

Комплексное структурно-тектоническое районирование северо-восточной части Баренцевоморского шельфа

Д.С. Никитин^{1*}, Д.А. Иванов²

¹Геологический институт РАН, Москва, Россия

²Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

Большой объем геолого-геофизических данных, полученный в последние десятилетия для северо-восточной части Баренцевоморского шельфа, затрудняет их визуальный сравнительный анализ, что делает актуальным использование автоматизированных методов классификации, в частности методов многомерной статистики.

Рассматриваются перспективы статистического подхода к обработке и интерпретации многопризнаковой геолого-геофизической информации. Определяется объективная результативность методики выделения классов (тектонических структур) в пределах территории исследования статистически обоснованными, независимыми от субъективного фактора методами. Уточнены структурно-тектонические схемы по отражающим горизонтам, на уровне которых происходят основные этапы крупных тектонических перестроек.

Ключевые слова: Баренцевоморский шельф, статистический анализ, структурно-тектоническое районирование

Для цитирования: Никитин Д.С., Иванов Д.А. (2018). Комплексное структурно-тектоническое районирование северо-восточной части Баренцевоморского шельфа. *Георесурсы*, 20(4), Ч.2, с. 404-412. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.4.404-412>

Введение

В северо-восточной части Баренцевоморского шельфа в последние десятилетия выполнен большой объем геолого-геофизических исследований с целью прогнозирования нефтегазоносности (Павлов и др., 2008; Величко и др., 2010; Павлов, 2012; Тектоническая карта., 1998; Хуторской и др., 2008; Шипилов, Тарасов, 1998; Ростов и др., 2002; Федухин и др., 2002 и др).

В статье представлены результаты статистического анализа геолого-геофизической информации, которые помогли уточнить структурно-тектонические схемы по отражающим горизонтам, на уровне которых происходят основные этапы крупных тектонических перестроек. Основой для статистического анализа послужила пространственная модель (структурная и блочная модели, объемная модель разрывных нарушений) северо-восточной части Баренцевоморского шельфа, построенная авторами ранее (Никитин и др., 2017; Никитин, Иванов, 2016; Никитин и др., 2015).

Новые полученные авторами материалы дали основание для обновления и детализации сложившихся интерпретаций предшествующих данных о глубинном строении северо-восточной части Баренцева моря. В статье приведены новые результаты комплексного структурно-тектонического районирования северо-восточной части Баренцевоморского шельфа, полученные в результате статистического анализа геолого-геофизической информации.

Объект исследования

Исследуемая территория географически расположена на северо-востоке арктического шельфа Баренцева моря

между двумя архипелагами островной суши – Землей Франца-Иосифа (ЗФИ) и Новой Землей (Рис. 1).

По характеру сейсмических записей и распределению потенциальных геофизических полей изучаемую площадь можно разделить на две части: северо-западную и юго-восточную. К северо-западной части относится структура Восточно-Баренцевского мегапрогиба. Юго-восточная часть представлена Предновоземельской структурной областью, формируемой поднятиями Адмиралтейства, Панкратьева и Мыса Желания, а также прогибами Седова, Мака, Гольфстрим и Карпова (Рис. 2). Восточно-Баренцевский мегапрогиб, выполненный породами среднепалеозойско-мезозойского возраста, имеет мощность осадочного чехла от 18 до 20 км. Мощность консолидированной части земной коры составляет от 10 до 15 км, граница Мохо находится на глубине от 27 до 33 км. Кора утонена за счет гранитогнейсового слоя (Сакулина и др., 2007).

При переходе от Восточно-Баренцевского мегапрогиба к Предновоземельской структурной области строение земной коры, форма аномалий потенциальных полей и характер магматизма резко меняются. Поверхность фундамента ступенчато воздымается в юго-восточном направлении и сформирована разноуровневыми блоками, дезинтегрированными и надвинутыми на кристаллическое основание Восточно-Баренцевского мегапрогиба. Мощность земной коры увеличивается до 36-38 км, но при этом наблюдаются значительные колебания мощности осадочного чехла и гранитно-метаморфического слоя. Граница между Восточно-Баренцевоморским мегапрогибом и Предновоземельской структурной областью прослеживается по зонам глубинных разломов. В центральной части исследуемого района она выражена в магнитном поле широкой, линейной, северо-восточного простирания, отрицательной аномалией. Аномальная зона

