной породы, выше подстилающей породы мелового периода, к 50 миллионам лет назад. Во время PETM наши записи по диноцистам и палео-термометру TEX_{86} показывают повышенный сток и повышение уровня моря и субтропический Северный Ледовитый океан с температурой морской поверхности в пределах $\sim 23^{\circ}C$ (Sluijs et al., 2006).

vegetation suggests frost-free winters (Sluijs, personal comment). At the early – middle Eocene transition (~ 49 Ma) stunning concentrations of remains of the fresh water fern *Azolla* and freshwater tolerant dinocysts suggest that, at least episodically, completely fresh surface water settings characterized the Arctic Basin (Brinkhuis et al., 2006). During the middle Eocene, shifts in salinity and in ice-rafted debris follow a strong orbital driven cyclical pattern (Sangiorgi et al., 2008a). Moreover, dinocyst stratigraphy was instrumental in recognizing and assessing the ~ 26 Ma hiatus, which marks the transition from the greenhouse world to the icehouse world (Sangiorgi et al., 2008b). Sediment erosion and/or non-deposition that generated the hiatus were likely due to a progressive shoaling of the Lomonosov Ridge. Above the hiatus, a new Miocene dinocyst genus *Arcticacysta* (Sangiorgi et al., 2009) and higher than expected sea surface temperatures ($15-19^{\circ}C$) (Sangiorgi et al., 2008b) mark the recovery of sedimentation on the Lomonosov Ridge near the Miocene Climatic Optimum. The Neogene record has relatively low sedimentation rates and perennial glacial conditions starting from 14 Ma, after which the late Pliocene marked the start of continuous glaciation.

The new surface temperature curve from the Lomonosov Ridge was compared to surface temperatures generated from PetroMod® of IES/Schlumberger for the Eurasian arctic

Новое в методах проведения работ в стволе скважины



Использование новой технологии в России – забойный трактор

Забойный трактор «Well Tractor®» – это устройство для доставки аппаратов и приборов в скважину и проведения различных работ в ней. Замена устаревших методов на доставку при помощи каротажного кабеля явилось революцией в промышленности, в результате которой компании-операторы стали по-другому проектировать и бурить свои скважины.

По оценке одной из крупнейших нефтяных компаний, она экономит 50% от затрат на проведение ГИРС, когда эти работы выполняются с применением забойного трактора «Well Tractor®» вместо устаревших методов.

За дополнительной информацией пожалуйста обращайтесь

в главный офис «Welltec®» в России либо в региональные конторы. Генеральный директор Берущев С.Е. Телефон +7 499 943 5838, а также посетите интернет-сайт welltec.com

Предоставляемые услуги

Услуги, предоставляемые компанией Велтэк, имеют диапазон от доставки оборудования для ремонта скважинного оборудования в ствол скважины до проведения сложных работ в рамках ГТН и КРС, включая следующее:

- Открытие и закрытие клапанов
- Удаление твердых осадков, выбуренной породы и инородных веществ
- Постановка и снятие мостовых пробок
- Обеспечение оптимального регулирования дебита
- Фрезерование на каротажном кабеле
- Перфорация
- ГИС во время буксировки каротажных приборов забойным трактором
- Ловильные работы
- Очистка забоя и забойного оборудования от выносимого песка

Welltec®

Другие ключевые моменты палеогена также включают в себя восстановление Теплового максимума 2 эоценовой эпохи (называемого также ELMO ~53,5 миллионов лет назад). Накопления динацист указывают на опреснение поверхностных вод Северного Ледовитого океана, в то время, как определенные с использованием TEX_{86} температуры поверхности палео-моря поднимаются с ~18 до ~22 °C и пальмовая растительность указывает на зимы без минусовых температур (Sluijs), индивидуальные комментарии). В ранне-средний переходный эоценовый период (~49 миллионов лет назад) ошеломляющие концентрации останков пресноводных папоротникообразных *Azolla* и стойких к пресной воде

