

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

*На правах рукописи*



**Старцева Ксения Федоровна**

**ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВОСТОЧНО-БАРЕНЦЕВСКОГО  
И СЕВЕРО-КАРСКОГО БАССЕЙНОВ НА ОСНОВЕ  
СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

25.00.01 — Общая и региональная геология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Москва — 2018 г.

Работа выполнена на кафедре региональной геологии и истории Земли  
геологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова

**Научный руководитель:** — *Никишин Анатолий Михайлович* — доктор геолого-минералогических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** — *Жемчугова Валентина Алексеевна* — доктор геолого-минералогических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», профессор кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых

*Костюченко Сергей Леонидович* — доктор геолого-минералогических наук, Акционерное общество «Росгеология», заместитель генерального директора — директор Департамента по науке и техническому развитию

*Патина Ирина Станиславовна* — кандидат геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук, лаборатория сравнительного анализа осадочных бассейнов, старший научный сотрудник

Защита диссертации состоится «19» декабря 2018 г. в 14:30 на заседании диссертационного совета МГУ.04.04 Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, ауд. 415.

E-mail: [nvbadulina@mail.ru](mailto:nvbadulina@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА»: <https://istina.msu.ru/dissertations/150561950/>

Автореферат разослан «31» октября 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета МГУ.04.04,  
доктор геолого-минералогических наук,  
доцент



В.С. Захаров

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** За последнее десятилетие по результатам бурения и сейсморазведки на шельфе Баренцева и Карского морей был получен большой объем геологических данных, позволяющий улучшить и детализировать существующие модели геологического строения и истории развития региона. Это, в свою очередь, дает возможность уточнить прогнозирование размещенных в его пределах полезных ископаемых.

**Степень разработанности темы.** Систематическое изучение геологии Западной Арктики началось в 20-х годах прошлого столетия, и с тех пор был накоплен большой объем геолого-геофизических данных на суше и акватории. Современные представления о геологии региона сформированы в результате работы коллективов НИИГА (ныне ВНИИОкеангеология), ВСЕГЕИ, ВНИИМОРГЕО, НИМГЭ, ВНИИ-Геофизика, Южморгео (ныне Южмор-геология), МАГЭ, СМНГ, АМНГР, АМИГЭ, НПО «Севморгео», МГУ. Большой вклад в систематизацию и обобщение накопленного материала по Баренцеву морю внесли такие исследователи, как И.С. Грамберг, Ю. Е. Погребницкий, М.Л. Вербя, В.Е. Хаин, В.И. Устрицкий, В.С. Журавлев, О. И. Супруненко, Н.В. Шаров, Э.В. Шипилов, Б.В. Сенин, В.П. Гаврилов, А.Д. Павленкин, Л.А. Дараган-Суцова, С.В. Аплонов, А.В. Ступакова, Н.М. Иванова и др. В результате проведенного исследования были обобщены данные о литолого-стратиграфическом расчленении разрезов суши, непосредственно прилегающих к изучаемым бассейнам, и определены этапы развития осадочных бассейнов востока Баренцева и севера Карского морей.

**Цель работы** — создание геологических моделей строения и восстановление эволюции осадочных бассейнов восточной части Баренцева моря и Северо-Карского моря на основе накопленных данных бурения и сейсморазведки в акваториях и геологической съемки на прилегающих территориях суши.

### **Основные задачи:**

- Изучение фактических материалов и анализ опубликованной литературы по тематике исследования.
- Обобщение стратиграфии по территориям, прилегающим к Восточно-Баренцевоморскому и Северо-Карскому осадочным бассейнам.
- Создание единой модели геологического строения Восточно-Баренцевоморского бассейна по сети опорных геолого-геофизических профилей с использованием данных бурения на акватории и геологических съемок на прилегающих территориях суши.
- Создание единой модели геологического строения Северо-Карского бассейна по сети опорных геолого-геофизических профилей с использованием данных геологических съемок на прилегающих территориях суши.
- Создание модели формирования и эволюции углеводородных систем исследуемой области.

**Фактический материал и методы.** На сегодняшний день основными источниками данных о геологическом строении Восточно-Баренцевоморского осадочного бассейна являются скважины глубокого бурения на акватории и региональные сейсморазведочные профили. Для анализа этих данных применялся метод тектоно- и секвентной стратиграфии. В ходе работы выполнена интерпретация более 800 региональных сейсморазведочных профилей общей протяженностью более 170 тыс. пог.

км, в том числе и новейших данных, полученных в 2010—2016 гг. организациями МАГЭ, СМНГ, Севморгео и “Геология без границ”, а также государственной сети опорных геолого-геофизических профилей серии АР. Ключом к пониманию истории развития региона являются данные о геологическом строении и тектонике сопредельных территорий — Тимано-Печорского бассейна, арх. Новая Земля и о. Вайгач, арх. Земля Франца-Иосифа. Тектоно-стратиграфические комплексы, выделяемые на сейсмопрофилях, были привязаны к данным бурения на акватории (общее число скважин — более 50) и геологических съемок на сопредельной суше. Анализ потенциальной нефтегазоносности исследуемых бассейнов выполнен на основе методики моделирования углеводородных систем, включающей расчет истории погружения, прогресса, нефтегазогенерации и миграции углеводородов.

**Достоверность полученных результатов** определяется разнообразием данных, лежащих в основе выделения обозначенных этапов геодинамической истории региона. Комплексное использование данных сейсморазведки, бурения на акватории и геологических съемок на прилегающих территориях суши обеспечивает высокую достоверность полученных результатов.

**Личный вклад автора.** Автор принимал личное участие в изучении всего доступного кернового материала, представленного в Апрелевском отделении ВНИГНИ по скважинам акватории Баренцева моря. Автор лично занимался межскважинной корреляцией опорных горизонтов по всей региональной сети сейсморазведочных профилей. В рамках исследования им разработана методика экспресс-пересчета изохрон, полученных по результатам корреляции геолого-геофизических профилей, из масштаба времени в масштаб глубин. В результате обобщения всего изученного материала, автор составил палереконструкции геологического строения Восточно-Баренцевоморского и Северо-Карского бассейнов на ключевые моменты их тектонической истории. На основе полученных моделей геологического строения автором выполнен комплекс моделирования углеводородных систем исследуемого региона.

**Научная новизна.** Предложена непрерывная поэтапная модель геодинамического развития Восточно-Баренцевоморского бассейна с франского века позднего девона до настоящего времени, систематизирующая имеющиеся данные бурения, сейсморазведки и геологических съемок на прилегающих территориях суши, включая данные, полученные за последнее десятилетие. Для выделенных этапов геологического развития региона построены палереконструкции, восстанавливающие тектонические и физико-географические условия седиментации. Проанализирован механизм прогибания фундамента Восточно-Баренцевоморского бассейна в раннетриасовое время. На основе новой модели геологического развития Восточно-Баренцевоморского и Северо-Карского бассейнов выполнен прогноз их нефтегазоносности.

**Практическое значение.** Восстановление истории развития региона необходимо для глубинного понимания процессов, сформировавших его современное геологическое строение и закономерности размещения полезных ископаемых. Уточнение и дополнение существующих моделей тектонического развития Восточно-Баренцевоморского и Северо-Карского регионов позволит повысить качество прогнозирования потенциальных залежей углеводородов.

**Защищаемые положения:**

1. Формирование Восточно-Баренцевоморского бассейна связано с позднедевонским рифтингом и последующим пострифтовым погружением. В истории

Восточно-Баренцевоморского бассейна выделяются следующие этапы: 1) синрифтовое прогибание во франское время; 2) начало пострифтового погружения во фран-фаменское время; 3) реактивация рифтинга в визейское время; 4) продолжение пострифтового погружения, образование некомпенсированной впадины к позднекаменноугольному-пермскому времени; 5) резкое заполнение осадками глубоководной впадины в раннем триасе; 6) этап развития бассейна с морскими, мелководно-морскими и континентальными условиями осадконакопления на фоне эпизодического роста и размыва локальных поднятий в среднетриасовое-барремское время; 7) базальтовый вулканизм и внедрение интрузий силлов около 123-125 млн лет назад; 8) платформенное развитие в аптско-поздне меловое время; 9) этап деформаций и эрозии в кайнозой без корректной хронологии событий; 10) ледниковая эрозия в четвертичное время.

2. В начале триаса уже существовал некомпенсированный бассейн глубиной до 1—1,5 км, сформировавшийся в результате пострифтового погружения и заполнившийся к концу раннего триаса. Погружение фундамента в раннем триасе было обусловлено не тектоническими причинами, а дополнительным весом привнесенного с востока осадочного материала.

3. На основе новой модели геодинамической развития региона создана новая модель погружения, прогрева, нефтегазогенерации и миграции углеводородов для Восточно-Баренцевоморского и Северо-Карского осадочных бассейнов

**Апробация работы.** Отдельные части работы докладывались на российских и международных конференциях: XLIX Тектоническое совещание, посвященное 100-летию академика Ю.М. Пушаровского «Тектоника современных и древних океанов и их окраин» г. Москва 2017 г., Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в геологии нефти и газа – 2017» г. Москва 2017 г., Пятая молодежная тектонофизическая школа-семинар "Современная тектонофизика. Методы и результаты" 9-13 октября 2017 г. Москва. По теме диссертации опубликовано 7 работ, включая тезисы конференций, из них 3 статьи в журналах, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ.

**Структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав и заключения. Общий объем работы составляет 165 страниц, в том числе 49 рисунков и 1 таблица. Список литературных источников содержит 120 наименований.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю д.г.-м.н., проф. Анатолию Михайловичу Никишину за всестороннюю поддержку и помощь в подготовке диссертационной работы.