* Ответственный автор: Дмитрий Сергеевич Никитин
E-mail: ndsnomination@mail.ru

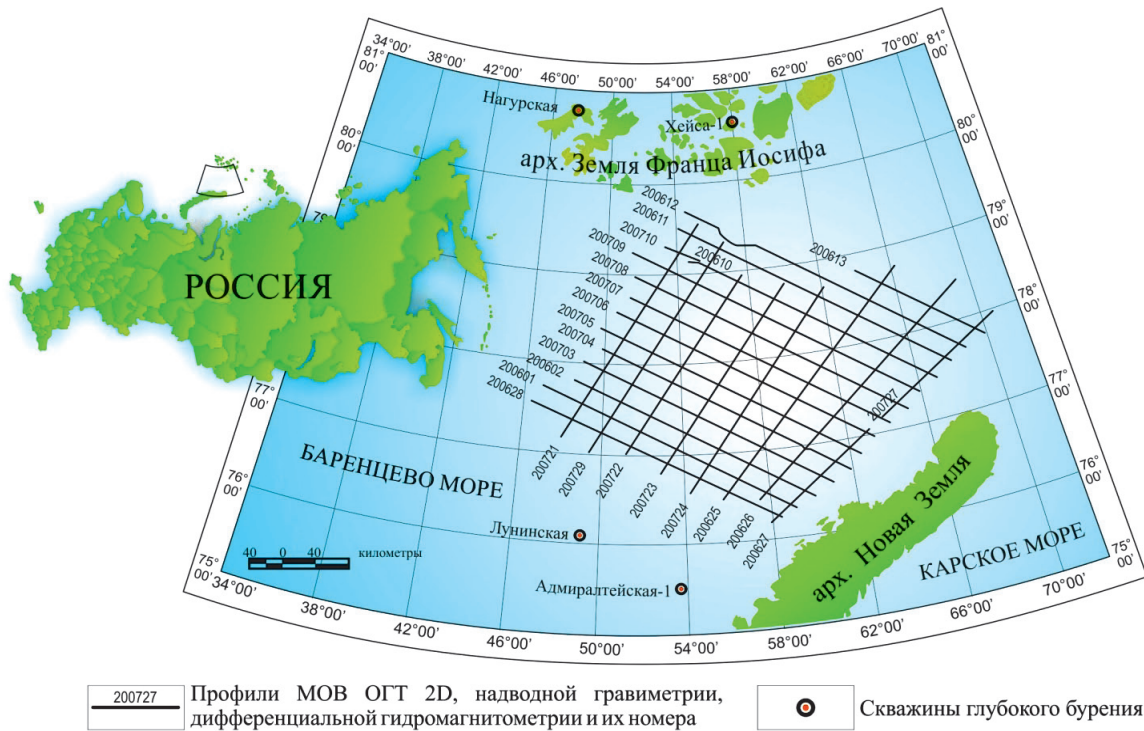


Рис. 1. Схема расположения района исследования

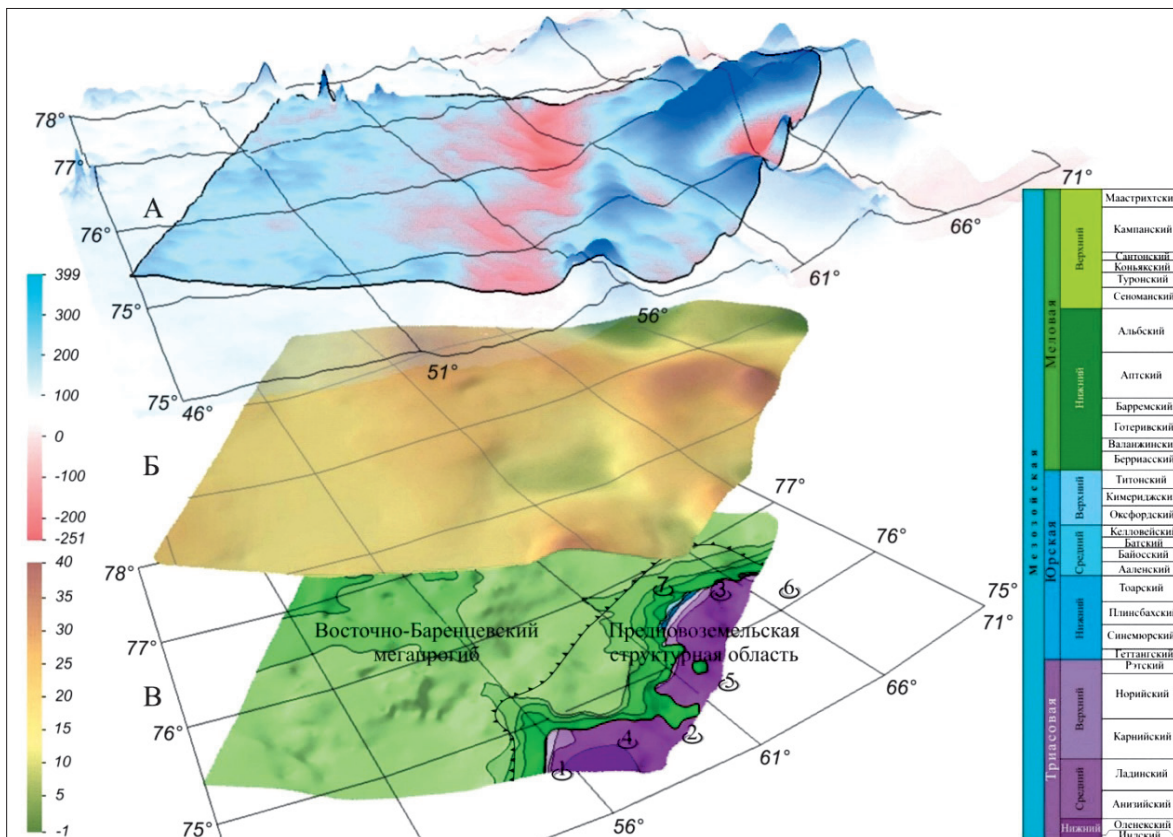


Рис. 2. Карта аномального магнитного поля (А), карта аномального гравитационного поля (Б), геологическая карта дочетвертичных образований (В): 1-3 – приподнятые блоки земной коры: 1 – Адмиралтейства, 2 – Панкратьева, 3 – Мыс Желания; 4-7 – опущенные блоки земной коры: 4 – Седова, 5 – Мака, 6 – Гольфстрим, 7 – Карпова

имеет ширину от 40 до 80 км. В ее пределах северо-восточные и субмеридиональные надвиги, прослеживаемые от Новоземельского орогена, сменяются сбросами северо-восточного направления. На восточном борту мегапрогиба наблюдается погружение блоков Предновоземельской структурной области. На временных разрезах данной

структурной области отмечается внедрение крупных интрузий, верхние кромки которых находятся на глубинах от 8 до 10 км (Павлов и др., 2008; Павлов, 2012).