диноцист указывают на то, что, по крайней мере, эпизодически, Арктический бассейн характеризовался осаднениями из полностью пресных поверхностных вод (Brinkhuis et al., 2006). В период среднего эоцена, изменения в солености и в остатках органических веществ от больших плавучих льдин имеют сильно-выраженный орбитально-зависимый циклический характер (Sangiorgi et al., 2008 a). Дополнительно к этому стратиграфия диноцист оказалась полезным средством в распознавании и оценке перерыва в осадконакоплении ~26 миллионов лет назад, что указывает на переход от «тепличного» мира к миру «ледохранилища» (Sangiorgi et al., 2008 b). Эрозия отложений и/или необразование отложений, результатом чего стал упомянутый перерыв в осадконакоплении, наиболее вероятно обуславливаются прогрессирующим обмелением Хребта Ломоносова. Выше перерыва в осадконакоплении, новый вид миоценовых диноцист *Arcticacysta* (Sangiorgi et al., 2009) и более высокие, чем предполагалось, температуры поверхности моря (15-19 °C) (Sangiorgi et al., 2008 b) указывают на возобновление отложений

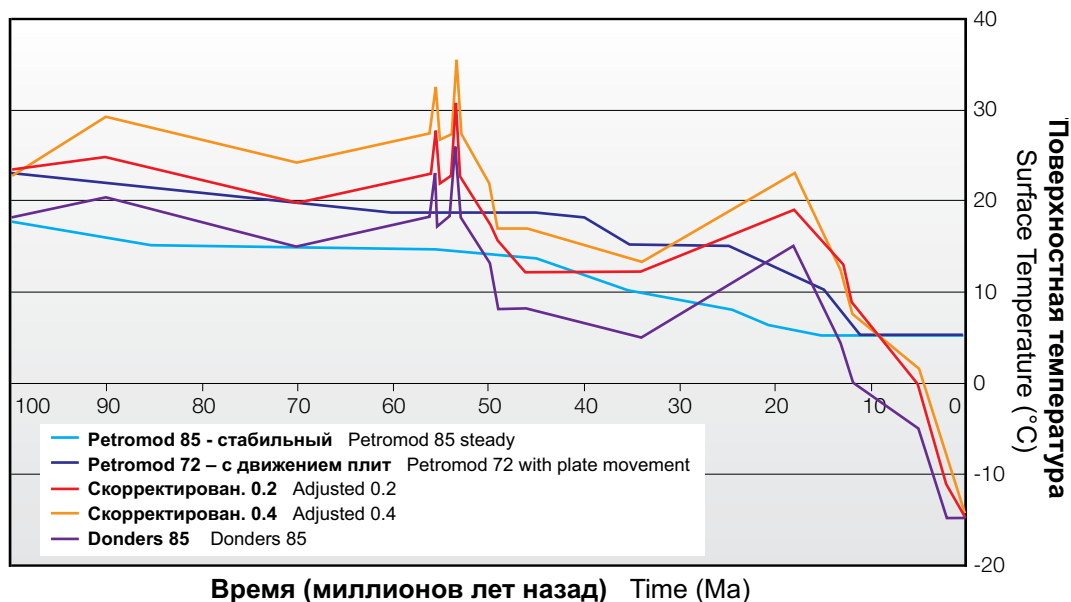


Рис. 2 Различные реконструкции палео-поверхностных температур. Donders 85, относится к Хребту Ломоносова на широте 85. Adjusted 0.2 и 0.4 были скорректированы от Хребта Ломоносова на широту 72, соответствующую Карскому морю, соответственно принимая 0,2 и 0,4 C для градусной широты. Палео-поверхностная температура от PetroMod® с использованием плитовой реконструкции для Карского моря на широте 72 и широте 85 (Hantschel and Kauerauf, 2009)