Автор благодарен сотрудникам кафедры региональной геологии и истории Земли Л.Ф. Копаевич, А.В. Ершову, М.В. Коротаеву, П.А. Фокину, Е.Ю. Барабошкину, А.В. Тевелеву за неоднократные консультации и ценные замечания, позволившие повысить качество работы.

За всестороннюю помощь в практической работе с геологическими данными выражается глубокая признательность сотрудникам компании «Роснефть»: Д.Ю. Голованову, В.А. Никитиной, О.А. Кровушкиной, Н.К. Мясоедову, Н.А. Малышеву, В.Е. Вержбицкому, Л.Ф. Клещиной, Е.О. Малышевой, А.А. Валюцовой, В.А. Никишину, А.С. Попову, О.В. Богоявленской, М.А. Баклан, А.С. Федичкиной.

Выражается благодарность компании «Schlumberger» за предоставленную возможность использовать ПП «Retromod» в рамках академической лицензии. Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного исследования № 18-35-00133 и научного проекта № 18-05-00495.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи, основные положения, выносимые на защиту, показан фактический материал, личный вклад автора, также определяется научная новизна и практическая значимость диссертационного исследования.

### Глава 1. Геолого-геофизическая изученность

В главе рассматриваются физико-географическое положение, история изучения региона, современные источники данных о геологическом строении изучаемой

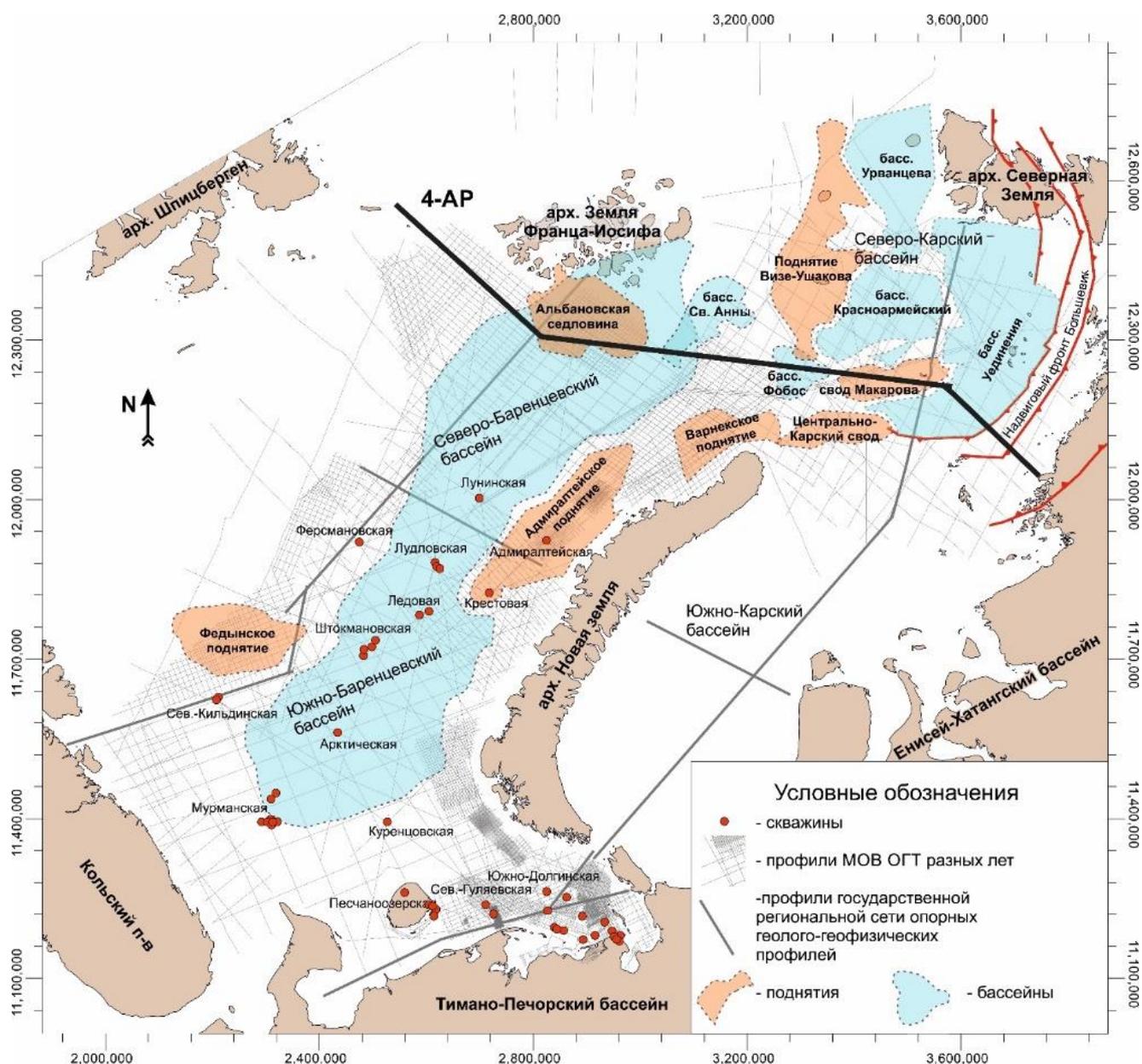


Рис. 1. Геолого-геофизическая изученность Восточно-Баренцевоморского — Северо-Карского региона. В работе использованы все указанные сейсмические профили и скважины.

территории (рис. 1), а также существующее на сегодняшний момент тектоническое районирование исследуемых бассейнов.

Специфика изучения осадочных бассейнов на акватории заключается в их труднодоступности для непосредственного наблюдения, в связи с чем возрастает значимость изучения геологии прилегающих территорий. Для реконструкции возможных геодинамических обстановок, существовавших на территории Восточно-Баренцевоморского осадочного бассейна, необходимыми являются данные о палеогеодинамике сопредельных территорий арх. Новая Земля, о. Вайгач, о. Колгуев, арх. Земля Франца-Иосифа. Для Северо-Карского моря важную роль играют данные арх. Северная Земля.

## **Глава 2. Литолого-стратиграфическая характеристика разреза.**

В условиях недостаточной изученности бурением большую роль в понимании стратиграфии изучаемого региона играют данные с прилегающих территорий. В главе сведены данные по арх. Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, о. Колгуев, о. Вайгач, Тимано-Печорской области, северной части арх. Северная Земля, приведенные в объяснительных записках к листам Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000. Рассмотрены существующие на сегодняшний день обоснования выделения соответствующих стратиграфических подразделений и их вещественный состав. Составлена общая стратиграфическая схема для всего района исследований, включающая данные о литологии выделяемых подразделений и основных границах региональных несогласий (рис. 2).

## **Глава 3. Геологическая модель Восточно-Баренцевоморского и Северо-Карского бассейнов по результатам сейсмической интерпретации.**

### *3.1. Современное состояние вопроса.*

В связи с труднодоступностью осадочных бассейнов Баренцевоморского региона для непосредственного изучения на сегодняшний день существуют разные точки зрения на некоторые вопросы их стратиграфии, геологического строения и тектонической эволюции. В истории прилегающей суши — Новой Земли, о. Колгуев, Тимано-Печорской области выделяется общие геодинамические закономерности. Одним из наиболее ярко проявленных эпизодов тектонической истории для территорий, сопредельных с Восточно-Баренцевоморским бассейном, является позднедевонский эпизод рифтинга. С ним связана поверхность углового несогласия, которое в разных частях сопредельной суши затрагивает породы от рифейско-вендских (условно) и, более определенно, ордовикских в Тимано-Печорской области до силурийских на о. Вайгач и ниже- и среднедевонских на арх. Новая Земля. Предфранское несогласие маркирует переход к новому этапу тектонической истории всего региона. К нему приурочен эпизод обширного базитового магматизма, с которым связаны вулканоплутонические комплексы, выделяемые на Новой Земле (костиншарский базальт-долеритовый комплекс франского возраста), о. Вайгач (вайгачский габбро-долеритовый комплекс франского возраста), и в Тимано-Печорской области (базальты и долериты средне-верхнедевонского возраста).

### *3.2. Выделение сейсмокомплексов в Восточно-Баренцевоморском бассейне.*

Построение геологической модели Восточно-Баренцевоморского бассейна выполнялось на основе выделения тектоностратиграфических комплексов по сети опорных

