

## Объемная геолого-геотермическая модель осадочного чехла северо-восточной части Баренцевоморского шельфа в связи с освоением ресурсов углеводородов

В последнее десятилетие получены новые данные о строении осадочного чехла северной части Баренцевоморского шельфа. Одним из перспективных методов исследования структурно-тектонических особенностей и распределения геотермических параметров в пространстве является объемное моделирование. На основании полученной информации в работе предложена геолого-геотермическая объемная модель осадочного чехла севера арктического континентального шельфа РФ. Модель предоставляет уникальную возможность для анализа регионального и локального геологического строения осадочного чехла и современной геодинамики арктического региона и, в частности, термобарического режима осадочного чехла, создающего благоприятные предпосылки для созревания органического вещества.

**Ключевые слова:** осадочный бассейн, моделирование, нефтегазоносность, тепловой поток, температура, каркасная модель, блочная модель.

Арктический континентальный шельф Российской Федерации рассматривается как стратегический резерв развития нефтегазодобывающей промышленности и основа национальной безопасности страны. Площадь российского шельфа составляет 6,5 млн. км<sup>2</sup>, в том числе 4,1 млн. км<sup>2</sup> перспективных объектов, в пределах которых начальные суммарные извлекаемые ресурсы УВ составляют около 100 млрд. т условного топлива (Варламов и др., 2011).

Основная часть извлекаемых запасов по эксплуатационным и инфраструктурным критериям связана с акваториями Баренцева (включая Печорское) и Карского морей. Именно здесь, в соответствии с научными рекомендациями, были сосредоточены основные объемы поисково-разведочных работ. В итоге было доказано существова-

ние крупной нефтегазоносной Западно-Арктической провинции (Грамберг и др., 2000).

До последнего времени одним из немногих мест на акваториях северных морей, где было возможно открытие крупных месторождений УВ, являлись слабоизученные районы севера арктического шельфа, в частности Баренцева моря. Справедливость данного тезиса подтвердили комплексные геофизические работы, проведенные ОАО «МАГЭ», осветившие строение Северо-Баренцевской впадины. Для уточнения геологического строения и перспектив нефтегазоносности восточного борта Северо-Баренцевской впадины в течение 2006 и 2007 гг. ОАО МАГЭ была отработана региональная сеть комплексных геофизических профилей общим объемом 7000 пог. км (Рис. 1) (Павлов и др., 2008). Комплекс геолого-геофизических исследований включал сейсморазведку МОВ-ОГТ 2D, надводную гравиметрию и дифференциальную гидромагнитометрию. Позже в 2009 г. с целью построения геологической модели и реконструкции истории структурно-тектонического развития осадочного бассейна северной части Баренцева моря была выполнена интерпретация по сети региональных профилей с размером ячейки 25x35 км (Величко и др., 2010). Данная территория обладает наибольшим ресурсным потенциалом углеводородного сырья среди шельфовых областей Российской Федерации (Хлебников и др., 2009).

Исследования, проведенные в этом малоизученном регионе, позволили получить новые данные о структурно-тектонических особенностях строения этой части акватории Баренцева моря и уточнить геологическую историю развития региона в целом. В частности, в ходе работ осадочный чехол изучен до глубины 17 км; в его строении выделено и прослежено 8 сейсмостратиграфических комплексов, расчле-

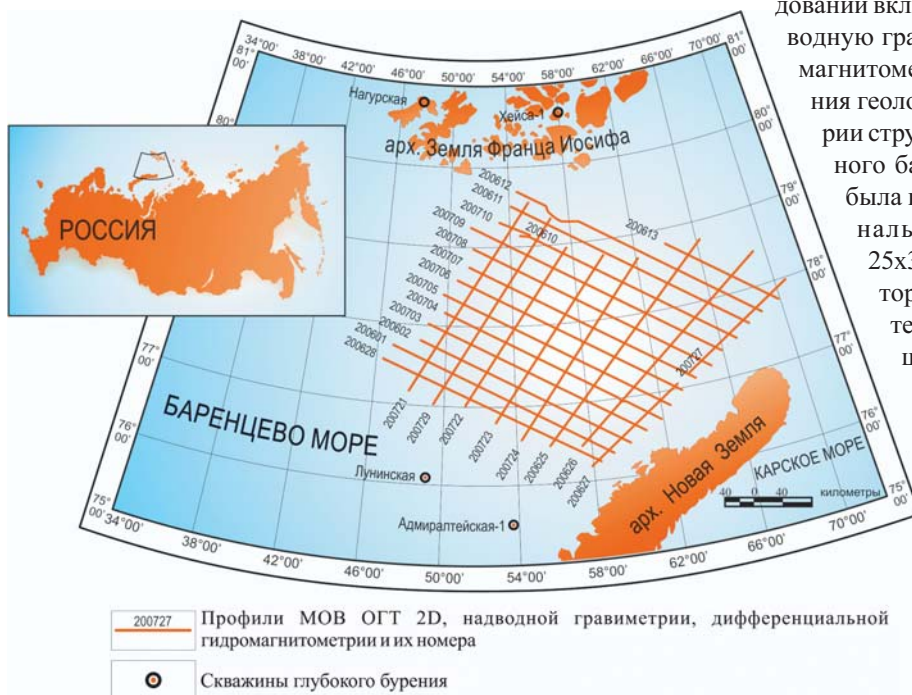


Рис. 1. Обзорная карта северной части Баренцевоморского шельфа с расположением сети комплексных геофизических профилей.

ненных на 14 сеймостратиграфических подкомплексов и 12 сеймотолщ (Казанин и др., 2011).

На основе результатов исследований, выполненных на акватории и прилегающей суше (Павлов и др., 2008; Величко и др., 2010; Павлов, 2012; Боголепов и др., 1990; Государственная геологическая карта..., 2004а; 2004б; Геология и полезные ископаемые..., 2004; Кортаев, Закиров, 1981; Лебедев и др., 1988; Сороков, Краснова, 1993; Строение литосферы..., 2005; Ступакова, Кирюхина, 2001; Тектоника..., 1978; Тектоническая карта..., 1998; Физические свойства..., 1984; Хутурской и др., 2008; Шипилов, Тарасов, 1998; Шипилов, Юнов, 1995; Поликарпов и др., 1992; Рослов и др., 2002; Федухин и др., 2002 и др.), произведено объемное геолого-геотермическое моделирование осадочного чехла с использованием на различных этапах работы ПО EasyTrace, RockWorks software, Surfer, ArcView/ArcGIS, Micromain, Termgraf, Tecplot.