Fig. 2 Different paleo-surface temperature reconstructions. Donders 85, refers to the Lomonosov ridge at 85 Latitude. Adjusted 0.2 and 0.4 have been corrected from the Lomonosov ridge to Latitude 72 corresponding to the Kara Sea., adopting 0.2 and 0.4 C per degree latitude respectively. PetroMod® paleo-surface temperature using a plate reconstruction for the Kara Sea at 72 Latitude and a Latitude of 85 (Hantschel and Kauerauf, 2009)

at latitude 72 (Hantschel and Kauerauf, 2009), to data extracted from PetroMod® from a constant latitude of 85 through time and to two surface temperature curves generated from the newly acquired but corrected for the shift of latitude of the study area through time with a factor of 0.2 and 0.4 per degree latitude (Fig. 2). The new surface temperatures show higher temperatures for the Cretaceous, lower surface temperatures during the Paleogene and drastically higher temperatures during the Miocene.

These surface temperature curves can be directly imported into PetroProb and are automatically corrected for the water depth to generate the correct sediment water interface temperature (SWIT).

The tectonic heat flow model uses 1D wells or 3D depth maps as input for modeling of tectonic subsidence. Further input is water depth evolution of the study area, the sediment composition, lithospheric parameters such as initial thickness and surface temperature. The heat flow is calculated by matching a calculated tectonic subsidence curve to the observed curve from the input data using user defined rift phases in agreement with with tectonic

осадков на Хребте Ломоносова вблизи периода миоценового климатического оптимума. Данные по неогену показывают относительно низкие скорости осадконакопления и круглогодичные ледниковые условия, начиная с периода 14 миллионов лет назад, после чего поздний плиоценовый период определил начало непрерывного оледенения.

Новая кривая по поверхностным температурам с Хребта Ломоносова была сравнена с поверхностными температурами, выдаваемыми с PetroMod® на IES/Шлюмберге для евразийской Арктики на широте 72 (Hantschel and Kauerauf, 2009), с данными, полученными с PetroMod® с постоянной широты 85 во времени и с двумя кривыми поверхностных температур, построенными на основании новых полученных данных, скорректированных по сдвигу широты зоны исследования во времени с использованием коэффициента 0,2 и 0,4 для градусной широты (рис. 2). Новые поверхностные температуры демонстрируют более высокие температуры для

interpretation. Based on the calculated tectonic subsidence curve a heat flow curve is calculated.

In our case study in the Kara Sea, we defined a two stage rift event influencing the tectonic evolution of the area. According to many studies (e.g. Nikishin et al., 2002; Saunders et al., 2005), a rifting event in the Late Permian to Triassic created the West Siberian Basin. The beginning and the maximum duration of rifting is still under discussion. According to Nikishin et al. (2002) the rift event was no longer than 10 Ma while Saunders et al. (2005) argue that the oldest sediments onlapping on the footwalls of the rift faults are around 165 Ma old; the rifting therefore could have lasted up to 85 Ma. Still, modeling the tectonic subsidence with one rift phase lasting from 250 to 165 Ma does not explain the increased subsidence rate after 165 Ma (Fig. 3). Saunders et al. (2005) therefore propose that the main rift phase, accompanied by a mantle plume, lasted only a short while but afterwards the tectonic subsidence due to thermal cooling was inhibited by the mantle plume until approximately 190 Ma. The results shown in figure 3 were achieved by adapting this assumption to the model.