При составлении тектонической схемы использованы результаты тематических работ (Верба, Иванов, 2000), опубликованные материалы, тектонические карты и

схемы (Шипилов, Тарасов, 1998). В тектоническом отношении рассматриваемая территория принадлежит Свальбардской плите, которая характеризуется гетерогенным строением.

В пределах площади исследований предполагается гренвилльский возраст становления фундамента, как и для большей северной части Баренцевоморского шельфа (Шипилов, Тарасов, 1998). По данным других авторов (Супруненко и др., 1998), исследуемая территория относится к эпибайкальской шельфовой плите, с впадинами в нее добайкальскими жесткими блоками (архипелаг ЗФИ).

В геологическом строении северо-восточной части акватории Баренцевоморского шельфа выделяются три структурно-тектонических этажа (СТЭ): нижний – допалеозойское складчатое основание, промежуточный – нижне-среднепалеозойский и верхний, который включает отложения от верхнедевонских до четвертичных. Данные структурные этажи разделены поверхностями региональных стратиграфических и угловых несогласий (отражающий горизонт (ОГ) VI(C) и III₂(D₃)), отражающими значительные изменения структурных планов осадочного чехла исследуемой территории.

Схемы тектонического районирования имеются для нижне-среднепалеозойского комплекса отложений (ОГ III₂(D₃)) и по кровле триасовых отложений (ОГ Б(Т-Ј)) (Рис. 3).

Кроме того, в истории развития верхнепалеозойско-мезозойского СТЭ также выделяются этапы крупных тектонических перестроек в раннепермское время, на рубеже триаса и юры и в неокомское время.

Геометрический анализ

Анализ включал изучение параметров пространственного (азимут простирания) и количественного (густота) распределения разломов, выделенных по результатам сейсморазведочных работ МОВ ОГТ 2D. Метод изучения – построение роз-диаграмм простирания разломов.

Розы-диаграммы являются одним из самых старых и широко распространенных способов графического изображения замеров залегания всей совокупности разноразмерных нарушений сплошности пород (от микротрещин до разломов), фиксируемыми различными методами исследований. Они могут отображать какой-либо один элемент замеров, а при сочетании двух-трех таких диаграмм можно показать два или три элемента замеров (простирание, направление падения, углы падения).

В нашем случае количество структурно-тектонических нарушений наносилось в виде процентов, общее число замеров принималось за 100%, и вычислялся процент замеров по каждой группе.

Для анализа использовались три уровня структурно-тектонических нарушений, выделенных по результатам пространственного моделирования (Никитин, Иванов, 2016).

Первый уровень по относительной густоте распространения структурно-тектонических нарушений представлен двумя системами разломов (Рис. 4).

Первая система разломов находится в азимутальном створе ССЗ 360° – ССВ 20° и ЮЮЗ 190° – ЮЮВ 170°. Вторая система разломов находится в азимутальном створе ЮВ 135° – ВЮВ 120° и ЗСЗ 280° – СЗ 315°.