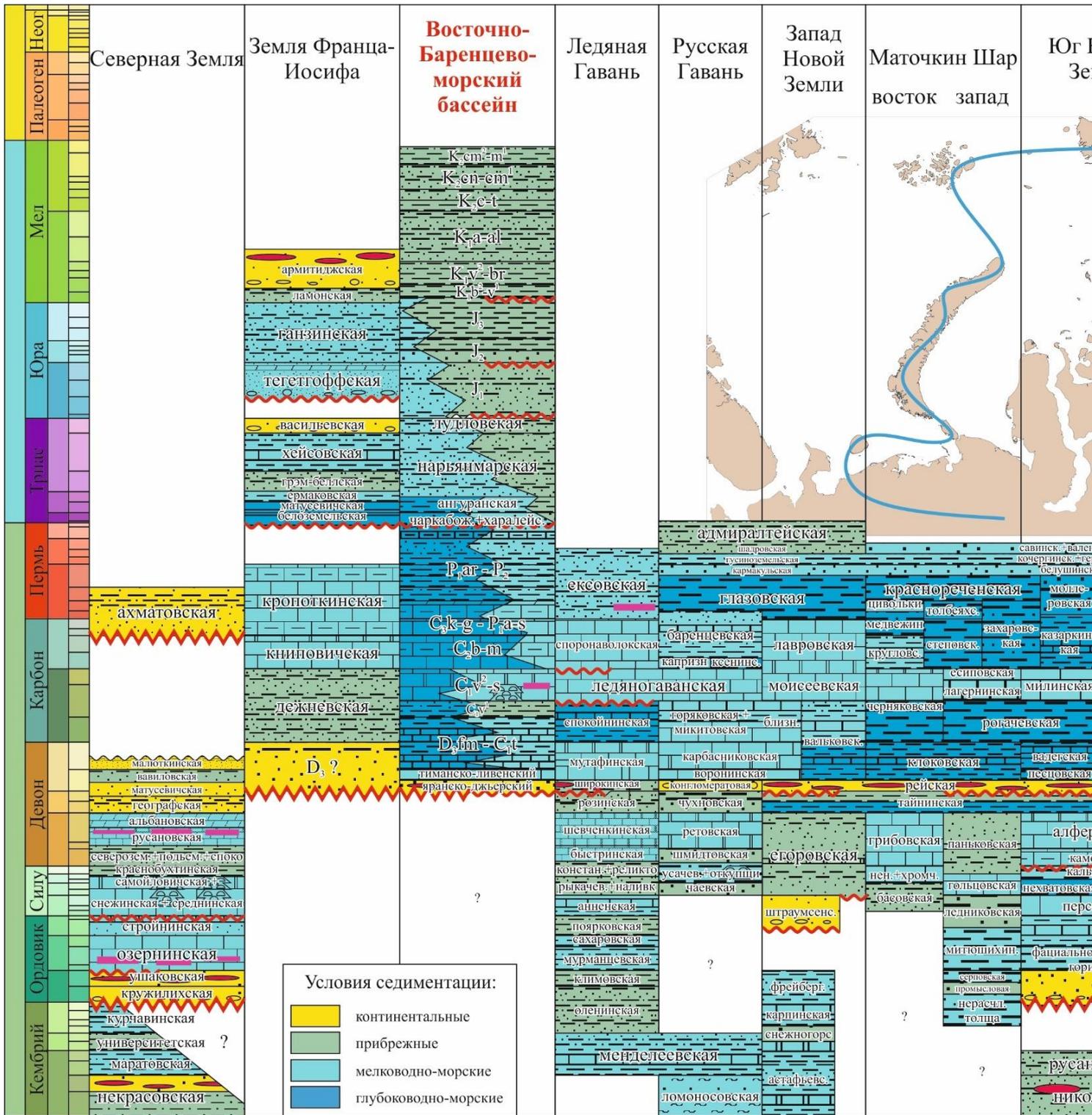
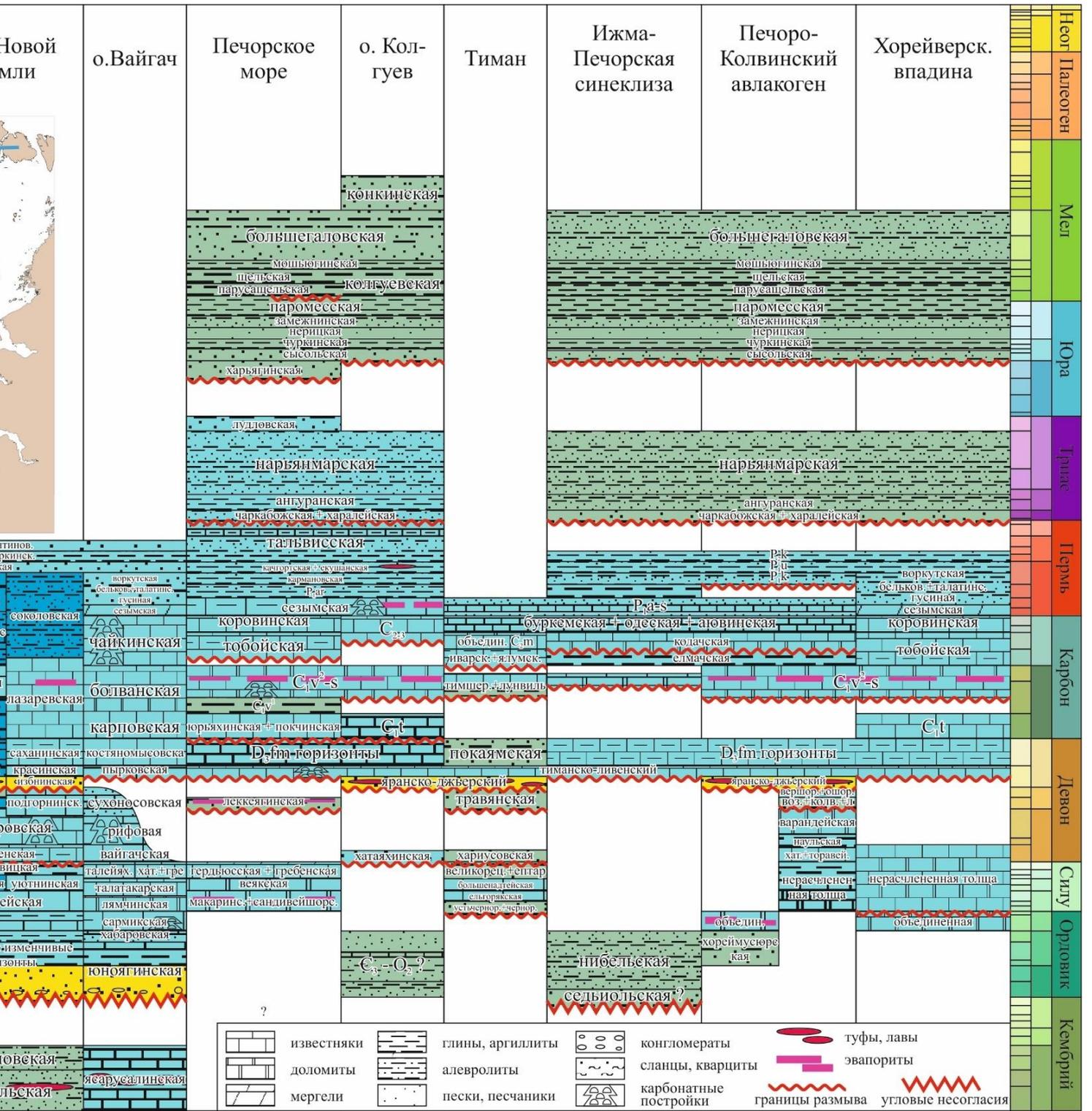


Рис. 2. Стратиграфическая схема Восточно-Баренцево-морского бассейна



бассейна и прилегающих территорий (составила Старцева К.Ф.).

региональных сейсморазведочных профилей (см. рис. 1) и их увязке со скважинными данными. Границы палеозойских сейсмических комплексов, начиная с отложений каменноугольного возраста, были увязаны с разрезами скважин, пробуренных на Северо-Гуляевской, Паханческой и Адмиралтейской площадях. Границы мезозойских отложений на сейсмических профилях были привязаны к разрезам скважин на Арктической, Куренцовской, Мурманской, Северо-Кильдинской, Лудловской, Штокмановской площадях. Помимо этого, в геологической модели Восточно-Баренцевого бассейна учитывались данные о строении и составе осадочных толщ разного возраста, изученных на островах арх. Новая Земля и Земля Франца-Иосифа [Старцева и др., 2017].

Разрез осадочного чехла Восточно-Баренцевоморского бассейна начинается с комплекса заполнения локальных впадин в акустическом фундаменте (рис. 3). Впадины ограничены разломами и представляют собой грабены и полуграбены шириной до 30 и более км и мощностью отложений в них от 1.5 до 3 км. По характеру заполнения, впадины могут быть отнесены к структурам растяжения, а слагающие их породы, по скважинным данным, древнее, по крайней мере, каменноугольных. Поскольку грабены на сеймопрофилях прослеживаются вблизи западной части Новой Земли, то геодинамические причины, обусловившие их образование, должны были проявиться и в геологической истории самого архипелага. Ближайшим тектоническим событием, которое могло бы привести к образованию грабенов до начала каменноугольного периода, на суше оказывается позднедевонский рифтинг, сопровождавшийся базальтовым магматизмом и формированием региональной поверхности углового несогласия. По аналогии с отложениями Новой Земли, в Восточно-Баренцевоморском выделяется синрифтовый комплекс позднего девона (франа). Наличие раннепалеозойских дофранских отложений в бассейне вполне вероятно, однако в соответствии с результатами сейсмической интерпретации предполагается, что они