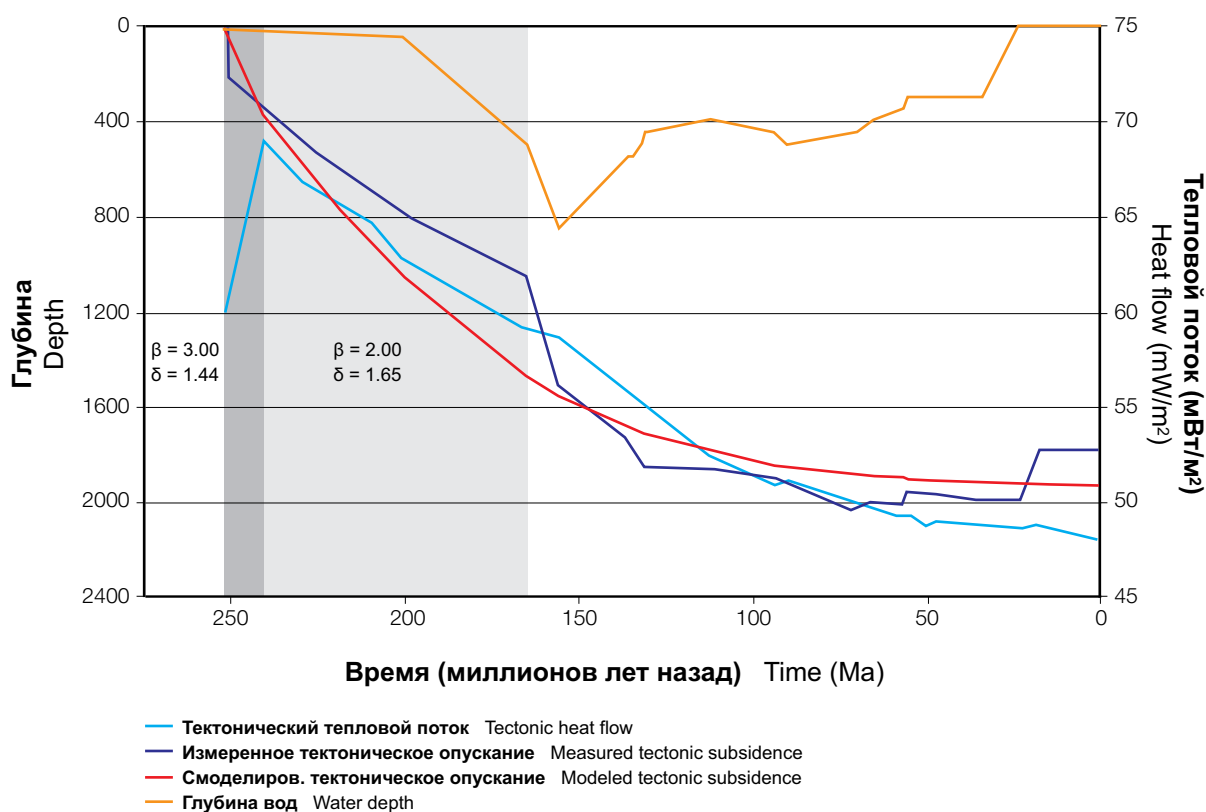


Рис. 3 Наблюдаемые и смоделированные кривая тектонического опускания, кривая глубины палео-вод и результирующая кривая палео-теплового потока. Двухэтапное событие трещинообразования отмечается значительным подъемом мантии, который характеризуется величинами подкоркового растяжения (β), превышающими корковое растяжение (δ).

Fig. 3 Observed and modeled tectonic subsidence curve, paleo-water depth curve and resulting paleo-heat flow curve. The two stage rifting event is marked by significant mantle upwelling, characterized by subcrustal stretching values (β) in excess of crustal stretching (δ).