Системы разломов косо ортогональны друг другу и

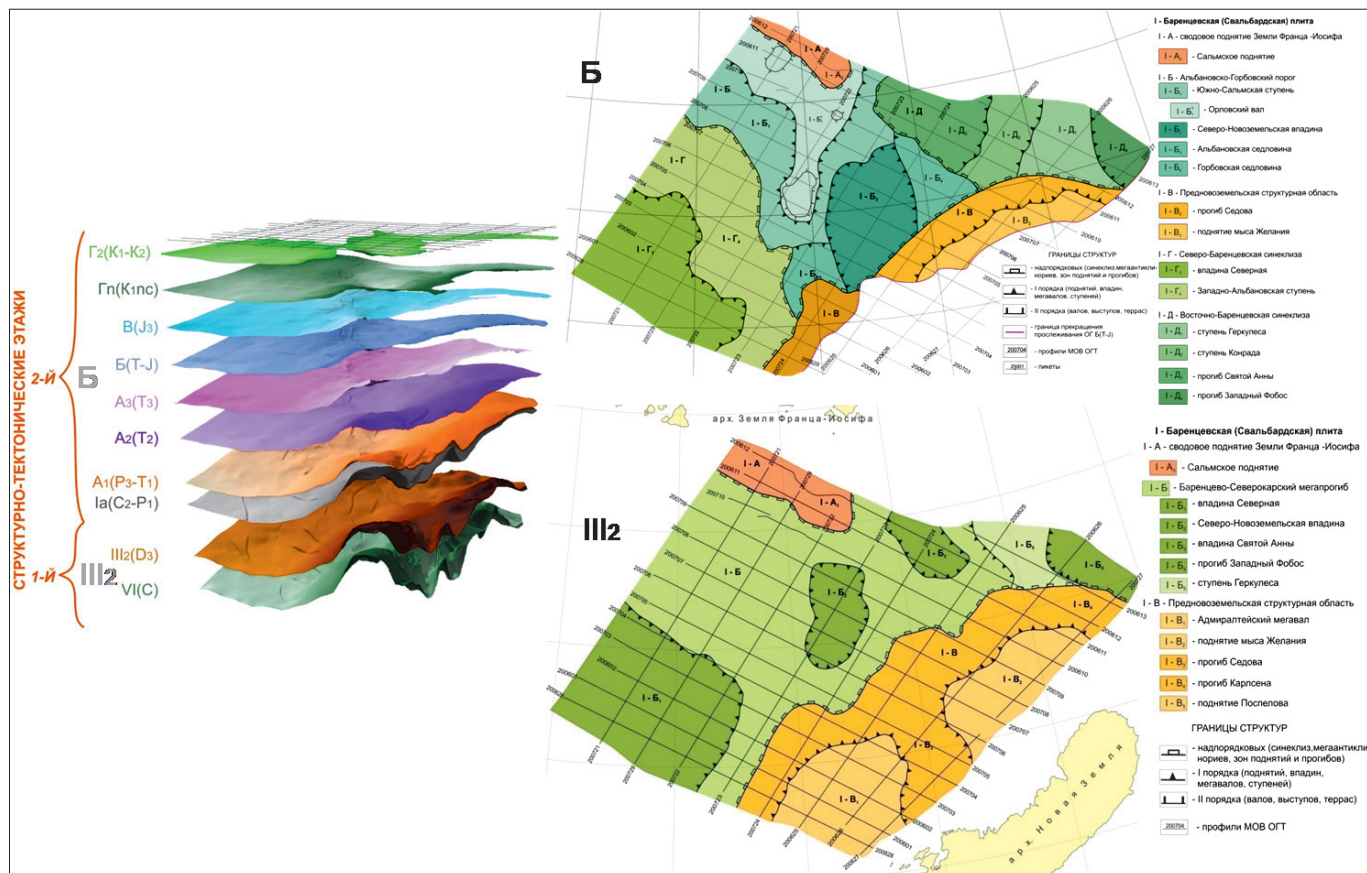


Рис. 3. Схемы тектонического районирования по кровле триасовых отложений (Б) и нижне-среднепалеозойского комплекса (III₂) (по данным МАГЭ с добавлением авторов)

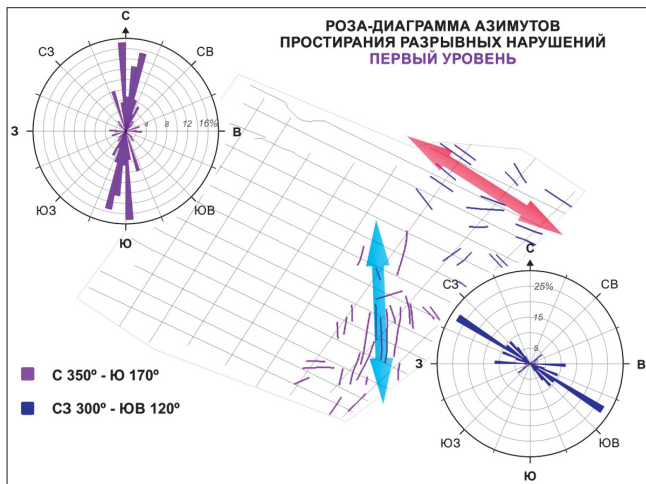


Рис. 4. Схема первого уровня структурно-тектонических нарушений. Роза-диаграмма пространственной ориентировки структурно-тектонических нарушений. Роза-диаграмма отражает азимуты простирающихся разломов в горизонтальной плоскости, длина лепестков соответствует суммарной длине разломов с соответствующим азимутом простирающихся в выбранном масштабе

образуют угол $\approx 40^\circ$. Выявленные две системы разломов являются следствием проявления и идентифицируют два различно ориентированных региональных (?) поля напряжения в истории развития осадочного чехла.

Второй уровень по относительной густоте распространения структурно-тектонических нарушений представлен преимущественно северо-северо-западным простирающимся в азимутальном створе СЗ 315° – ССЗ 370° и ЮЮВ 10° – ЮВ 135° (Рис. 5).

Отмечается постоянство простирающихся структурно-тектонических нарушений, что свидетельствует о том, что разломы одного генезиса и возрастного диапазона. Такая деформационная структура является элементом самоорганизации осадочных пород в условиях постоянного воздействия избыточных напряжений и естественным путем существования при постоянном равновесии.

Третий уровень по относительной густоте распространения структурно-тектонических нарушений представлен двумя системами разломов (Рис. 6).

Первая система разломов находится в азимутальном створе СЗ 320° – ССЗ 360° и ЮЮВ 160° – ЮВ 160°. Вторая

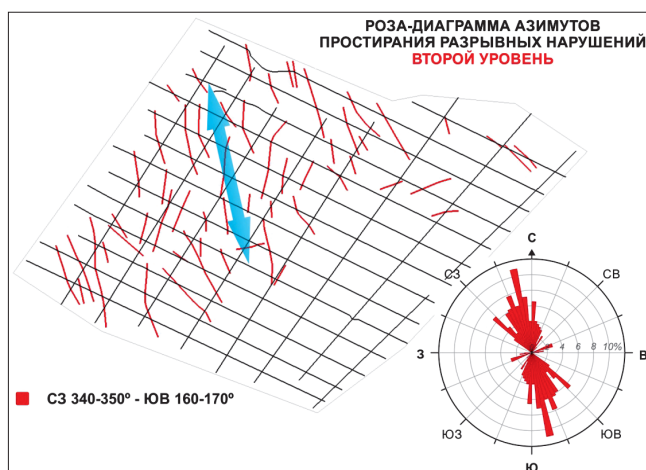


Рис. 5. Схема второго уровня структурно-тектонических нарушений. Подробное описание см. на рис. 4