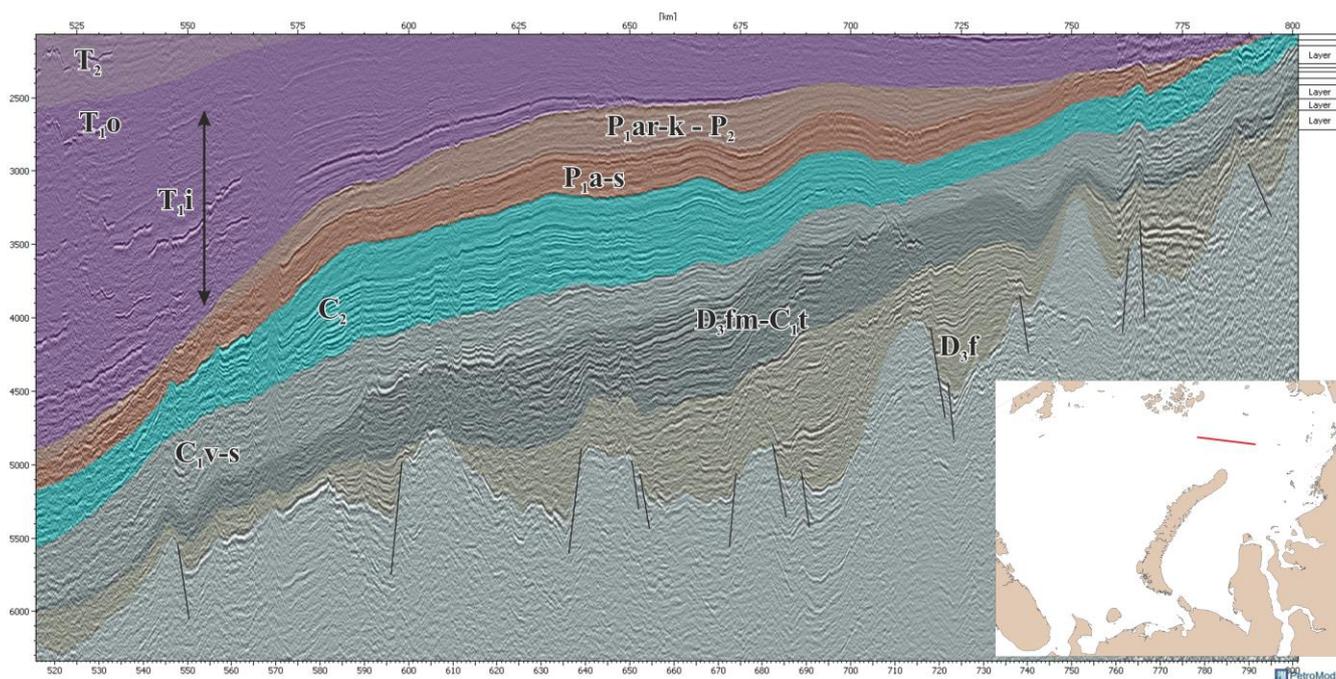


Рис. 3. Палеозойские сейсмокомплексы северо-восточной части Восточно-Баренцевоморского бассейна.

входят в комплекс пород, слагающих акустический фундамент, и в разной степени деформированы.

По результатам сейсмической интерпретации, в Восточно-Баренцевоморском осадочном бассейне выделяются следующие тектоно-стратиграфические комплексы (рис. 4):

- 1) Синрифтовый комплекс отложений позднего девона (франа);
- 2) Комплекс начала пострифтового заполнения глубоководного бассейна позднего девона (фамена) – раннего карбона (турне);
- 3) Комплекс реактивации синрифтового погружения раннего карбона (визе);
- 4) Комплекс карбонатного (на юге) и клиноформного терригенно-карбонатного (на севере) осадконакопления, формировавшийся на фоне роста локальных поднятий в позднем карбоне – ранней перми (асель — сакмар);
- 5) Комплекс начала терригенного заполнения глубоководной впадины ранней (арт — кунгур) и поздней перми;
- 6) Комплекс лавинного заполнения глубоководного бассейна терригенными отложениями раннего триаса;
- 7) Начало платформенной стадии развития бассейна, комплекс роста локальных поднятий среднего-позднего триаса — ранней юры;

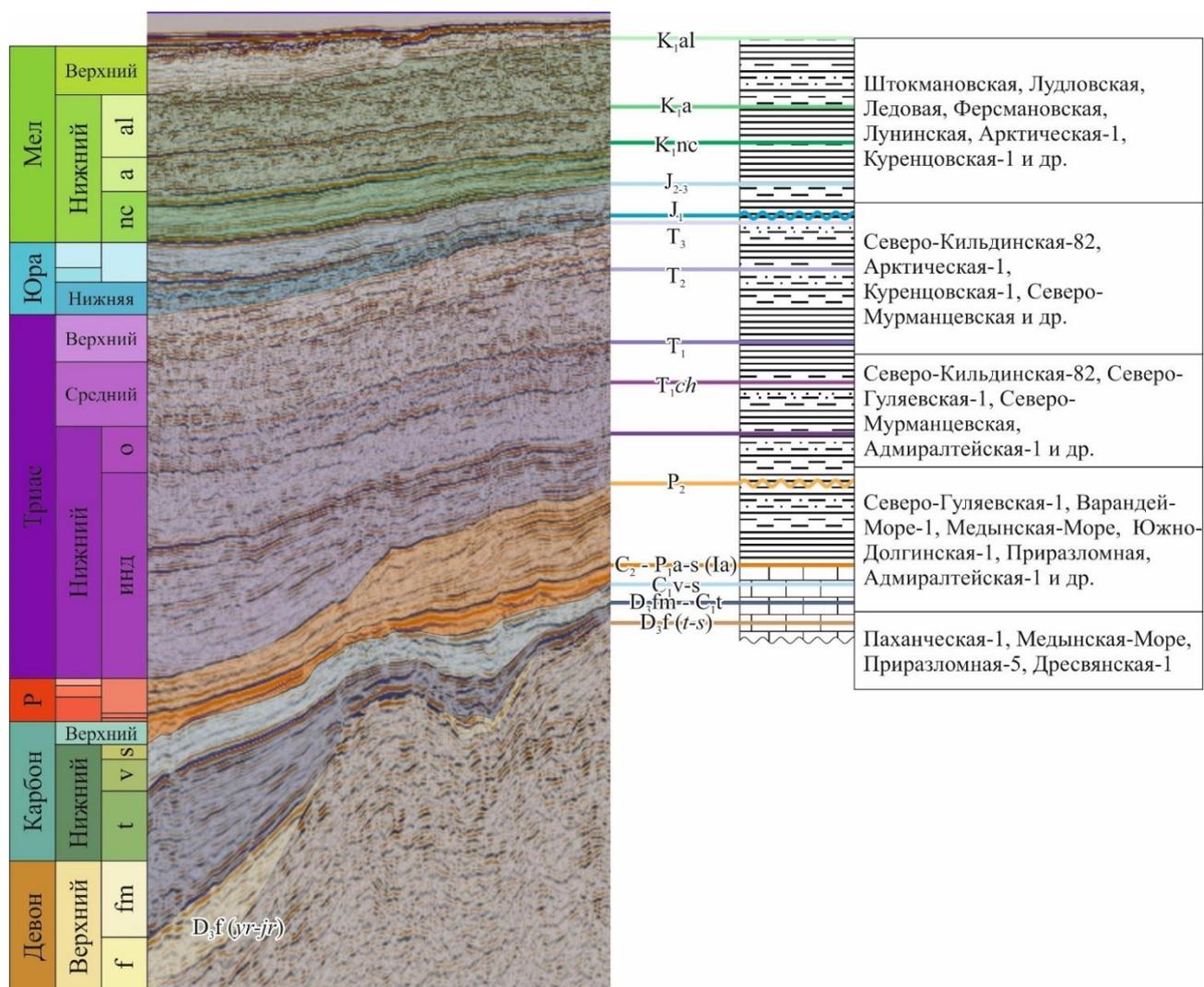


Рис. 4. Схема стратиграфической привязки выделенных сейсмокомплексов по скважинным данным.

- 8) Комплекс роста локальных поднятий средней-поздней юры — неокома;
- 9) Комплекс платформенного чехла апта — позднего мела.

### 3.2. Выделение сейсмокомплексов в Северо-Карском бассейне.

Построение геологической модели Северо-Карского осадочного бассейна выполнялось на основе выделения тектоностратиграфических комплексов по сети опорных региональных сейсморазведочных профилей, полученных в 2012 году компанией «Геология без границ». Поскольку в настоящее время осадочные разрезы Северо-Карского моря не охарактеризованы бурением, датирование сейсмокомплексов проводилось на основе их соотнесения с тектоно-стратиграфическими единицами прилегающей суши. Осадочные толщи бассейнов Северо-Карского моря пространственно и стратиграфически связаны с осадочными толщами, которые выходят на дневную поверхность островов Пионер и Октябрьской Революции архипелага Северная Земля. В связи с этим несогласия и сейсмофации, выделяемые в пределах бассейнов Северо-Карского моря, соотносились с несогласиями и свитами, описанными в скважинах и обнажениях островов архипелага Северная Земля.

В строении Северо-Карского осадочного бассейна на сейсмопрофилях выделяется два основных структурных этажа, разделяемых границей предкаменноугольного углового несогласия. Нижний структурный этаж представлен следующими комплексами [Никишин В., 2013, с дополнениями автора]:

1. Синрифтовый комплекс раннего ордовика;
2. Пострифтовый комплекс среднего-позднего ордовика;
3. Комплекс роста локальных поднятий силура;
4. Комплекс роста локальных поднятий раннего девона;
5. Платформенный комплекс среднего — позднего девона;

Комплекс отложений, залегающих выше границы предкаменноугольного несогласия, условно выделяется в качестве комплекса каменноугольно-мезозойского погружения бассейна.