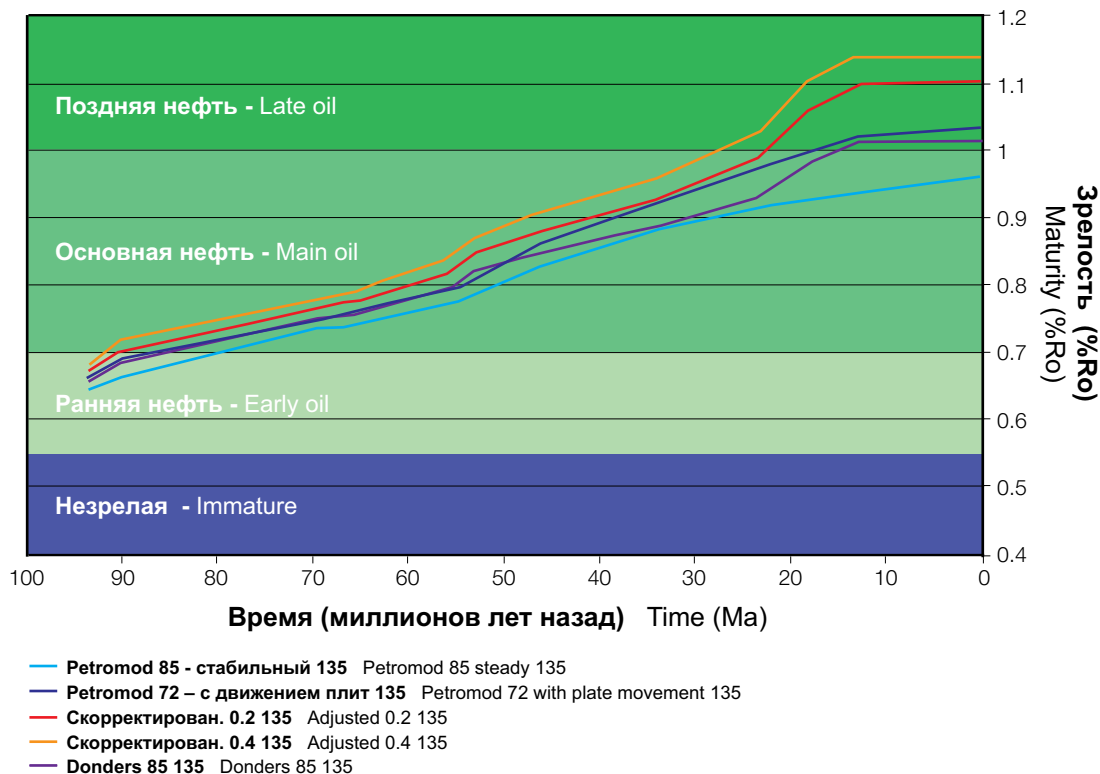


Рис. 4 Зрелость верхней части нефтегазоматеринской толщи в районе Карского моря для реконструкций различных поверхностных температур (см. рис. 2 для пояснений)

Fig. 4 Maturity of the top of the source rock interval in the Kara Sea region for the different surface temperature reconstructions (see Fig. 2 for explanation)

Мелового периода, более низкие поверхностные температуры во время палеогенового периода и существенно более высокие температуры во время миоценового периода.

Данные кривые поверхностных температур могут быть напрямую импортированы в PetroProb и автоматически корректируются для водных глубин для выдачи правильной температуры поверхности раздела седиментационной воды (SWIT).

Модель тектонического теплового потока использует одномерные (1D) резервуары или трехмерные (3D) карты глубин в качестве входных данных для моделирования тектонического опускания. Дополнительными входными данными являются эволюционирование водных глубин в районе исследований, состав осадочных отложений, такие литосферные параметры, как первоначальная толщина и поверхностная температура. Тепловой поток рассчитывается посредством согласования рассчитанной кривой тектонического опускания с наблюдаемой кривой из входных данных с использованием определяемых пользователем фаз трещинообразования в соответствии с тектонической интерпретацией. Основываясь на рассчитанной кривой тектонического опускания рассчитывается кривая теплового потока.

This tectonic model was then calculated with different surface temperature curves and the resulting maturity for the source rock was compared. The results from the models show that the Cenozoic surface temperature evolution has a big effect on the source rock maturity. During the Paleogene the new unadjusted surface temperature has maturities in the same range as the PetroMod® curve for latitude 85. The maturity increases drastically in the Early Miocene to show present-day maturities in the same range as the PetroMod® curve for latitude 72. The maturities of the adjusted surface temperature curves have even higher maturities compared

to the PetroMod® curves. This difference can have a noticeable influence on the timing of generation and trapping of hydrocarbons.

Conclusions

The recent ACEX data complement earlier paleobotanical “snapshots” into Neogene development of the Arctic. Plant macrofossils have for years been the only source of information on the paleo-climatic evolution available to researchers, but data have been very limited in terms of stratigraphic range. The new ACEX data as well as recent studies from the Norwegian Sea (Eldrett et al., 2009) and Alpha ridge (Jenkyns et al., 2004) now extend the paleo-climate record further back into the Paleogene and even upper Cretaceous, revealing a warm wet greenhouse world which extended even to the high Arctic. Only the last 14 million years show the persistent influence of glacial conditions.