В геологическом строении северо-восточной части акватории Баренцевоморского шельфа выделяется два структурно-тектонических этажа, разделенных между собой поверхностями региональных стратиграфических и угловых несогласий (Павлов и др., 2008). К нижнему относятся допалеозойское складчатое основание (иногда выделяемое в самостоятельный этаж (Варламов и др., 2011)) и нижне-среднепалеозойский литолого-стратиграфический комплекс (ЛСК), а верхний этаж включает отложения от верхнедевонских до четвертичных, в его пределах выделяется пять ЛСК. Они отражают существенные изменения структурных планов осадочного чехла исследуемой территории.

В пределах осадочного чехла по результатам сейсмических работ выделяется 26 отражающих горизонтов (ОГ), ограничивающих условно-однородные сеймостратиграфические комплексы (ССК). Для 11 реперных ОГ имеются структурные карты с элементами тектоники. На сейсмических разрезах последние фиксируются в виде субвертикальных зон отсутствия или хаотической конфигурации отражений и рассматриваются в качестве подводящих каналов дайковых тел (Варламов и др., 2011).

На начальном этапе создавалась Каркасная модель осадочного чехла (Рис. 2). При построении нами использовались 7 сейсмогеологических разрезов по профилям (200601, 200705, 200709, 200612, 200722, 20625, 200626) (Интерпретация: В.А. Журавлев, С.П. Павлов, 2008). Строение геологического разреза определено по 25 выделенным и прослеженным отражающим горизонтам, ограничивающим условно-однородные ССК, полученные по ре-

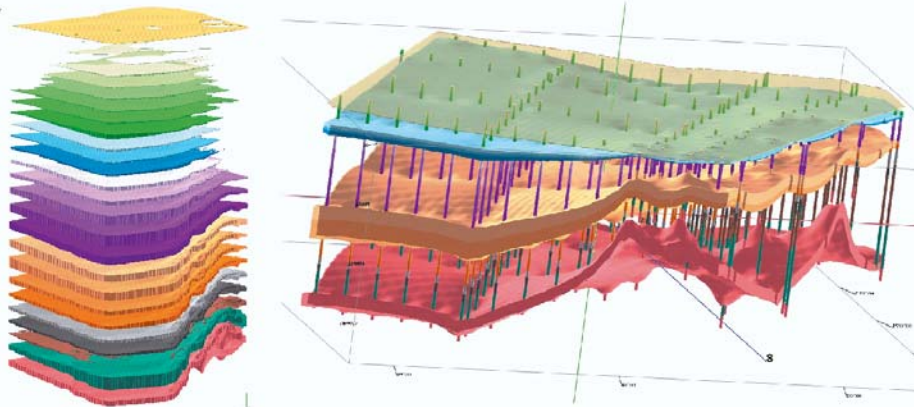


Рис. 2. Результаты построения каркасной модели в системе Rock Works.

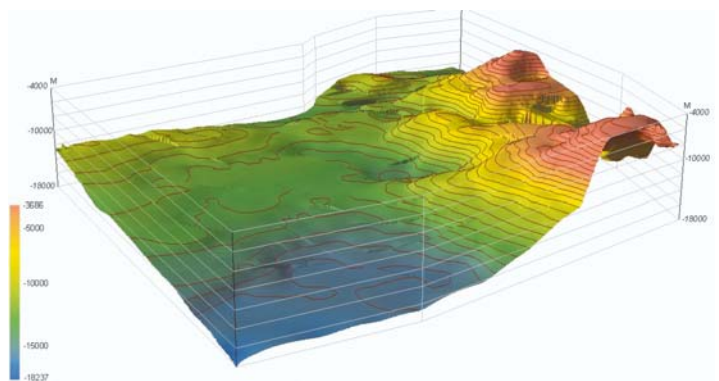


Рис. 3. Цифровая модель отражающего горизонта VI с учетом разрывных нарушений. Вертикальный масштаб увеличен в 5 раз.

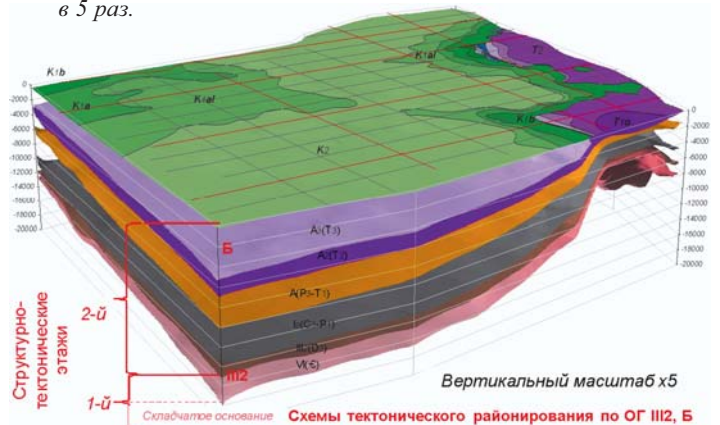


Рис. 4. Структурная модель осадочного чехла северной части Баренцевоморского шельфа, совмещённая с геологической основой, на основе структурных карт по 11-ти ОГ.

зультатам переинтерпретации временных разрезов МОВ ОГТ и доступной геолого-геофизической информации (Павлов и др., 2008).

Подготовка данных для её формирования заключалась в использовании сети пикетов вдоль линий профилей и дополнительных точек сгущения с шагом 25 километров, для которых рассчитывались высотные разбивки по отражающим стратифицированным горизонтам осадочного чехла. Условно, данные пункты наблюдения принимались как скважины, а границы распространения ССК в модели ограничивались мощностью 20 метров. Всего, включая рельеф морского дна, построены 26 числовых структурных поверхностей, ограничивающих 25 ССК (Рис. 2).

По типу данных это пустотелая каркасная модель, без

учета каких-либо данных об элементах тектоники в разрезе. Полученная модель дает общее представление о залегании и пространственном распространении ССК.

На втором этапе построение объемной модели производилось по 11-ти реперным отражающим горизонтам на основе структурных карт с элементами тектоники.