### 4. Глубинная конвертация геологической модели.

В результате интерпретации сейсмических данных были получены границы основных тектоно-стратиграфических подразделений в масштабе времени двойного пробега сейсмических волн. Чтобы получить из них геологические модели в глубинном масштабе, была разработана методика экспресс-пересчета. Предлагаемая методика учитывает скоростную неоднородность разреза, во-первых, по вертикали, связанную с уплотнением пород под весом вышележащих, а во-вторых, по горизонтали, связанную с неоднородностью эрозии, в результате которой под поверхностью размыва оказываются более древние, а, следовательно, и более уплотненные породы. Известно, что величина кайнозойской эрозии в разных частях Восточно-Баренцевоморского бассейна составляет до 1600 м, что могло существенным образом отразиться на распределении скоростных характеристик в осадочном разрезе. В связи с относительной литологической однородностью пород, слагающих осадочный чехол Восточно-Баренцевоморского бассейна, делается допущение, что до начала эрозии распределение скоростей по глубине в разных точках бассейна было примерно одинаковым. Следовательно, зная закон интервальных скоростей в одной точке разреза, можно применить его к другой точке разреза, сдвинув на разницу величин эрозии. Подобным

образом, через скоростной закон, полученный для скважины Арктическая-1, были рассчитаны скорости сейсмических волн для осадочного разреза вблизи скважины Лудловская-1, и полученные величины в первом приближении совпали с собственными данными по скважине Лудловская-1. Функция интервальных скоростей, полученная по скважине Арктическая-1, была экстраполирована на глубину в соответствии со справочными данными. С использованием количественных оценок мощностей эродированных отложений на разных стратиграфических уровнях в Восточно-Баренцевоморском и Северо-Карском бассейнах, данная функция была применена для пересчета результатов сейсмической интерпретации из времен в глубины.

### **5. Геодинамическая история Восточно-Баренцевоморского и Северо-Карского бассейнов.**

На основе геологической интерпретации сейсмических профилей, проходящих через Восточно-Баренцевоморский и Северо-Карский осадочные бассейны, была выполнена реконструкция региона на ключевые этапы его геодинамической истории. В связи с тем, что в Восточно-Баренцевоморском бассейне породы, подстилающие синрифтовые отложения позднего девона, в настоящее время не стратифицируются и рассматриваются в составе акустического фундамента, история погружения Восточно-Баренцевоморского бассейна была реконструирована начиная с позднего девона. История погружения Северо-Карского бассейна была реконструирована начиная с раннего ордовика.

В раннем ордовике (рис. 5, А) на территории Северо-Карского бассейна в результате синрифтового погружения был заложен ряд грабенообразных прогибов, регистрируемых в бассейнах Уединения, Краснофлотском, Присевероземельском, Красноармейском, Урванцева и Седова.

По аналогии с кружилихской свитой нижнего ордовика, выделяемой на островах арх. Северная Земля, в основании разреза синрифтовых впадин предполагается накопление песчаников с прослоями известняков, гравелитов, конгломератов, вулканогенно-обломочных пород. Верхние части разреза нижнеордовикских толщ могут быть представлены песчаниками, мергелями, глинистыми алевролитами, с прослоями гипсов, аргиллитов, известняков и эффузивных пород, в соответствии с разрезом ушаковской свиты нижнего ордовика.

В среднем — позднем ордовике (см. рис. 5, Б) происходило пострифтовое погружение, выразившееся в переходе от седиментации в узких локальных впадинах к осадконакоплению на всей территории бассейна. В начале среднего ордовика происходило образование эвапоритовых отложений, в последствии сформировавших структуры соляной тектоники. В позднем ордовике, вероятно, могли проявляться первые фазы роста малоамплитудных инверсионных поднятий. Среднеордовикские отложения, аналогично разрезам суши, могут быть представлены известняками и доломитами, позднеордовикские — песчаниками и доломитами в разной степени глинистыми и алевролитистыми.

В силуре на фоне продолжающегося пострифтового погружения имели место проявления инверсионной тектоники, вследствие чего на месте грабенов, заложенных в раннем ордовике, начались вертикальные перемещения с обратным знаком по регенерированным разломам. В разрезе силурийских отложений предполагается наличие, в основном, известняков и доломитов.

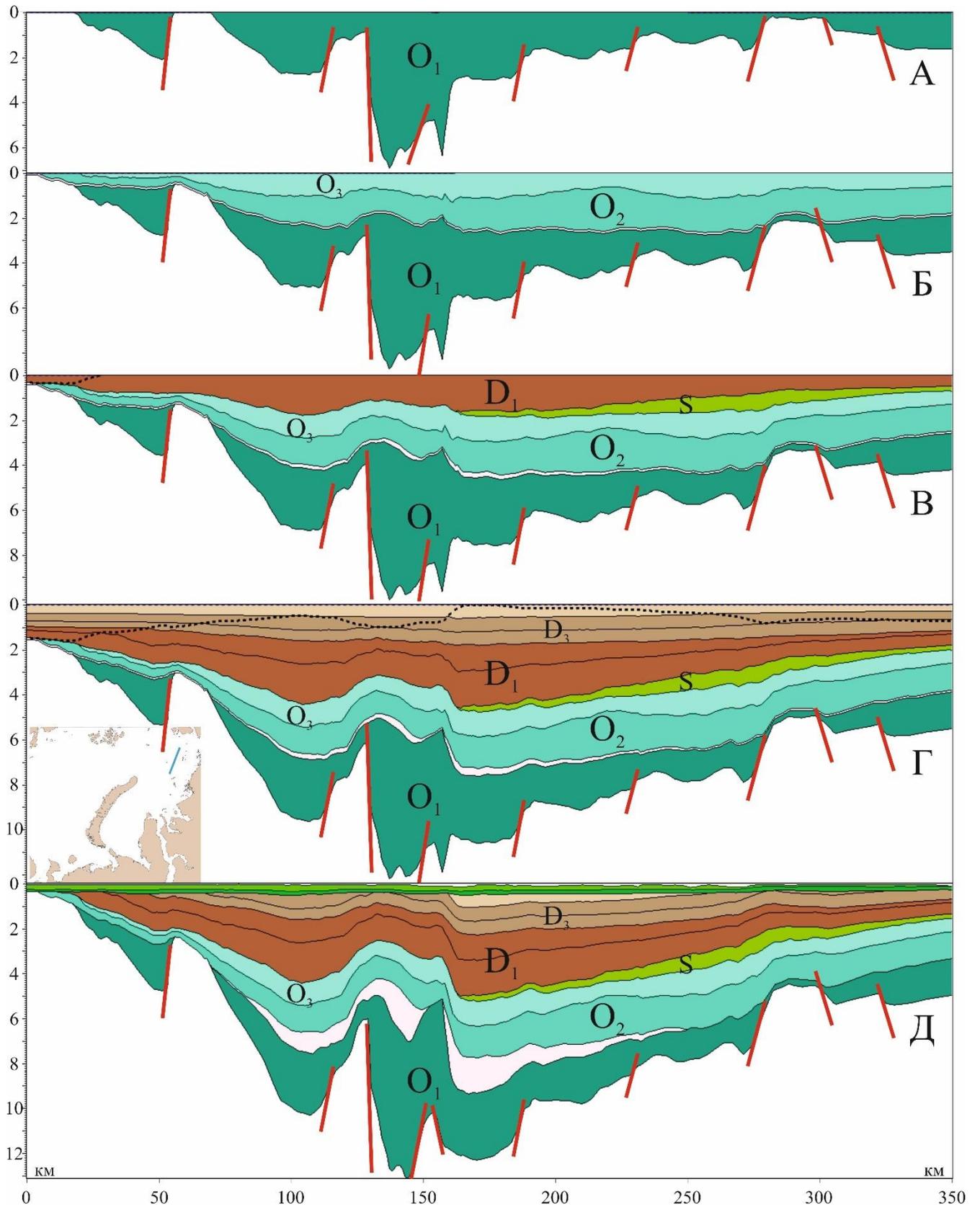


Рис. 5. Реконструкция развития Северо-Каспийского бассейна. Пунктиром показана граница эродированных отложений. Белый слой — горизонт эвапоритов

В раннем девоне (см. рис. 5, В) продолжилось общее погружение. На фоне инверсионных процессов, имевших место на прилегающих территориях, произошло смещение гипоцентра осадочного бассейна. На протяжении раннего девона происходил длительный рост поднятий по сформированным ранее разломам, завершившийся, вероятно, в предсреднедевонское время. В разрезе нижнего девона ожидается наличие двух последовательно сменяющих друг друга трендов изменения режима осадконакопления: первый из них соответствует углублению бассейна и связан с переходом от накопления кварцево-обломочных терригенных разностей к формированию более глубоководных известняков и доломитов, а второй представляет обмеление бассейна, и связан с обратным переходом от преимущественно карбонатной седиментации к формированию пестроцветных и косослоистых песчано-алевритистых толщ.

В среднем — позднем девоне (см. рис. 5, Г) Северо-Карский бассейн развивался в платформенных условиях с накоплением песчаников, алевролитов и мергелей.

В раннефранское время на территории Восточно-Баренцевского бассейна началось синрифтовое погружение (рис. 6, А). В узких грабенообразных впадинах накапливались разнофациальные обломочные и вулканогенные отложения. Мощность синрифтовых толщ достигала 3—4 км.

В конце позднего девона — начале раннего карбона в Восточно-Баренцевоморском бассейне началось пострифтовое погружение и формирование глубоководной впадины (см. рис. 6, Б). в то время как Северо-Карский бассейн был подвергнут общему воздыманию и эрозии. Впоследствии территория Северо-Карского бассейна в разных его частях оставалась приподнятой на протяжении каменноугольного, пермского, триасового и юрского времени, на фоне прогибания Восточно-Баренцевоморского бассейна. Это привело к тому, что продукты размыва осадочных толщ Северо-Карского моря сносились в Восточно-Баренцевоморского бассейна откладывались в виде конусов выноса в восточной части.