The modeled differences between the surface temperatures extracted from PetroMod® to the newly acquired, result in lower maturities during the Paleogene but a drastic increase in maturity during the Miocene. Oil and gas generation will be influenced by this. Slow but steady generation during the Cenozoic prevails in the models with the PetroMod® surface temperature curve

В нашем ситуационном исследовании в Карском море мы определили двухэтапное событие трещинообразования, оказывающее влияние на тектоническое эволюционирование данного района. В соответствии со многими исследованиями (например, Nikishin et al., 2002; Saunders et al., 2005), западносибирский бассейн был создан событием трещинообразования во время позднего пермского периода с переходом в триасовый период. Начало и максимальная длительность трещинообразования по-прежнему дискутируются. В соответствии с тем, что предлагается Никишиным и др. (2002), событие трещинообразования датируется не далее, как 10 миллионами лет назад, в то время, как Сондерс и др. (2005) возражают, утверждая, что самое старое налегание осадочных отложений на нижних боках рифтовых сбросов имеют возраст приблизительно 165 миллионов лет; по этой причине трещинообразование могло продолжаться до даты в 85 миллионов лет назад. Однако, моделирование тектонического опускания с использованием одного этапа трещинообразования, продолжающегося в диапазоне от 250 до 165 миллионов лет назад, не дает объяснений для увеличения скорости опускания после периода в 165 миллионов лет назад (рис. 3). По этой причине Сондерс и др. (2005) предлагают, что главный этап трещинообразования,

while rapid generation in the Miocene can be seen in the models with the new surface temperatures. Depending of the timing of the trap formation this can result in either more or less trapped hydrocarbons.

A detailed study of paleo-surface temperatures and tectonic paleo-heat flow can have a huge impact on the modeled source rock maturity and on the timing of generation. Especially in frontier areas where the quality of a source rock is not yet known, it is, therefore, crucial to get a good understanding of the paleo-surface temperature evolution. But, also, in well-studied basins, an analysis of the paleo-surface temperatures can lead to a reevaluation of regions previously considered under- or over-mature and, therefore, deemed unprospective.

Literature Литература

Backman, J., Moran, K., McInroy, D., Mayer, L. A., Expedition 302 Scientists (2006). Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program, 302, Edinburgh (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.), 302, doi:10.2204/iodp.proc.302.2006

(Бэкман Дж. и др., Специалисты Экспедиции 302 (2006 г.), Научные труды по объединенной программе океанического бурения)

Your partner for
- Exploration
- Field Development
- Training

With more than 20 years of consulting experience, we are one of the leading providers of advanced geological, geophysical, petrophysical and reservoir engineering technology.

Consulting & Engineering

Lead & Prospect Generation
Reservoir Characterisation
Field Development
Underground Gas Storage
Reserves & Farm-In Audits

Training & Technology Transfer

Foundation / Cross Training - Geology & Geophysics - Petrophysics - Drilling - Reservoir Engineering - Production Engineering - Petroleum Business Management - Soft Skills & Management Training

Public Courses in Doha (Qatar), Dubai (UAE), Kuala Lumpur (Malaysia) and Vienna (Austria)

In-house and Customer Tailored Training

www.hoteng.com

сопровождаемого мантийной струей, продолжался только короткий период времени, но после этого тектоническое опускание, обуславливаемое термическим охлаждением, затормаживалось мантийной струей до приблизительно 190 миллионов лет назад. Представленные на рисунке 3 результаты были получены посредством адаптирования данного предположение под модель.

Данная тектоническая модель затем была просчитана с использованием различных кривых поверхностных температур и было проведено сравнение полученной в результате зрелости нефтематеринской породы. Полученные от моделей результаты показывают то, что эволюционирование поверхностных температур кенозойского периода оказывает большое влияние на зрелость нефтематеринской породы. Во время палеогена новая нескорректированная поверхностная температура имеет показатели зрелости в том же диапазоне значений, что и у кривой PetroMod® для широты 85. Зрелость возрастает существенно в начале миоценового периода, для представления степеней зрелости в настоящее время в том же диапазоне значений, что и у кривой PetroMod® для широты 72. Степени зрелости скорректированных кривых поверхностных температур имеют даже более высокие показатели в сравнении с кривыми PetroMod®. Такое различие может иметь заметное влияние на расчёт времени для формирования и дислокации углеводородов.