При создании цифровых моделей поверхнос-

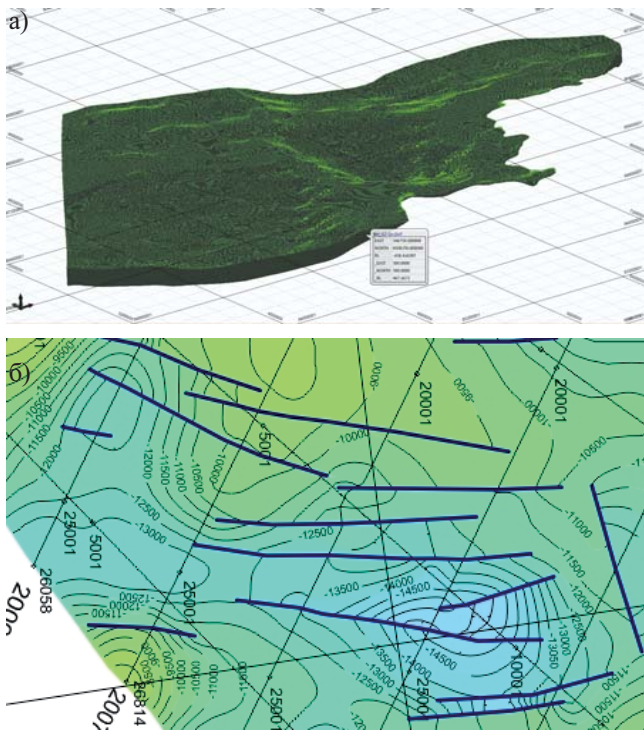


Рис. 5. Пример пластовой блочной модели: а – пластовая блочная модель, ограниченная отражающими горизонтами  $G_2$ - $G_p$ ; б – пример обработки сложной дислоцированной поверхности.

тей использовался метод минимальной кривизны с учетом разрывных нарушений в качестве барьеров интерполяции. При этом, расчет высот производится независимо с правой и левой стороны от линии разрыва, что дало возможность смоделировать блоковый характер данных поверхностей. Растровые изображения сейсмогеологических разрезов были увязаны в трехмерной среде. Это позволило провести оцифровку тектонических нарушений и зон с хаотической конфигурацией отражений, выходящих на плоскости данных разрезов. В совокупности с плановым расположением данных объектов на разноуровневых картах осуществлено моделирование формы отдельных элементов тектоники в виде согласованных с разрезами самостоятельных тел.

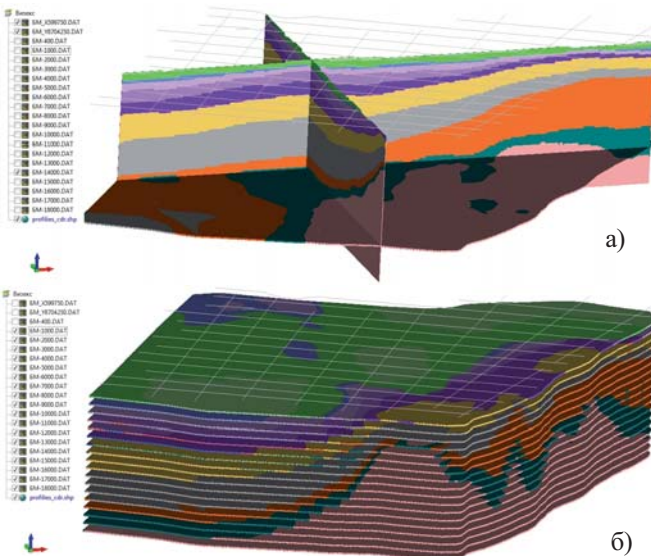


Рис. 6. Регулярная блочная модель по 11-ти ССК: а – ортогональные сечения регулярной БМ; б – горизонтальные сечения БМ с шагом 1 км.

На рисунке 3 показана структурная карта по отражающему горизонту VI (O), представляющему собой кровлю кристаллического фундамента. При построении данной поверхности было учтено 82 барьера интерполяции. Размер созданной числовой матрицы составил  $794 \times 1162$  ячеек размером  $500 \times 500$  метров. Разрывные нарушения отчетливо проявлены в виде ступеней, осложняющих кровлю кристаллического фундамента.

На рисунке 4 совместно представлены обработанные структурные поверхности и дана дочетвертичная геологическая основа. Построенные поверхности проверены и откорректированы на взаимную непересекаемость, а также согласованы по распространению с геологическими границами на уровне дочетвертичного среза.

На следующем шаге каркасная форма представления, в соответствии с применяемыми ПО, приведена к набору пластовых блочных моделей (БМ) с размером ячеек в плане  $500 \times 500$  м и общим их количеством 512550 шт. по каждому из подразделений (Рис. 5). Высота ячеек равна мощности подразделения.

На четвертом этапе пластовые блочные модели на основе единой выбранной сетки регуляризованы по высоте 200 м. При данных параметрах общее число блоков составило около 46,6 млн. штук. Данные в файловом виде представлены таблицей, что дает возможность присвоения им петрофизических свойств (плотности, теплопроводности, остаточной намагниченности и др.), путем группового назначения атрибутов или 3D-интерполяции, с последующими расчетами и визуализацией распределений вдоль ортогональных сечений. При этом могут быть задействованы как средства работы с таблицами, так и возможности трехмерной интерполяции.

Ввиду необходимости представления внутреннего строения ОМ и значительного объема данных, результат удобнее визуализировать в виде серии разрезов, ортогональных осям координат, с вынесенными на них отдельными показателями (Рис. 6).

В интервале высот от 0 до -18 км регулярная БМ имеет 90 штук двухсотметровых слоев блоков. Последовательное их отключение дает представление о распределении заданных в модели свойств на различных уровнях.

Блочная модель – это совокупность множества элементарных блоков прямоугольной формы, расположенных в пространстве по регулярной сети. Каждый блок, как минимум, определяется координатной точкой его центра (X, Y, Z) и размерами по данным осям. Кроме этого, блокам возможно присвоение различных количественных и качественных характеристик, в данном случае – петрофизических свойств ССК. При переходе от пластовой к регулярной БМ для блоков рассчитывались средневзвешенные объемные и весовые плотностные характеристики, определенные для отдельных пластов. БМ создана в горно-геологической информационной системе (ГИС) Micromain, где визуализируется полностью, и откуда может быть экспортирована в виде произвольных выборок в формы таблиц, гридов, текстовых файлов. Вдоль вертикальных сечений возможно сопоставление данных с различными поверхностными геофизическими полями (Рис. 7).