В визейское время произошла активизация рифтового растяжения, в наибольшей степени проявившаяся в западной части Баренцевоморского региона, где были образованы раннекаменноугольные грабены, в число которых входят *Ottar*, *Nordkapp*, *Tiddlybanken* и др. В российском секторе Баренцева моря визейский эпизод растяжения был проявлен в виде реактивации сбросов, образованных во время позднедевонского рифтинга. В грабенах откладывались грубозернистые кварцево-обломочные отложения, в более позднее время сменившиеся известняками, доломитами и ангидритами. В позднем карбоне — ранней перми (асельско-сакмарское время) на фоне пострифтового погружения бассейна имели место проявления инверсионной тектоники. На возникших в результате этого локальных поднятиях происходило формирование карбонатных построек. В южной части Восточно-Баренцевоморского бассейна отложения этого времени связываются с преимущественно карбонатным режимом седиментации. В северной части бассейна в позднекаменноугольное — раннепермское время происходило формирование терригенных и терригенно-карбонатных конусов выноса осадочного материала со стороны относительно приподнятого Северо-Карского бассейна. (см. рис. 6, В), и также отмечается наличие карбонатных построек.

К середине раннепермской эпохи в результате пострифтового погружения сформировалась глубоководная впадина Восточно-Баренцевоморского бассейна,

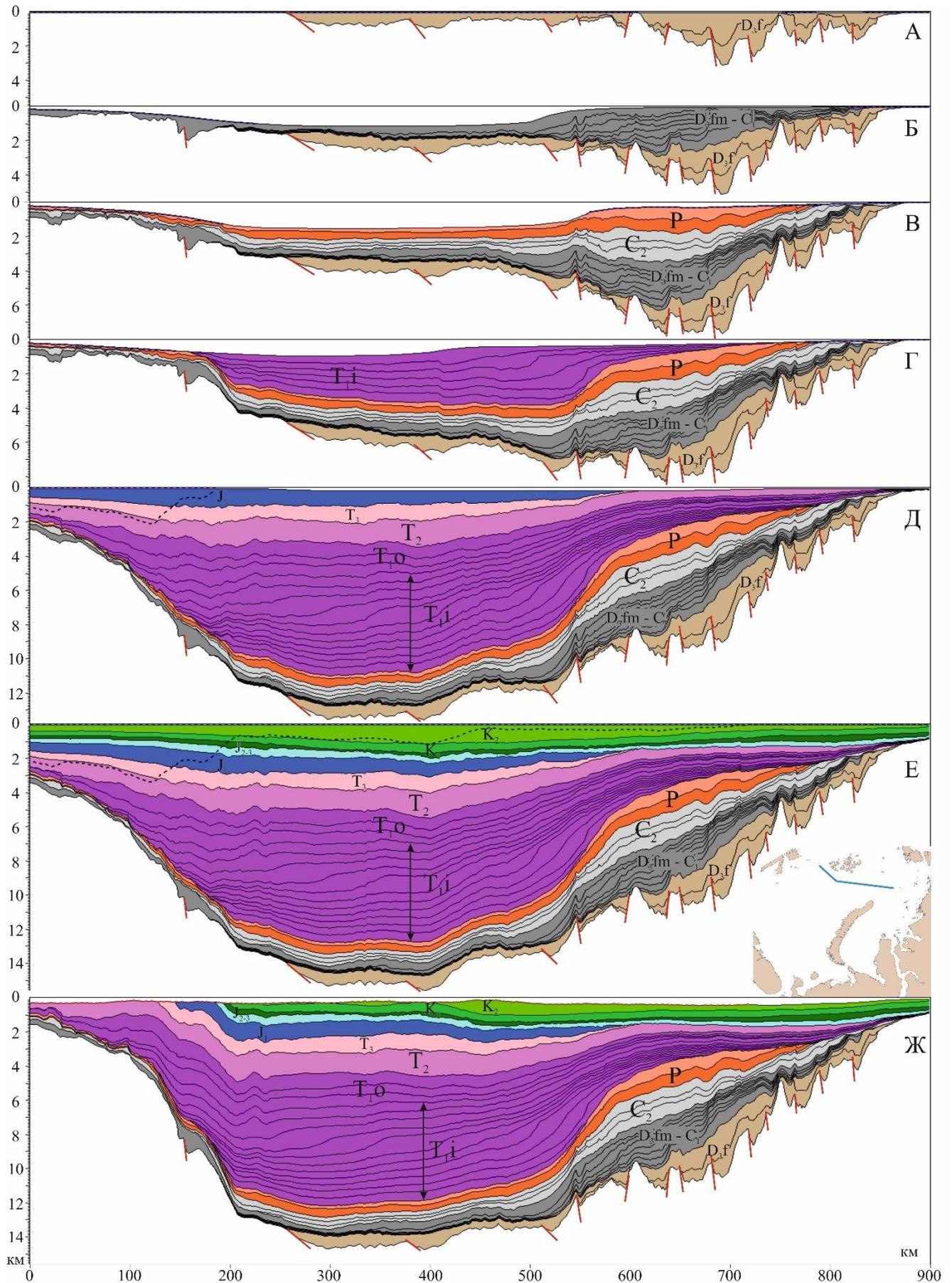


Рис. 6. Реконструкция развития Восточно-Баренцевоморского бассейна.

Пунктиром показана граница эродированных отложений.

на севере заполнявшаяся осадочным материалом, сносимым с приподнятых территорий, существовавших на месте Северо-Карского бассейна. В южной части Восточно-Баренцевоморского бассейна в середине ранней перми произошла резкая смена режима седиментации, ознаменовавшаяся переходом от карбонатного к терригенному осадконакоплению в связи с усилением привноса терригенного материала со стороны Таймыра, с востока началась последовательная проградация глинистых, алевролитовых и песчаных пород.

Начало раннего триаса характеризуется лавинной седиментацией со скоростью до 5 км/млн л и быстрой проградацией дельтовых систем (см. рис. 6, Г). По данным анализа детритовых цирконов, материал для нижнетриасовых отложений Восточно-Баренцевоморского бассейна сносился со стороны Уральского орогена, Таймыра и Западной Сибири. На фоне проградации отложений в сторону морского бассейна, обломочный материал по многочисленным речным системам сносился в Восточно-Баренцевский бассейн. Высокие скорости седиментации привели к тому, что уже к концу индского времени произошло заполнение всей глубоководной впадины.

В среднем, позднем триасе — ранней юре (см. рис. 6, Д) исследуемый регион был перекрыт мощной толщей мелководно-морских и континентальных осадков. В это время начинают проявляться вертикальные деформации. К концу триасового периода в результате процессов сжатия, начавшихся еще в среднетриасовое время, на месте позднедевонских и раннекаменноугольных грабенов, инвертированных в позднем карбоне, произошла регенерация древних разломов и оформились поднятия — поднятие Альбановское, Федынского и др. Воздымание в одних частях бассейна происходило одновременно с продолжающейся седиментацией в других его частях, где накапливались преимущественно морские и мелководно-морские отложения. Основной эпизод деформаций приходится на в предсреднеюрское время.

После выравнивания территории в средней–поздней юре произошло объединение Северо-Карского и Восточно-Баренцевоморского бассейнов в состав единого бассейна платформенной седиментации. В среднеюрское – позднеюрское время отложения накапливались в спокойных мелководно-морских условиях. В начале мелового периода на изучаемой территории проявились пологоскладчатые и разрывные нарушения [Никишин, Старцева, 2015], а также возобновился рост поднятий. Тектонические движения происходили на фоне седиментации, имевшей в неокомское время характер клиноформного заполнения бассейна. В предаптское время произошел заключительный эпизод раннемеловых деформаций. Примерно на границе баррема и апта и в апте в районе Земли Франца Иосифа проявился трапповый магматизм, а на всей территории Восточно-Баренцевского бассейна произошло внедрение многочисленных силлов и даек. В результате этого события практически на всей территории Восточно-Баренцевоморского бассейна осадочные толщи (и в особенности – терригенные породы нижнего триаса) оказались пронизаны интрузиями базальтового состава.

В аптское – позднемеловое время произошло выравнивание палеорельефа, в результате чего аптскими – позднемеловыми отложениями оказались перекрыты все сформированные ранее поднятия. В спокойных платформенных условиях происходило накопление мелководно-морских и континентальных терригенных отложений (см. рис. 6, Е).

В кайнозойское время территория Восточно-Баренцевоморского бассейна оказалась подвергнута пологоскладчатым деформациям с ростом антиклинальных поднятий, а в квартере — ледниковой эрозии (см. рис. 6, Ж). Мощность отложений, оказавшихся эродированными по итогам этих событий, в некоторых частях бассейна составила по меньшей мере около 2 км.

### *5.1. Реконструкция растяжения коры*

Данные реконструкции тектонической истории Восточно-Баренцевоморского бассейна были использованы для оценки растяжения коры в основании его осадочного чехла. В основе методики оценки лежит термоизостатическая модель Мак-Кензи, которая описывает термальное погружение фундамента рифтовых осадочных бассейнов — другими словами, общее погружение фундамента за вычетом того вклада, который дает нагрузка вышележащих толщ. Исходными данными для расчета модели Мак-Кензи являются такие параметры, как коэффициент утонения коры и мантии, мощность коры и мантийной части литосферы до растяжения, начало и конец синрифтового погружения. В результате расчета строится график термального погружения от времени и график изменения тепловых потоков в основании осадочного чехла. Из геологического разреза методом бэкстриппинга можно узнать реальные скорости тектонического погружения фундамента в данной точке, и сравнить их с расчетными. Приводя результаты расчета модели Мак-Кензи в соответствие с реальным погружением, можно подобрать исходные параметры модели, в том числе, коэффициент утонения коры.