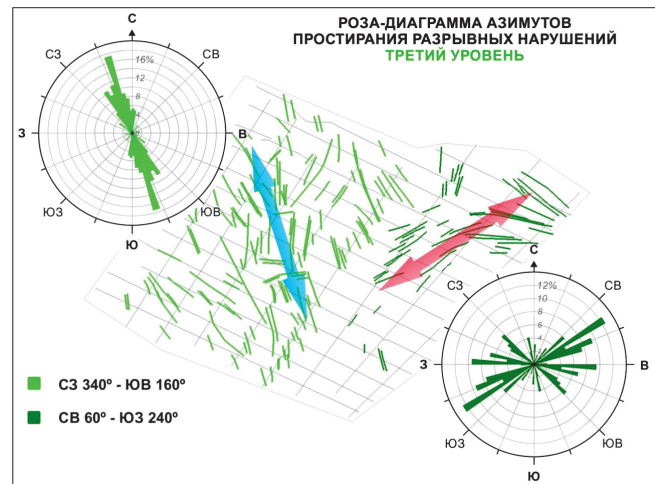


Рис. 6. Схема третьего уровня структурно-тектонических нарушений. Подробное описание см. на рис. 4

система разломов находится в азимутальном створе ЮЗ 225° – ЮВ 135° и СЗ 315° – СВ 45°.

Системы разломов ортогональны друг другу и образуют угол $\approx 90^\circ$. Выявленные системы разломов идентифицируют два различно ориентированных региональных (?) поля напряжения в истории развития осадочного чехла.

Статистический анализ

Статистический анализ проводился по 23 признакам разнотипных геолого-геофизических данных (информация по одиннадцати отражающим горизонтам, разделяющим структурно-вещественным комплексам и геофизических полям). Для исключения из обработки признаков, имеющих сильные корреляционные связи, была рассчитана матрица парных корреляций между значениями абсолютных отметок ОГ и мощностями СВК отложений, относящихся к нижне-среднепалеозойскому структурно-тектоническому этажу.

По результатам обработки отмечаются сильные корреляционные связи между абсолютными отметками всех ОГ и мощностями разделяющих их СВК пород. Это говорит об унаследованности развития территории и отдельных структур в рамках данного структурно-седиментационного цикла. Поэтому для дальнейшей совместной обработки с геофизическими полями использованы только высотные значения по ОГ VI и мощность СВК между ОГ VI и ОГ III2. Тем более, что именно для поверхности III2 (D_3) имеется структурно-тектоническая схема. Она использована для сравнительного анализа результатов классификации.

В качестве метода многомерной классификации применялась разновидность метода кластерного анализа – метод К-средних. Достоинством метода, как и в целом кластерного анализа, является возможность производить разбиение объектов по нескольким показателям. При этом кластерный анализ не накладывает никаких ограничений на тип рассматриваемых объектов, что позволяет рассматривать совокупности исходных данных произвольной природы в различных единицах измерений.

Данный метод классификации основан на разбиении множества исследуемых объектов на статистически однородные совокупности или кластеры. Полученные кластеры состоят из статистически подобных объектов. Объекты же, относящиеся к разным кластерам, должны существенно

отличаться. В нашем случае в качестве объектов кластеризации выступают элементарные единицы территории размером 500×500 метров, соответствующие ячейкам построенных сеточных грид-поверхностей. Выделенные же кластеры будут соответствовать участкам территории, которые предполагается интерпретировать с позиций тектонического районирования. В результате классификации для каждой ячейки территории мы получаем дополнительный атрибут – номер класса от 3 до 10, в зависимости от параметров разбиения. На основе данного атрибута точечная карта по координатам X, Y визуализируется на экране и сопоставляется с имеющейся схемой структурно-тектонического районирования по поверхности П2 (D₃).

По количеству образуемых кластеров последовательно построены схемы районирования территории на 4, 5, 6, 7, 8, 9 и 10 классов (Рис. 7).

При рассмотрении результатов отмечается, что границы надпорядковых структур выделяются на 70%, начиная с 7-ми классов и более (Рис. 7 в-е).

Полное совпадение структур, частей и границ отмечается для надпорядковых структур, например, для

Сальмского поднятия, для Предновоземельской структурной области. Из структур первого порядка отчетливо оконтуриваются впадина Северная на юго-западе и Адмиралтейский мегавал на юго-востоке участка.

Наиболее оптимальным, с нашей точки зрения, является результат классификации на 8 классов. На рис. 8 классы адаптированы к цветовой палитре исходной карты.

После построения объемной модели карты, полученной в результате классификации на 8 классов с учетом разрывных нарушений, мы можем судить о том, что структуры первого порядка имеют более сложную морфологию. Так 3-й класс, обрамляющий Предновоземельскую структурную область, представляет собой переходную область с Баренцево-Северокарским мегапрогибом. Выделяемую в северной части территории область, связанную с 3-им классом, можно также рассматривать как переходную к сводовому поднятию Земли Франца-Иосифа (Рис. 9).

Для сопоставительной оценки значений распределений отдельных признаков, на основании которых проведена кластеризация, использованы «ящичные» диаграммы. В общем, данный тип диаграмм состоит из двух