На основе вертикальных сечений, полученных в результате вертикальных срезов регулярной БМ, нами проведено геотермическое моделирование от поверхности

морского дна до уровня минус 20 км, вдоль 22 структурных геотраверсов.

Для решения задачи о распределении температур в разрезе использовался численный метод конечных элементов с квадратичной аппроксимацией функции температуры между узлами прямоугольной сетки в плоскости каждого профиля, разделенного на 1681 (41x41) узел, реализованный в ПО Termgraf (Рис. 8).

Цель работы по определению глубинных температур в осадочном чехле – оценка глубин нахождения температурных интервалов, отвечающих различной степени катагенетической преобразованности органического вещества, а также исследования пространственной неоднородности геотемпературного поля.

По результатам этого моделирования построены 3D модели распределения глубинных температур и тепловых потоков (Рис. 10а, б).

На схеме распределения температур (Рис. 9а) выделяется «температурный купол» в интервале глубин 20-3 км. Его происхождение связано, по-видимому, с рефракцией глубинного теплового потока из-за неоднородности строения относительно низкотеплопроводного осадочного чехла. Характерно то, что локализация этого «температурного купола» совпадает с местонахождением неструктурных ловушек углеводородов, выделяемых по сейсмическим данным. Таким образом, проявляется пространственная ассоциация «температурного купола» и нефтегазоперспективных зон.

Модель позволяет получить карты-срезы геотермичес-

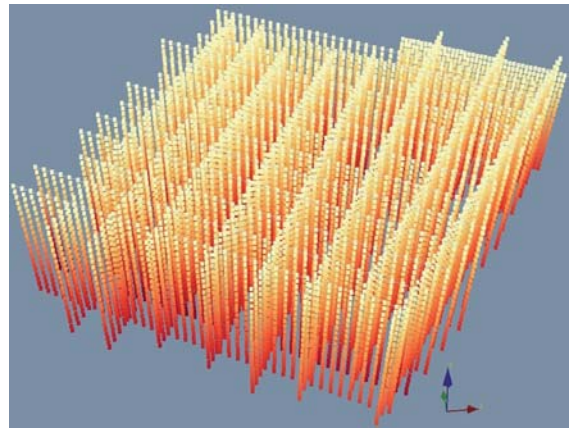


Рис. 8. Расчетная температурная модель на основе сейсмологических профилей.

кого поля на любой глубине, а также карты изотермических поверхностей и таким образом определить характерные температурные границы, а именно, положение изотерм катагенетического температурного интервала (110-160 °С).

В результате выполненных в разные годы на шельфе Баренцева моря поисково-разведочных работ на нефть и газ, в осадочном чехле акватории сотрудниками МАГЭ были выделены 23 локальных антиклинальных поднятия (области возможного развития ловушек неструктурного типа, к которым относятся зоны литологических ловушек, связанных с отложениями конусов выноса прогибов Фобос и Седова, стратиграфически в области

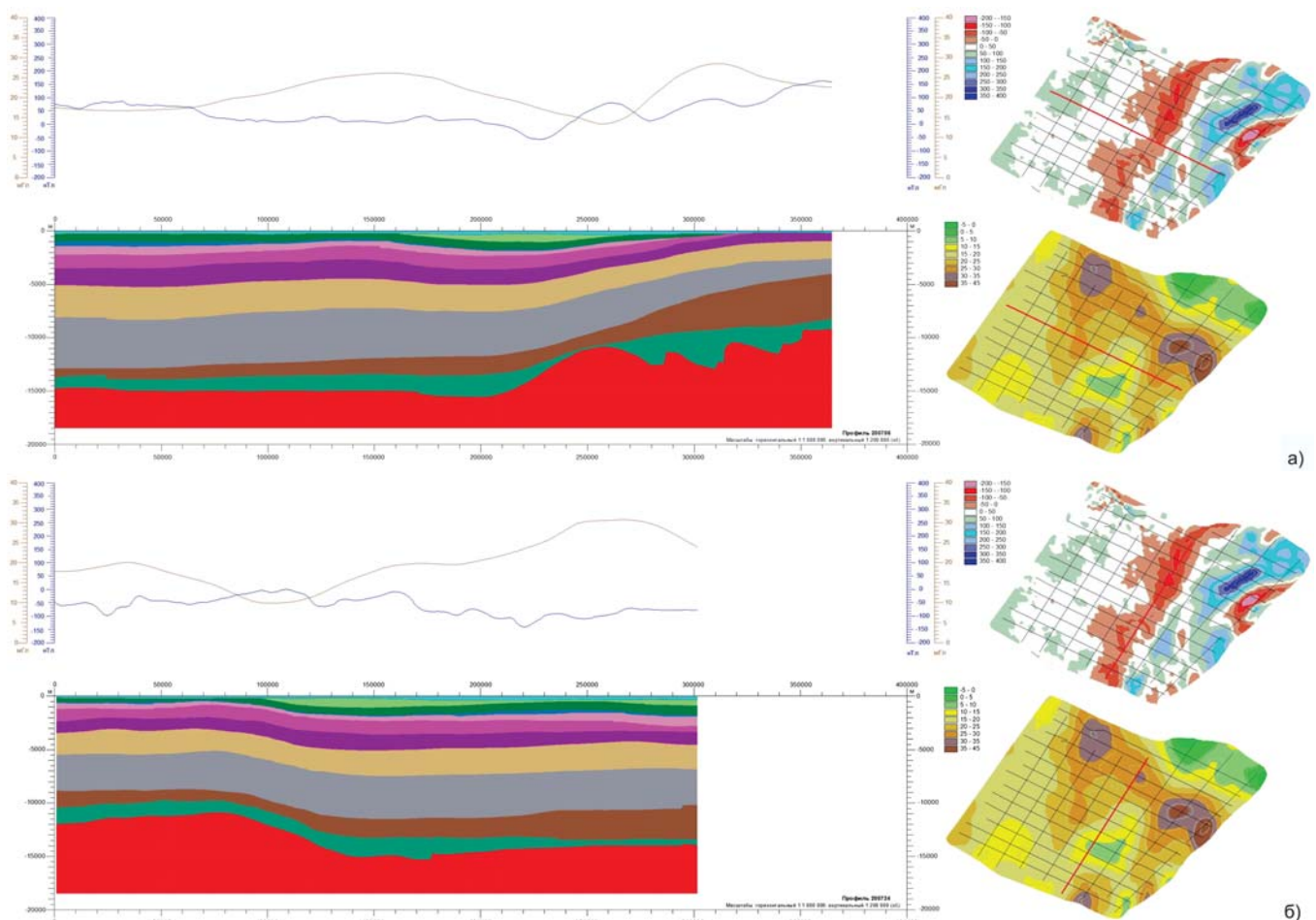


Рис. 7. Сечения блочной модели вдоль профилей МОВ ОГТ: а) 200724; б) 200706. Значения магнитного и гравитационного поля вынесены выше разрезов в виде линий и в правой части рисунков в виде карт полей.