Общей закономерностью кривых бэкстриппинга, предварительно рассчитанных в разных точках Восточно-Баренцевоморского бассейна, является наличие двух основных эпизодов наиболее быстрого погружения — в позднедевонское-раннекаменноугольное время и в раннем триасе (рис. 7). Позднедевонское погружение, согласно принятой геологической модели, связывается с синрифтовыми процессами, также проявившимися в раннефранское время в Тимано-Печорской области и на Новой Земле. Для раннетриасового погружения, по результатам сейсмической интерпретации, нет оснований утверждать о его связи с рифтингом. На это указывают следующие факты: 1) в Восточно-Баренцевоморском бассейне отсутствуют такие структуры синрифтового сбросообразования, которые могли бы быть приурочены к раннетриасовой эпохе; 2) осадконакопление в пермско-триасовое время имело характер не локального заполнения грабенообразных впадин, а регионального лавиннообразного заполнения единого бассейна седиментации. Мощность раннетриасовых пород в центральных частях Восточно-Баренцевоморского бассейна достигает 5—7 км, а время их отложения составляет не более 2—3 млн лет. Для того, чтобы практически единомоментно вместить такое количество осадка, необходим был достаточный объем пространства аккомодации, т. е. перед началом раннего триаса в Восточно-Баренцевоморском регионе должна была существовать единая глубоководная впадина. Такая впадина могла образоваться в результате пострифтового погружения Восточно-Баренцевоморского бассейна в условиях недостатка осадочного материала, сносимого с суши. При этом по данным скважин, пробуренных в центральных частях

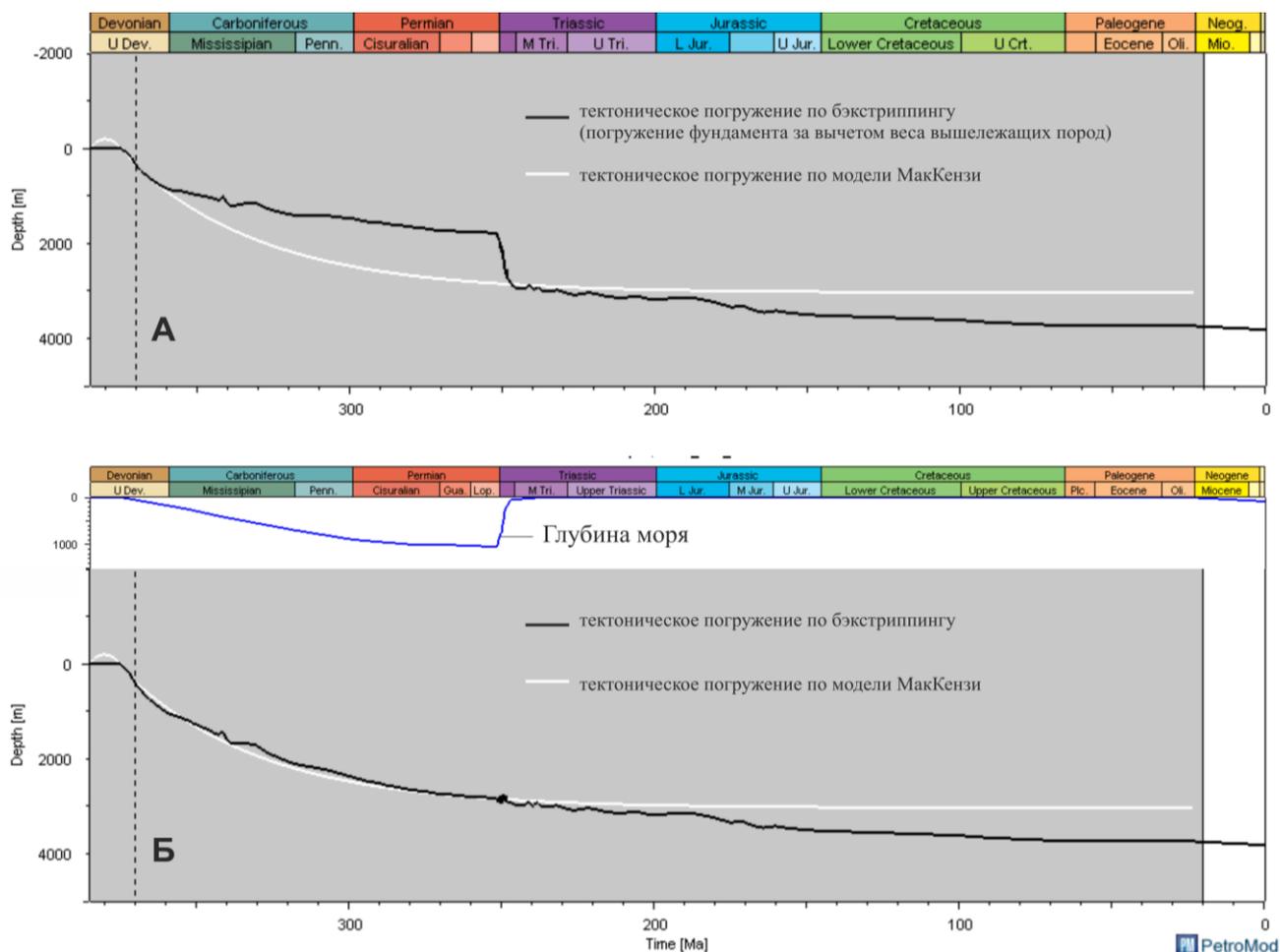


Рис. 7. Калибровка тектонического погружения. Кривые тектонического погружения: А – до и Б – после задания палеобатиметрии.

Южно-Баренцевского бассейна, верхи нижнетриасовых отложений содержат породы со следами аэрации, соответственно, уже в конце раннего триаса глубина моря в этих местах составляла не более первых десятков метров. Таким образом, при расчете кривых бэкстриппинга необходимо учитывать формирование глубоководной впадины, заполнившейся в начале раннего триаса.

По результатам моделирования тектонического погружения, глубина единого бассейна седиментации на территории Восточно-Баренцевоморского региона перед началом раннего триаса составляла около 1—1.5 км. По результатам геометрической реконструкции растяжения, в результате позднедевонского рифтинга общее удлинение разреза, в настоящее время имеющего длину 1340 км, составило около 170 км.

## 6. Углеводородное моделирование.

В результате интерпретации геолого-геофизических данных, были получены геологические модели строения и истории тектонического развития Восточно-Баренцевоморского и Северо-Карского осадочных бассейнов. На основе геологических моделей был выполнен комплекс моделирования углеводородных систем изучаемых бассейнов. В рамках данного комплекса производился последовательный расчет 3-х типов моделей: 1) реконструкция истории погружения и эволюции структурного плана основных поверхностей; 2) моделирование истории прогрева осадочных толщ; 3) моделирование нефтегазогенерации, эмиграции и аккумуляции углеводородов (УВ). Для исследуемых бассейнов были выделены основные элементы

углеводородных систем — нефтегазоматеринские толщи (НМТ), коллектора и покрышки. Моделирование проводилось с использованием программного пакета "Petromod" компании Schlumberger в рамках академической лицензии.

### *6.1. Моделирование Восточно-Баренцевоморского бассейна.*

По данным геохимических исследований отложений Новой Земли и Баренцевоморской впадины, НМТ для Восточно-Баренцевоморского бассейна были выделены в отложениях поздней юры (баженовская свита), ранней юры, позднего триаса, среднего триаса, раннего триаса, поздней перми, ранней перми, позднего карбона, раннего карбона и позднего девона. Распространение НМТ, коллекторов и покрышек в разрезе Восточно-Баренцевоморского бассейна было задано на основе секвентного анализа с использованием скважинных данных.

Калибровка моделей погружения и прогрева выполнялась по скважинам Северо-Кильдинская-82, Арктическая-1, Куренцовская-1, Северо-Гуляевская-1. В качестве палеотермальных реперов использовались данные по отражательной способности витринита, замеры современных температур и теплопроводности. Наличие палеотемпературных реперов для разных частей бассейна позволило задать такой входной параметр тепловой модели, как распределение тепловых потоков, не одним и тем же для всего бассейна, а изменяющимся в зависимости от геодинамических условий.

По результатам выполненного моделирования, в пределах Восточно-Баренцевоморского бассейна основной эпизод генерации углеводородов в центральной его части имел место в конце раннего — начале среднего триаса в связи с резким прогибанием под весом отложений проградирующей авандельты. В конце мелового периода сформировались латеральные потоки УВ, обеспечившие заполнение антиклинальных и структурно-стратиграфических ловушек в краевых частях бассейна. Смоделировано образование залежи УВ в отложениях нижнего триаса в районе Северо-Кильдинского месторождения, а также в верхнепермских терригенных и верхнекаменноугольных — нижнепермских карбонатных отложениях в районе Северо-Гуляевского месторождения. Определены потенциальные нефтегазоносные структуры в западной части бассейна (рис. 8).

### *6.2. Моделирование Северо-Карского бассейна.*

Для осадочных бассейнов Северо-Карского региона НМТ, коллектора и покрышки были заданы на основе экстраполяции данных по скважинам и обнажениям архипелага Северная Земля, ввиду отсутствия данных бурения на акватории. В качестве единственного палеотермального репера было использовано тектоническое погружение бассейна, восстановленное исходя из построенной геологической модели. Требуемые в тепловой модели теплофизические параметры пород (коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость, удельная радиогенная теплогенерация) рассчитывались исходя из принятого литологического состава отложений.