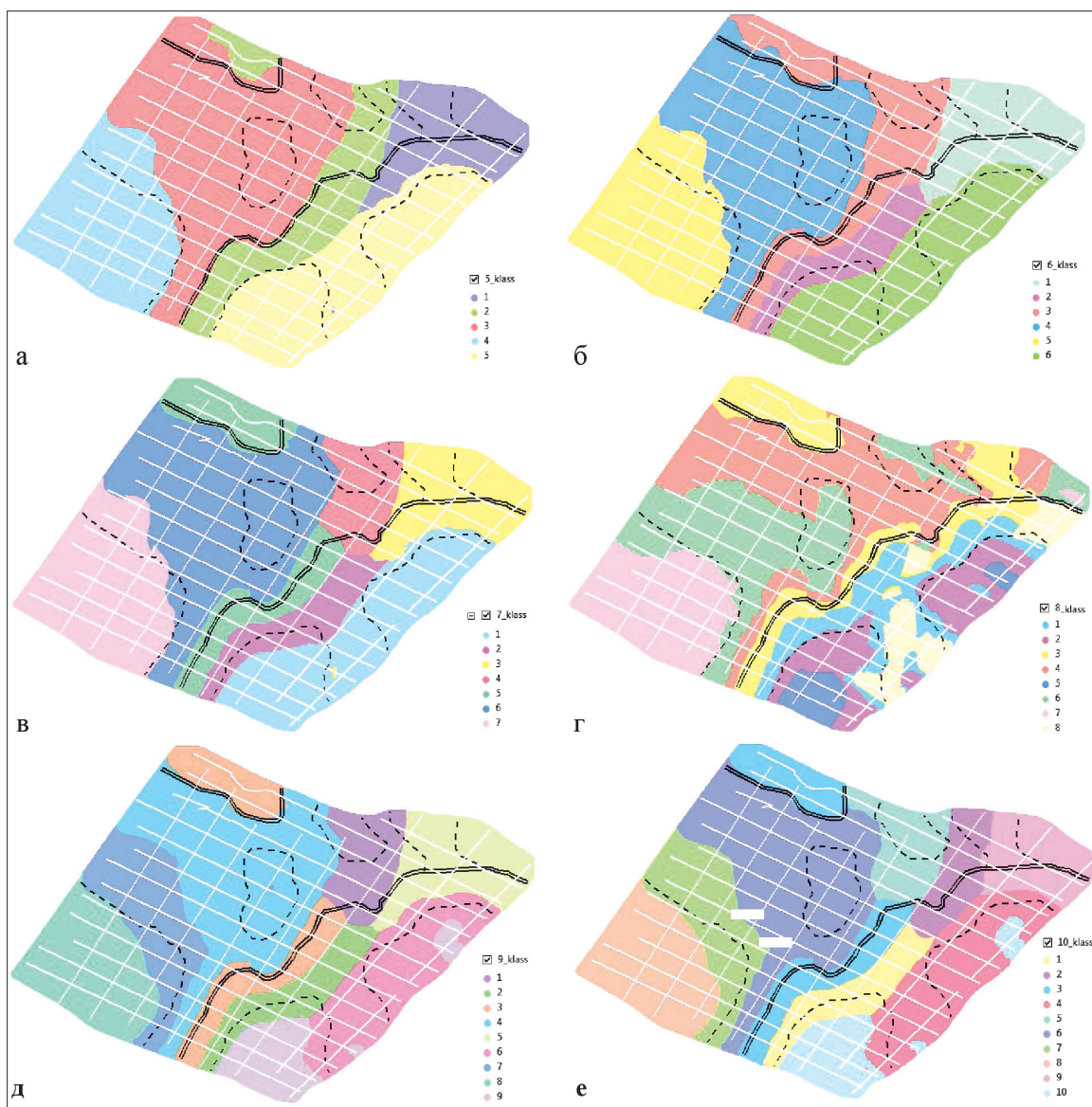


Рис. 7. Результат кластеризации методом K-средних нижне-, среднепалеозойского структурно-тектонического: а – 5 классов; б – 6 классов; в – 7 классов; г – 8 классов; д – 9 классов; е – 10 классов; --- – границы структур первого порядка; === – границы надпорядковых структур

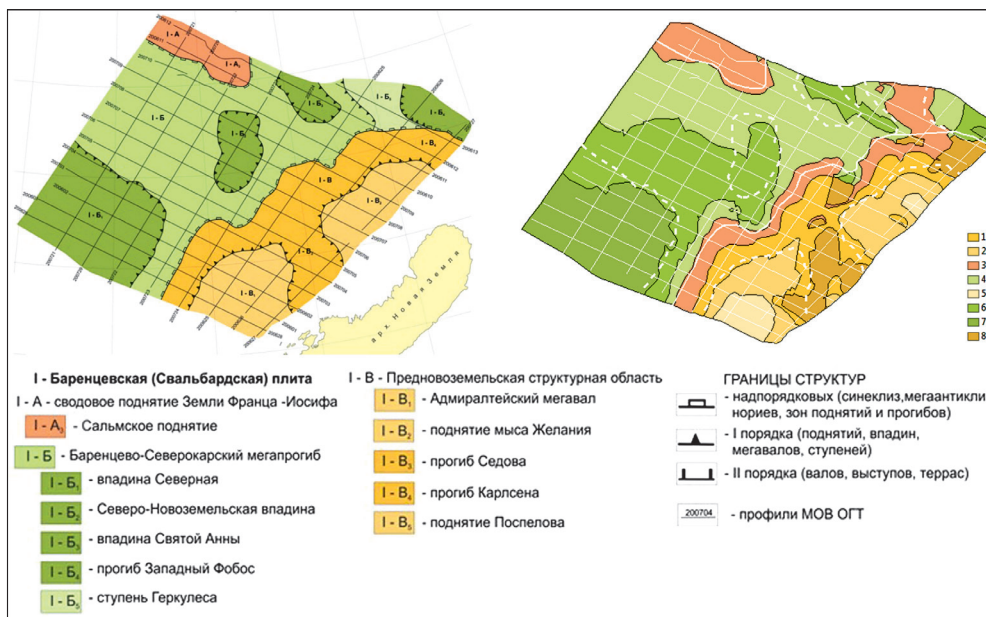


Рис. 8. Пример сопоставления исходной структурной карты и карты построенной с помощью многомерного анализа. Показано разделение на 8 классов