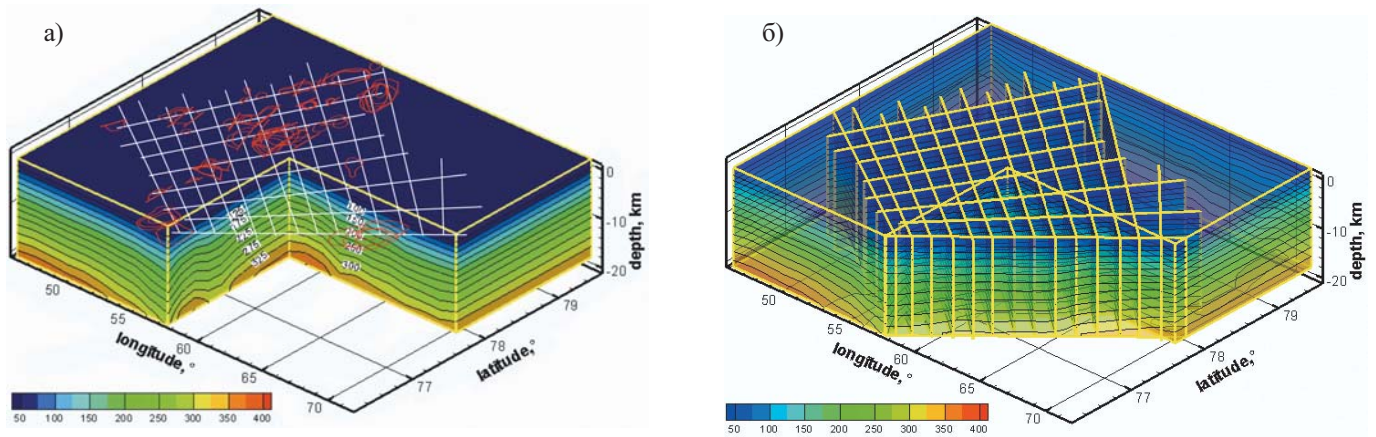


Рис. 9. Объемная модель геотемпературного поля осадочного чехла северо-восточной части Баренцевоморского шельфа: а) 3D-модель распределения глубинных температур; б) 2D – температурные профили.

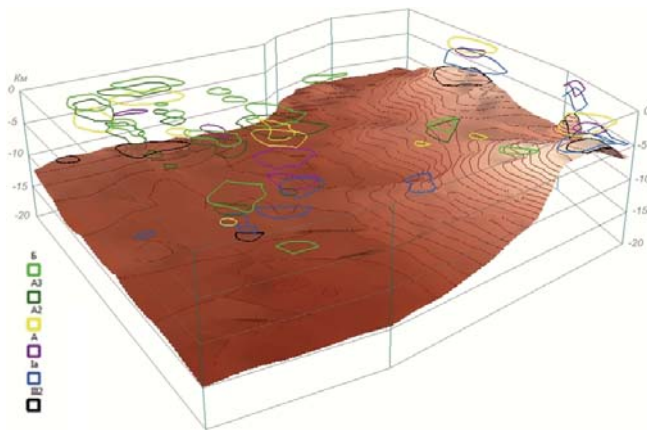


Рис. 10. Пространственное распределение в пределах осадочного чехла нефтегазоперспективных объектов и зон.

выклинивания триасовых отложений под эрозионной поверхностью), разнесенными по соответствующим отражающим горизонтам (Величко и др., 2010).

На рисунке 10 показано пространственное распределение локальных поднятий в пределах осадочного чехла, на фоне рефлектора  $\Pi_2$ .

Далее были выбраны температурные точки диапазона 110-160°C, то есть катагенетический температурный интервал. На рисунке 11 видно, что в этот диапазон попадают разновозрастные локальные поднятия, и с высокой долей вероятности в них можно ожидать наличие потенциальных скоплений углеводородов.

3D-плот теплового потока показывает, что его значения в пределах участка увеличиваются в северо-западном направлении от 40 до 70 мВт/м<sup>2</sup>, что может объясняться отмечавшейся ранее термической активизацией в районе трога Франц-Виктория (Хуторской и др., 2013).

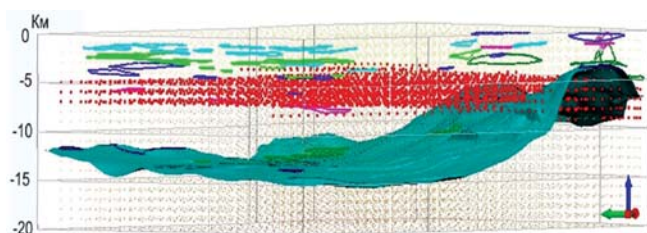


Рис. 11. Пространственно совмещенные нефтегазоперспективные объекты с катагенетическим температурным интервалом (выделено красным).

## Выводы

В процессе проведения исследований авторами получены следующие научные результаты, использование которых в совокупности может служить основой для изучения строения осадочного чехла и современной геодинамики арктического региона. Эти результаты сводятся к следующему.

С использованием геоинформационных технологий построены: модели поверхностей стратиграфических границ подразделений осадочного чехла с учетом разрывных нарушений; каркасная модель осадочного чехла территории; на основе созданных структурных поверхностей создана регулярная блочная модель.

Проведена пространственная и количественная корреляция геотермического поля и локализации нефтегазоносности.

Проведен расчет глубин катагенетического преобразования углеводородов в осадочном чехле.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (грант 14-05-00012) и Программы Президиума РАН №23.