По результатам моделирования в Северо-Карском бассейне, основные эпизоды генерации в центральных частях бассейна имели место в палеозойское время, соответственно, и залежи были образованы тогда же. Сохранность этих залежей к настоящему времени находится под вопросом, ввиду достаточно большого промежутка времени, прошедшего с их формирования. Активная генерация УВ в мезо-кайнозойское время имела место только в краевых частях бассейна, в которых палеозойские

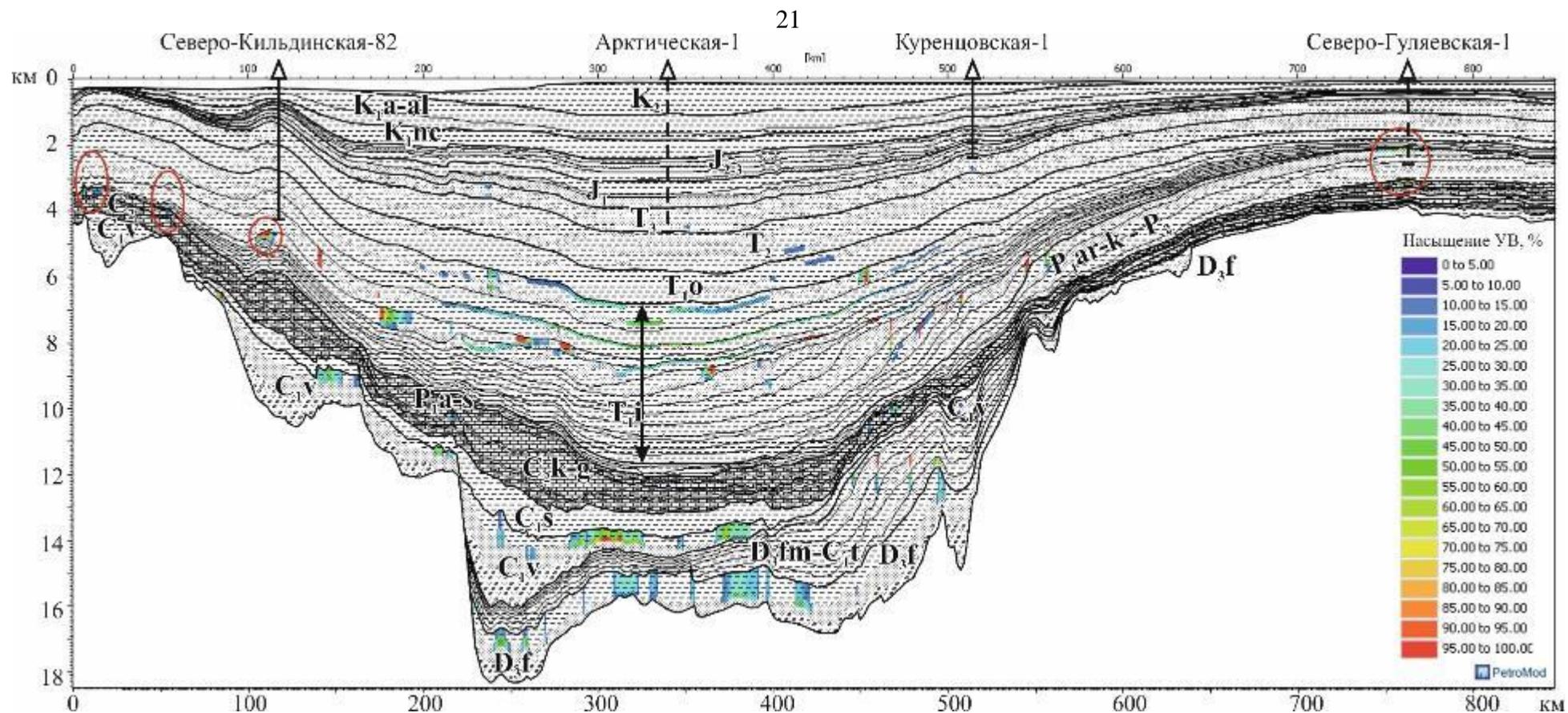


Рис. 8. Насыщение пород углеводородами. Эллипсами отмечены места наибольшего скопления УВ в осадочных толщах.

НМТ в это время вошли в зону нефтегазогенерации. Соответственно, в этих же частях были сосредоточены и основные потоки мигрирующих УВ, обеспечивающих заполнение ловушек. Следовательно, наиболее перспективными областями для поиска залежей нефти и газа являются периферические части Предсевероземельского бассейна, характеризующиеся глубинами погружения фундамента не более 4—5 км, в которых палеозойские НМТ, с одной стороны, погружены достаточно глубоко, чтобы достигнуть области нефтегазогенерации в относительно недавнее геологическое время, и, с другой стороны, не настолько глубоко, чтобы быть перезрелыми [Старцева и др., 2015].

### **Заключение.**

Суммируя результаты выполненной работы, можно выделить следующие этапы геодинамической истории исследуемого региона. Для Северо-Карского бассейна 1) формирование началось в раннем ордовике, в результате синрифтового погружения, сопровождавшегося магматизмом. 2) В среднем — позднем ордовике началось пострифтовое погружение бассейна. 3) С силура по ранний девон происходил эпизодический рост локальных поднятий на фоне продолжающегося погружения в осевых частях Северо-Карского бассейна. 4) В предкаменноугольное время произошло общее поднятие и складчатость, и начался размыв территории.

В Восточно-Баренцевоморском бассейне выделяются следующие этапы геодинамической истории: 1) В позднем девоне (фран) началось синрифтовое погружение, сопровождавшееся базальтовым магматизмом. 2) В позднем девоне (фамен) — раннем карбоне (турне) началось пострифтовое погружение; материал, размываемый на территории Северо-Карского бассейна, отлагался в виде конусов выноса в восточных и северо-восточных частях бассейна. 3) В раннем карбоне (визе) произошел эпизод возобновления движения по позднедевонским разломам. 4) В позднем карбоне — ранней перми на фоне общего погружения формировались локальные поднятия; на юге бассейна преобладала карбонатная, на севере — терригенно-карбонатная клиноформная седиментация. 5) В ранней перми (арт — кунгур): резко усилился привнос терригенного материала с востока; началась проградация в глубоководный бассейн. 6) В раннем триасе лавинообразная седиментация привела к окончательному заполнению глубоководной впадины. 7) Со среднего триаса до позднего мела в осевых частях Восточно-Баренцевоморского бассейна развивались морские, мелководно-морские и континентальные обстановки; на их фоне происходил эпизодический рост локальных поднятий в предсреднеюрское и предаптское время; 8) В апте — позднем мелу происходило платформенное развитие региона, на эпоху около 123-125 млн лет назад приходится фаза траппового магматизма. 9) Кайнозой представляет собой плохо датированную и малоизученную эпоху пологих деформаций и формирования локальных валов. 10) Квартер ознаменовался оледенением и ледниковой эрозией.

По результатам моделирования нефтегазоносных систем Восточно-Баренцевоморского бассейна, наиболее вероятные структуры УВ скопления находятся в юго-западной его части, в областях двух локальных поднятий, на сейсмопрофилях выделяемых северозападнее Северо-Кильдинского месторождения. Залежи УВ прогнозируются для двух стратиграфических уровней: 1) в кровле нижнеиндских клиноформ в терригенных отложениях на глубине 2300—2500 м для западного поднятия и

3200—3400 м для восточного поднятия, и 2) в верхнекаменноугольных — нижнепермских карбонатных отложениях на глубине 3200—3300 м для западного поднятия и 3900—4000 м для восточного поднятия.

### **СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

**Статьи, опубликованные в журналах Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности:**

1. **Старцева К. Ф.**, Ершов А. В., Никишин В. А. История развития углеводородных систем в северной части Карского моря по данным 2d-моделирования // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2015. — № 2. — С. 22–31.
2. Никишин А. М., **Старцева К. Ф.** Пример детального объемного строения сдвиговых зон по данным интерпретации 3d-сейсмических данных // Геология нефти и газа. — 2015. — № 4. — С. 29–33.
3. **Старцева К.Ф.**, Никишин А.М., Малышев Н.А., Никишин В.А., Валющева А.А. Геологическая и геодинамическая реконструкция Восточно-Баренцевского мегабассейна на основе анализа регионального сейсмического профиля 4-AP // Геотектоника. — 2017. — № 4. — С. 51–67.

#### **Иные публикации:**

4. **Старцева К.Ф.**, Никишин А.М., Малышев Н.А., Никишин В.А., Валющева А.А., Малышева Е.О., Попов А.С. Этапы развития Восточно-Баренцевского мегабассейна по результатам интерпретации регионального профиля 4-AP // Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Материалы XLIX Тектонического совещания, посвященного 100-летию академика Ю.М. Пушаровского, 2017. ВНИИгеосистем М, том 2, тезисы, с. 213-216
5. **Старцева К.Ф.**, Никишин А.М., Малышев Н.А., Никишин В.А., Валющева А.А. Геологическая и углеводородная модель Восточно-Баренцевоморского мегабассейна на примере профиля 4-AP // Новые идеи в геологии нефти и газа - 2017: сборник научных трудов (по материалам Международной научно-практической конференции). — ISBN 978-5-906961-62-4. — Издательство Перо Москва, 2017. — с. 349-352.
6. Черенков В.В., Попов А.С., Никишин В.А., Никитина В.А., Голованов Д.Ю., **Старцева К.Ф.**, Никишин А.М. Региональное строение триасового комплекса российского сектора Баренцева моря и прогноз перспектив нефтегазоносности // Новые идеи в геологии нефти и газа - 2017: сборник научных трудов (по материалам Международной научно-практической конференции). — ISBN 978-5-906961-62-4. — Издательство Перо Москва, 2017. — с. 393-397.
7. **Старцева К.Ф.**, Никишин А.М. Пример геометрии разрывных нарушений сдвиговой зоны в условиях реальной геологической среды // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы пятой молодежной тектонофизической школы-семинара. Москва, Россия, 9-13 октября 2017. С. 345-349.