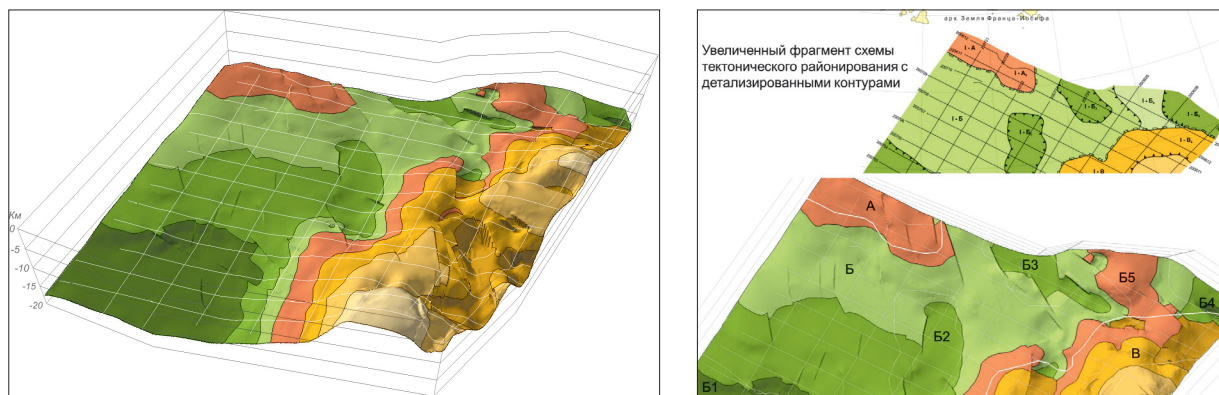


Рис. 9. Объемная модель ОГ VI с наложенными границами тектонических структур, полученных по данным статистической обработки

элементов – «ящика» и «усов» или «хвостов». При подготовке данных к такому представлению весь диапазон имеющихся значений разбивается на квантили с граничными значениями 25, 50 и 75%. Центральные квантили – 25-50% и 50-75% – графически помещаются в прямоугольник – ящик. Крайние квантили – 0-25% и 75-100% – изображаются линейными формами, называемыми хвостами или усами. В центре ящика изображается медианное значение в виде точки или линии. График позволяет оценить симметричность распределений и разброс значений. Дополнительно на график выносятся в виде кружков или звездочек выбросы и ураганные значения, которые значительно отличаются от предсказанного для данного набора данных (по среднему значению и медиане) нормального распределения и имеют отклонения в значениях более трех стандартных отклонений. К важным достоинствам ящичных диаграмм относится возможность одновременного сопоставления нескольких распределений.

На рисунке 10 приводится ящичная диаграмма по абсолютным значениям отражающего горизонта VI для всех выделенных классов объектов.

На основании анализа диаграммы (Рис. 10) отмечается, что по медианным значениям и 50%-ной центральной линии классы индивидуализированы 5, 6, 7 и

8, относящиеся к впадинам Баренцево-Северокарского прогиба и Предновоземельской структурной области. Статистически неразличимыми классами по данному показателю являются граничащие между собой классы 2 и 3. Они соответствуют переходной зоне между отрицательными и положительными надпорядковыми структурами. Классы 1 и 4 также статистически подобны, однако по расположению на карте первый соответствует основному ложу Баренцево-Северокарского прогиба, 4-й – структуре, разделяющей поднятия в пределах Предновоземельской области.

На рисунке 11 приводится ящичная диаграмма по мощности отложений между ОГ VI и III2 для всех выделенных классов объектов.

По характеру распределения мощностей и медианному значению (2900 м) резко выделяется 3-й класс. По данным параметрам он однозначно отделяется от 2-го класса (медианное значение – 1000 м), при том, что по значениям их абсолютных отметок (Рис. 10) они статистически подобны. Характеристики распределения мощности также отчетливо позволяют выделить 8-й и частично 2-й классы, первый соответствует областям с максимальными абсолютными отметками территории, последний – с минимальными. Остальные классы – 1, 4, 5, 6 и 7-й – дают

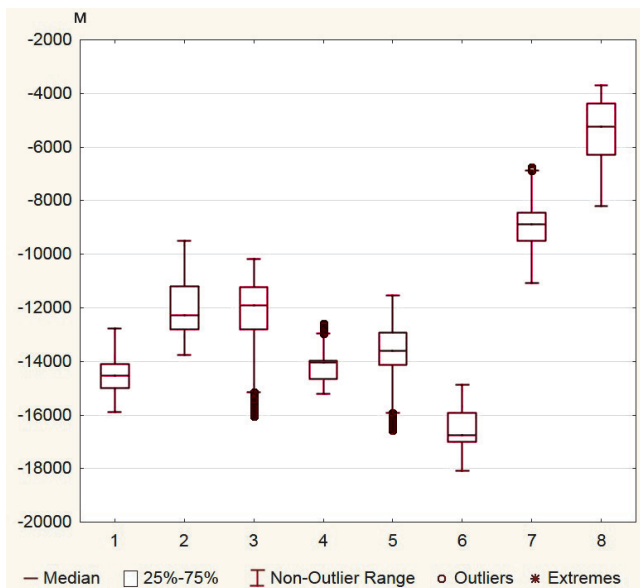


Рис. 10. Ящичная диаграмма распределения абсолютных от-меток для выделенных классов объектов