## Литература

- Боголепов А.К., Журавлев В.А. и др. Новые данные о глубинной структуре Карского моря (по результатам комплексных геолого-геофизических исследований). *ДАН СССР*. Т. 315. № 1. 1990. С. 159-162.
- Варламов А.И., Каминский В.Д., Афанасенков А.П., Супруненко О.И., Пешкова И.Н. Состояние ресурсной базы и проблемы освоения континентального шельфа Российской Федерации. *Геология нефти и газа*. 2011. № 6. С. 3-12.
- Величко Б.М., Шлыкова В.В., Дьяченко А.Б. и др. Отчет по объекту «Комплексное геолого-геофизическое исследование северо-восточной части Баренцевоморского шельфа». ОАО «МАГЭ». Мурманск. 2010.
- Геология и полезные ископаемые России. Т. 5. Арктические и Дальневосточные моря. Кн. 1. Арктические моря. Ред. И.С. Грамберг, В.Л. Иванов, Ю.Е. Погребницкий. СПб.: ВСЕГЕИ. 2004. 468 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации (новая серия) Т-41-44, М 1:1 000 000. Объяснительная записка. Отв. ред. Шкарубо С.И., гл. ред. Лопатин Б.Г. СПб.: ВСЕГЕИ. 2004а.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. М 1:1 000 000 (новая серия). Лист Т-37-40 – Земля Франца-Иосифа (южные острова). Объяснительная записка. Отв. ред. Шкарубо С.И., гл. ред. Лопатин Б.Г. СПб.: ВСЕГЕИ. 2004б.
- Грамберг И.С., Супруненко О.И., Вискунова К.Г. и др. Нефтегазоносность Западно-Арктического шельфа России (углеводородные системы, ресурсы, направления работ). *Мат. Всерос. конф. «300 лет горно-геологической службе России»*. Т. 3. СПб. 2000. С. 30-31.

Казанин Г.С. и др. Региональные сейсморазведочные работы в арктических морях – основные результаты нового этапа и дальнейшие перспективы. *Геология нефти и газа*. 2011. № 6. С. 90-99.

Коротаев Ю.П., Закиров С.Н. Теория и проектирование разработки газовых и газоконденсатных месторождений. М.: «Недра». 1981. 294 с.

Лебедев Т.С., Корчин В.А., Сивенко Б.Я. и др. Петрофизическое исследование при высоких РТ – параметры и их геофизическое приложения. Киев: Наукова думка. 1988. 248 с.

Павлов С.П. Геологическое строение и нефтегазоносность северо-восточной части Баренцева моря по геофизическим данным: автореф. дис. ... канд. геол. наук. Мурманск. 2012.

Павлов С.П., Шлыкова В.В., Григорьева Б.М. и др. Отчет по объекту «Уточнить геологическое строение и перспективы нефтегазоносности восточного борта Северо-Баренцевской впадины». ОАО «МАГЭ». Мурманск. 2008.

Поликарпов В.К., Алексеев И.И., Балашов И.З. и др. Комплексная аэрогеофизическая съемка масштаба 1:1 000 000 северной части архипелага Новая Земля. Ломоносов: ПМГРЭ. МГП «Севаргогео». Фонды ВНИИО, № 6588; МАГЭ, № 983. 1992. 270 с.

Рослов Ю.В. и др. Отчет о создании модели глубинного геологического строения Баренцевоморской нефтегазоносной провинции на основе новой технологии комплексной обработки данных МОВ, МПВ и ГСЗ на опорных профилях в переходной зоне «сушаморе». СПб.: ГНПП «Севморгео». 2002.

Сороков Д.С., Краснова В.Л. Рассеянное органическое вещество палеозойских и мезозойских отложений Баренцева шельфа. Нефтегазоносность Баренцево-Карского шельфа (по материалам бурения на море и островах). СПб.: ВНИИОкеангеология. 1993. С. 48-55.

Строение литосферы российской части Баренц региона. Под ред. Н.В. Шарова, Ф.П. Митрофанова, М.Л. Вербы, К. Гиллена. Петрозаводск: КНЦ РАН. 2005. 318 с.

Ступакова А.В., Кириухина Т.А.. Нефтегазоносность Баренцевоморского шельфа, обзорная информация. М.: Геоинформмарк. 2001.

Тектоника Северной полярной области Земли. Объяснительная записка к тектонической карте Северной полярной области Земли. М 1:5 000 000. Под ред. Егизарова Б.Х. Л.: НИИГА. 1978. 200 с.

Тектоническая карта морей Карского и Лаптевых и Севера Сибири. М 1:2 500 000. Под ред. Н.А. Богданова, В.Е. Хаина. М.: Федеральная служба геодезии и картографии РФ. 1998.

Федухин Н.В. и др. Модель строения литосферы Баренцевско-го шельфа по данным глубинной сейсморазведки (ШГСП, ОГТ, ГСЗ). Мурманск: Фонды МАГЭ. 2002.

Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. Под ред. Н.Б. Дортман. М.: «Недра». 1984. 455 с.

Хлебников П.А. и др. «Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности восточного борта Северо-Баренцевской впадины. *Разведка и охрана недр*. 2009. № 4. С. 13-21.

Хуторской М.Д., Вискунова К.Г., Подгорных Л.В. и др. Геотемпературная модель земной коры Баренцева моря: исследование вдоль геотраверсов. *Геотектоника*. 2008. № 2. С. 55-67.

Хуторской М.Д., Ахмедзянов В.Р., Ермаков А.В. и др. Геотермия арктических морей. М.: ГЕОС. 2013. 244 с.

Шипилов Э.В., Тарасов Г.А. Региональная геология нефтегазоносных осадочных бассейнов Западно-Арктического шельфа России. Апатиты: изд-во КНЦ РАН. 1998. 306 с.

Шипилов Э.В., Юнов А.Ю. О генезисе антиклинальных структур месторождений углеводородов восточной части Баренцева моря. *ДАН*. 1995. Т. 342. № 1. С. 87-88.

Шкарубо С.И., Маркина Н.В., Лопатин Б.Г. и др. Геологическая съемка шельфа Баренцева моря и подготовка к изданию Государственной геологической карты России. М 1:1 000 000 для листов Т-37-40. *Отчет о выполнении работ по Государственному контракту 10/39 М55*. Фонды МАГЭ, № 971. Мурманск: МАГЭ. 2003. Т. 1 – 107 стр. Т. 2 – 199 стр.