Выводы

Последние данные ACEX дополняют ранее представленные палеоботанические «снимки» развития арктического региона в неогеновый период. Макроскопические органические остатки от растений на протяжении долгих лет были единственным источником информации по палео-климатическому эволюционированию, доступным для исследователей, но данные были очень ограниченными в том, что касается стратиграфического интервала. Новые данные ACEX, также, как и последние исследования по Норвежскому морю (Eldrett et al., 2009) и Хребту Альфа (Jenkyns et al., 2004) теперь расширили рамки регистрации палео-климатических данных еще дальше назад в палеогеновый период и даже в верхнемеловой период, открыв для нас теплый влажный «тепличный» мир, который простирался даже до высоких арктических широт. Устойчивое влияние ледниковых условий проявляется только на протяжении последних 14 миллионов лет.

Смоделированные различия между поверхностными температурами, от полученных от PetroMod® до полученных новых, дают в результате

Backman, J. et al. (2008) Age Model and Core-Seismic Integration for the Cenozoic ACEX Sediments from the Lomonosov Ridge, *Paleoceanography*, 23: PA1S03.

(Бэкман Дж. и др. (2008 г.), Объединение возрастной модели и керново-сейсмических данных по осадочным породам ACEX кенозойского периода с Хребта Ломоносова)

Brinkhuis, H. et al. (2006) Episodic fresh surface water in the Eocene Arctic Ocean, *Nature*, 441: 606– 609.

(Бринкуис Х. и др., Эпизодические пресные поверхностные воды в Северном ледовитом океане эоценового периода)

Eldrett, J. S., Greenwood, D. R., Harding I. C., Huber, M. (2009) Increased seasonality through the Eocene to Oligocene transition in northern high latitudes, *Nature*, 459: 969-974.

(Эдретт Дж. С. и др., Повышенная сезонность во время перехода от эоценового периода к олигоценному периоду в северных высоких широтах)

Jakobsson, M., Cherkis, N. Z., Woodward, J., Macnab, R., Coakley, B. (2000) A new grid of Arctic bathymetry: A significant resource for scientists and mapmakers. *Eos* 81(9): 89, 93, 96.

(Джекобссон М. и др., Новая батиметрическая сетка Арктики: Важный ресурс для ученых и картографов)

Jenkyns, H. C., Forster, A., Schouten S., Sinninghe Damsté, J. S. (2004) High temperatures in the Late Cretaceous Arctic Ocean, *Nature*, 432: 888-892.

(Дженкинс Х. С. и др., Высокие температуры в Северном ледовитом океане позднего мелового периода)

Nikishin, A.M., Ziegler, P.A., Abbott, D., Brunet, M.-F., Cloetingh, S. (2001) Permo-Triassic intraplate magmatism and rifting in Eurasia: implications for mantle plumes and mantle dynamics. *Tectonophysics* 351: 3-39.

(Никишин А. М. и др., Внутриплитный магнетизм и трещинообразование в Евразии в пермо-триасовый период: подразумеваемые моменты для мантийных струй и динамических характеристик мантии)

Sangiorgi, F., van Soelen, E. E., Spofforth, D. J. A., Pälike, H., Stickley, C. E., St. John, K., Koç, N., Schouten, S., Sinninghe Damsté, J. S., Brinkhuis, H. (2008a) Cyclicity in the middle Eocene central Arctic Ocean sediment record: Orbital forcing and

более низкие степени зрелости во время палеогенового периода, но значительный рост зрелости – во время миоценового периода. Это будет оказывать влияние на нефте- и газообразование. В моделях с использованием кривой поверхностных температур от PetroMod® преобладает медленное, но стабильное нефтегазообразование во время кенозойского периода, в то время, как в моделях с новыми поверхностными температурами может наблюдаться быстрое нефтегазообразование в миоценовый период. В зависимости от временной привязки образования дислокаций это может иметь своим результатом большие или меньшие объемы получаемых углеводородов.