### Сведения об авторах

*Дмитрий Сергеевич Никитин* – младший научный сотрудник лаборатории тепломассопереноса Геологического института РАН, участник ряда арктических геолого-геофизических экспедиций

*Дмитрий Андреевич Иванов* – канд. геол.-мин. наук, доцент кафедры исторической геологии и палеонтологии Воронежского государственного университета

*Виталий Алексеевич Журавлёв* – начальник геолого-геофизической партии ОАО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция»

*Михаил Давыдович Хуторской* – доктор геол.-мин. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик РАЕН, зав. лабораторией тепломассопереноса Геологического института РАН, Председатель Научного совета РАН по проблемам геотермии.

119017 Москва, Пыжевский пер, 7.

Тел: +7-495-9592756.

## Three-dimensional geological and geothermal model of sedimentary cover in the north-eastern part of the Barents Sea shelf in connection with the development of hydrocarbon resources

*D.S. Nikitin, D.A. Ivanov, V.A. Zhuravlev, M.D. Khutorskoy*

*Institute of Geology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: ndsnomination@mail.ru, mdkh@rambler.ru*

*Voronezh State University, Voronezh, Russia, e-mail: ivanov@geol.vsu.ru*

*Marine Arctic Geological Expedition, Murmansk, Russia, e-mail: vitalyzh@mage.ru*

In the last decade new data on the structure of the sedimentary cover of the Barents Sea shelf northern part have been obtained. One of the promising methods for studying structural and tectonic features, as well as distribution of geothermal parameters in space is three-dimensional modeling. Based on information obtained the paper suggests geological and geothermal three-dimensional (3D) model of the sedimentary cover of the northern part of the Arctic continental shelf of Russia. The model provides an unique opportunity to analyze regional and local geological structure of the sedimentary cover and modern geodynamics of the Arctic region and, in particular,

thermobaric regime of the sedimentary cover, creating favorable conditions for maturation of organic matter.

**Keywords:** sedimentary basin, modeling, oil and gas content, heat flow, temperature, frame model, block model.

### References

Bogolepov A.K., Zhuravlev V.A. et al. Novye dannye o glubinnoy strukture Karskogo morya (po rezul'tatam kompleksnykh geologo-geofizicheskikh issledovaniy) [New data on the deep structure of the Kara Sea (based on comprehensive geological and geophysical studies)]. *Doklady Akademii Nauk SSSR* [Proc. of the USSR Academy of Sciences]. Vol. 315. N 1. 1990. Pp. 159-162.

Varlamov A.I., Kaminskiy V.D., Afanasenkov A.P., Suprunenko

O.I., Peshkova I.N. The state of resource base and problems of continental shelf development in Russian Federation. *Geologiya nefii i gaza* [Oil and Gas Geology]. 2011. N 6. Pp. 3-12. (In Russian)

Velichko B.M., Shlykova V.V., D'yachenko A.B. et al. Otchet po ob'ektu «Kompleksnoe geologo-geofizicheskoe issledovanie severo-vostochnoy chasti Barentsevomorskogo shel'fa» [Integrated geological and geophysical studies of the northeastern part of the Barents Sea shelf. Report]. JSC «MAGE» Publ. Murmansk. 2010.

Geologiya i poleznye iskopaemye Rossii. Arkticheskie i Dal'nevostochnye morya. Arkticheskie morya [Geology and natural resources of Russia. Arctic and Far Eastern Seas. Arctic Sea]. Ed. I.S. Gramberg, V.L. Ivanov, Yu.E. Pogrebitskiy. St.Petersburg: «VSEGEI» Publ. Vol. 5. B. 1. 2004. 468 p.

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii (novaya seriya) [State geological map of the Russian Federation (new series)] Ob'yasnitel'naya zapiska [An explanatory note]. Ans. Ed. Shkarubo S.I., Ch. Ed. Lopatin B.G. St. Petersburg: VSEGEI. 2004a.

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii [State geological map of the Russian Federation]. Franz Josef Land (Southern Islands). Ob'yasnitel'naya zapiska [An explanatory note]. Ans. Ed. Shkarubo S.I., Ch. Ed. Lopatin B.G. St. Petersburg: VSEGEI. 2004b.

Gramberg I.S., Suprunenko O.I., Viskunova K.G. et al. Neftegazonosnost' Zapadno Arkticheskogo shel'fa Rossii (uglevodorodnye sistemy, resursy, napravleniya rabot) [Oil-and-gas potential of the Russian Western Arctic shelf (hydrocarbon systems, resources, areas of work)]. *Mat. Vseros. Konf. «300 let gorno-geologicheskoy sluzhbe Rossii»* [Proc. Conf. «300 years of mining and geological service of Russia»]. Vol. 3. St. Petersburg. 2000. Pp. 30-31.

Kazanin G.S. et al. Regional seismic exploration in Arctic seas – main results of new stage and further prospects. *Geologiya nefii i gaza* [Oil and Gas Geology]. 2011. N 6. Pp. 90-98. (In Russian)

Korotaev Yu.P., Zakirov S.N. Teoriya i proektirovanie razrabotki gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdeniy [Theory and design of the development of gas and gas condensate fields]. Moscow: «Nedra» Publ. 1981. 294 p.

Lebedev T.S., Korchin V.A., Sivenko B.Ya. et al. Petrofizicheskie issledovaniya pri vysokikh RT – parametry i ikh geofizicheskie prilozheniya [Petrophysical studies at high PT – parameters and geophysical applications]. Kiev: «Naukova dumka» Publ. 1988. 248 p.

Pavlov S.P. *Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' severo-vostochnoy chasti Barentseva morya po geofizicheskim dannym*. Diss. kand. geol. nauk. [Geology and Petroleum Potential of the north-eastern part of the Barents Sea from geophysical data. Cand. geol. sci. diss.]. Murmansk. 2012.

Pavlov S.P., Shlykova V.V., Grigor'eva B.M. et al. Otchet po ob'ektu «Utochnit' geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti vostochnogo borta Severo-Barentsevskoy vpadiny» [Clarify the geological structure and petroleum potential of the eastern side of North Barents depression. Report]. JSC «MAGE» Publ. Murmansk. 2008.

Polikarpov V.K., Alekseev I.I., Balashov I.Z. et al. Kompleksnaya aerogeofizicheskaya s'emka masshtaba 1:1 000 000 severnoy chasti arkhipelaga Novaya Zemlya [Integrated airborne geophysical survey of scale 1:1 000 000 of the northern part of Novaya Zemlya archipelago]. Lomonosov: PMGRE. MGP «Sevaeroge». Fondy VNIIO, № 6588; MAGE, № 983. 1992. 270 p.

Roslov Yu.V. et al. Otchet o sozdaniy modeli glubinnogo geologicheskogo stroeniya Barentsevomorskoy neftegazonosnoy provintsii na osnove novoy tekhnologii kompleksnoy obrabotki dannykh MOV, MPV i GSZ na opornykh profilyakh v perekhodnoy zone «susha-more» [Report on the modelling of deep geological structure of the Barents Sea oil and gas province on the basis of new technologies for data integration]. St. Petersburg: GNPP «Svmorgeo». 2002.

Sorokov D.S., Krasnova V.L. Rasseyannoe organicheskoe veschestvo paleozoyskikh i mezozoyskikh otlozheniy Barentseva shel'fa. Neftegazonosnost' Barentsevo-Karskogo shel'fa (po materialam bureniya na more i ostrovakh) [Dispersed organic matter of Paleozoic and Mesozoic sediments of the Barents shelf. Oil and gas potential of the Barents-Kara shelf (based on drilling at sea and the islands)]. St. Petersburg: «VNIIOkeangeologiya» Publ. 1993. Pp. 48-55.

Stroenie litosfery rossiyskoy chasti Barents regiona [The structure of the lithosphere of the Russian part of the Barents Region]. Ed. N.V. Sharova, F.P. Mitrofanova, M.L. Verby, K. Gillena. Petrozavodsk:

«KNTs RAN» Publ. 2005. 318 p.

Stupakova A.V., Kiryukhina T.A.. Neftegazonosnost' Barentsevomorskogo shel'fa, obzornaya informatsiya [Oil and gas potential of the Barents Sea shelf. An Overview]. Moscow: «Geoinformmark» Publ. 2001.

Tektonika Severnoy polyarnoy oblasti Zemli [Tectonics of the North polar region of the Earth]. Ob'yasnitel'naya zapiska k tektonicheskoy karte Severnoy polyarnoy oblasti Zemli masshtaba 1 : 5 000 000 [Explanatory note to the tectonic map of North polar region of the Earth scale 1: 5 000 000]. Ed. B.Kh. Egiazarova. Leningrad: «NIIGA» Publ. 1978. 200 p.

Tektonicheskaya karta morey Karskogo i Laptevskiy i Severa Sibiri [Tectonic Map of the Kara and Laptev Seas and the North of Siberia]. Scale 1:2 500 000. Ed. N.A. Bogdanova, V.E. Khaina. Moscow: Federal'naya sluzhba geodezii i kartografii RF [Federal Service for Geodesy and Cartography of Russia]. 1998.

Fedukhin N.V. et al. Model' stroeniya litosfery Barentsevskogo shel'fa po dannym glubinnoy seysmorazvedki [The model structure of the Barents shelf lithosphere according to the deep seismic]. Murmansk: Fund MAGE. 2002.

Fizicheskie svoystva gornykh porod i poleznykh iskopaemykh (petrofizika) [Physical properties of rocks and minerals (petrophysics)]. Spravochnik geofizika [Handbook of geophysics]. Ed. N.B. Dortman. Moscow: «Nedra». 1984. 455 p.

Khlebnikov P.A. et al. Geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti vostochnogo borta Severo-Barentsevskoy vpadiny [Geology and petroleum potential of the eastern side of North Barents Basin]. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and conservation of mineral resources]. 2009. № 4. Pp. 13-21.

Khutorskoy M.D., Viskunova K.G., Podgornyykh L.V. et al. Geotemperaturnaya model' zemnoy kory Barentseva morya: issledovaniya vdol' geotravversov [Geotemperature model of the Barents Sea crust: research along geotraverses]. *Geotektonika* [Geotektonika]. 2008. № 2. Pp. 55-67.

Khutorskoy M.D., Akhmedzyanov V.R., Ermakov A.V. et al. Geotermiya arkticheskikh morey [Geothermy of the Arctic seas]. Moscow: «GEOS» Publ. 2013. 244 p.

Shipilov E.V., Tarasov G.A. Regional'naya geologiya neftegazonosnykh osadochnykh basseyinov Zapadno-Arkticheskogo shel'fa Rossii [Regional geology of oil and gas bearing sedimentary basins of the Western Arctic shelf of Russia]. Apatity: «KNTs RAN» Publ. 1998. 306 p.

Shipilov E.V., Yunov A.Yu. O genezise antiklinal'nykh struktur mestorozhdeniy uglevodorodov vostochnoy chasti Barentseva morya [On the genesis of hydrocarbon fields anticlinal structures of eastern part of the Barents Sea]. *Doklady Akademii Nauk SSSR* [Proc. of the USSR Academy of Sciences]. 1995. Vol. 342. № 1. Pp. 87-88.

Shkarubo S.I., Markina N.V., Lopatin B.G. et al. Geologicheskaya s'emka shel'fa Barentseva morya i podgotovka k izdaniyu Gosudarstvennoy geologicheskoy karty Rossii masshtaba 1:1 000 000 dlya listov T-37-40 [Geological Survey of the Barents Sea shelf and preparation for the publication of the State geological map of Russia, scale 1: 1 000 000 sheets for T-37-40]. Otchet o vypolnenii rabot po Gosudarstvennomu kontraktu 10/39 M55 [Report]. № 971. Murmansk: «MAGE» Publ. 2003. Vol. 1 – 107 p. Vol. 2 – 199 p.

### Information about authors

*Dmitriy S. Nikitin* – Junior research scientist of the heat and mass transfer laboratory, member of the several arctic geological expeditions

*Dmitriy A. Ivanov* – Cand. Sci. (Geol.-Min.), Associate Professor of the Historic geology and paleontology Department, Voronezh State University

*Vitaliy A. Zhuravlev* – Geological and Geophysical Group Leader, Marine Arctic Geological Expedition

*Mikhail D. Khutorskoy* – Dr. Sci. (Geol.-Min.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Head of the heat and mass transfer laboratory.

Institute of Geology, Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow, Pyzhevsky lane 7, 119017.

Tel: +7-495-9592756.