Детальное изучение палео-поверхностных температур и тектонического палео-теплового потока может иметь огромное влияние на моделирование зрелости нефтематеринской породы и на определение сроков нефтегазообразования. В особенности в отдалённых районах, где качество нефтематеринской породы пока еще не известно, особенно важным в этой связи является обретение хорошего понимания эволюционирования палео-поверхностных температур. Но, дополнительно к этому, в хорошо изученных бассейнах, анализ палео-поверхностных температур может привести к переоценке по тем регионам, которые ранее были определены как недо- или перезрелые, и, по этой причине, рассматривались как неперспективные.

environmental response, *Paleoceanography*, 23: PA1S08

(Санджорджи Ф. и др., Цикличность в картине осадочных пород центральной части Северного ледовитого океана в середине эоценового периода: Орбитальное воздействие и реагирование среды)

Sangiorgi, F., Brumsack, H., Willard, D. A., Schouten, S., Stickley, C. E., O'Regan, M., Reichart, G., Sinninghe Damsté, J. S., Brinkhuis, H. (2008b) A 26 million year gap in the central Arctic record at the greenhouse-icehouse transition: Looking for clues, *Paleoceanography*, 23: PA1S04

(Санджорджи Ф. и др., Пробел в 26 миллионов лет в данных по центральной части Арктики в переходный период от тропиков к ледникам: Поиск недостающей информации)

Sangiorgi F., Brinkhuis H., Pierce Damassa, S. (2009) *Arcticacysta*: A new organic-walled dinoflagellate cyst genus from the early Miocene? of the central Arctic Ocean, *Micropaleontology* 55 (23): 249-258.

(Санджорджи Ф. и др., Арктикациста: Новый вид имеющих органическую оболочку динофлагеллятных цист из раннего миоценового периода? из центральной части Северного ледовитого океана)

Saunders, A.D., England, R.W., Reichow, M.K., White, R.V. (2005) A mantle plume origin for the Siberian traps: uplift and extension in the West Siberian Basin, Russia. *Lithos* 79: 407-424.

(Сондерс А. Д. и др., Происхождение мантийной струи для сибирских дислокаций: поднятие и расширение в западносибирском бассейне, Россия.)

Schouten, S., Hopmans, E.C., Schefuß E., Sinninghe Damsté, J.S. (2002) Distributional variations in marine crenarchaeotal membrane lipids: a new organic proxy for reconstructing ancient sea water temperatures?, *Earth Planet. Sci. Lett.* 204: 265–274.

(Шоутен С. и др., Вариации распределения морских кренаркаэталных мембранных липидов: новый органический заместитель для реконструкции температуры вод древних морей?)

Sluijs, A. et al. (2006) Subtropical Arctic Ocean temperatures during the Palaeocene/Eocene thermal maximum, *Nature*, 441, 610– 613.

(Слюйжс А. и др., Субтропические температуры Северного ледовитого океана во время теплового максимума периода палеоцена/эоцена)

Hantschel, T., Kauerauf, A.I. (2009) *Fundamentals of Basin Petroleum Systems Modeling*. Springer, 476 p. DOI 10.1007/978-3-540-72318-9

(Хантшел Т. и др., Основные принципы моделирования бассейновых нефтеносных систем)

Van Wees, J.D., Van Bergen, F., David, P., Nepveu, M., Beekman, F., Cloetingh, S. (2009) Probabilistic Tectonic heat flow modelling for basin maturation: method and applications. *Journal of Marine and Petroleum* 26, 536–551 *Geology*. DOI 10.1016/j.marpetgeo.2009.01.020.

(Ван Уис Дж. Д. и др., Вероятностное моделирование тектонического теплового потока для созревания бассейна: метод и применения)