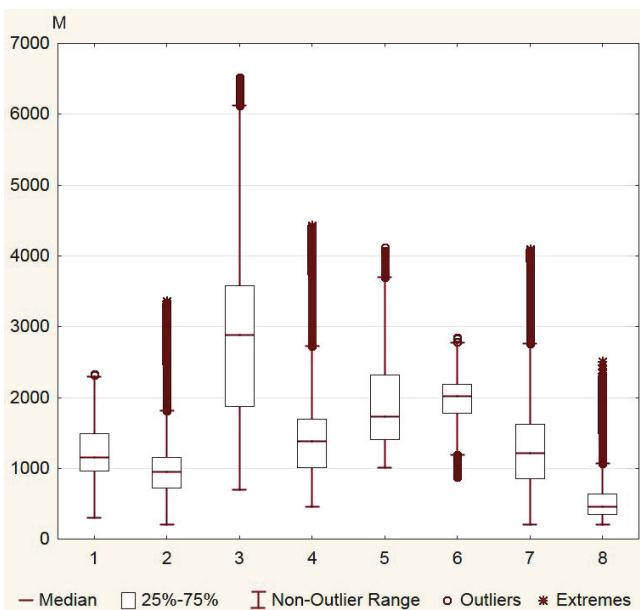


Рис. 11. Ящичная диаграмма распределения мощности между ОГ VI и III2 для выделенных классов объектов

существенно перекрывающиеся распределения и могут быть интерпретированы только с привлечением информации об их пространственном распределении.

Характеристика геофизических полей

В распределении абсолютных значений магнитного поля для выделенных классов объектов отчетливо индивидуализированные группы отсутствуют (Рис. 12).

На рис. 12 по размаху и медианным значениям выделяются несколько групп классов с близким характером распределения магнитного поля. Это классы 1, 2 и 4, пространственно соответствующие склоновым частям поднятия Предновоземельской структурной области и выположенной части Баренцево-Северокарского мегапрогиба. Вторая группа классов (3 и 5) имеет подобный размах распределений с более высоким медианным значением для 5-го класса. Данные классы отчетливо разделяются

пространственно: 3-й соответствует присклоновым частям положительных надпорядковых структур, 5-й – их апикальным частям. Очень близок характер распределений и абсолютные значения магнитного поля для 7-го и 8-го классов, при различной пространственной локализации в пределах участка. Наименьший разброс значений или однородный характер имеет магнитное поле в пределах 6-го класса – 30-50 нТ. Данный класс соответствует промежуточным глубинам Баренцево-Северокарского мегапрогиба.

Ящичные диаграммы распределения значений гравитационного поля для выделенных классов объектов на рис. 13 ранжированы по медианным значениям.

По абсолютным значениям гравитационного поля может быть выделен только 5-й класс, соответствующий апикальной части Предновоземельской структурной области. Он имеет минимальные абсолютные значения поля,

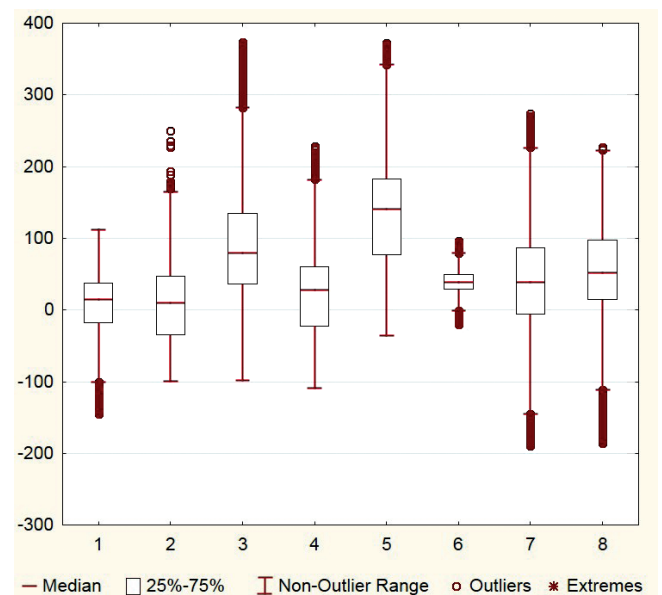


Рис. 12. Ящичная диаграмма распределения значений магнитного поля для выделенных классов объектов

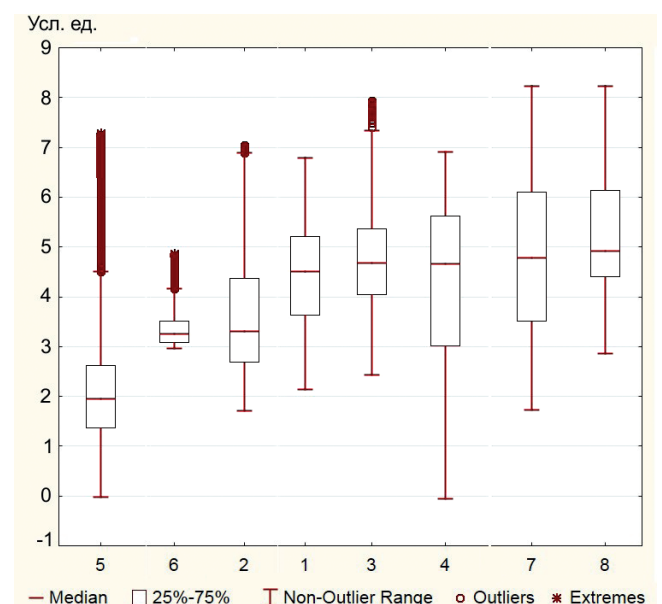


Рис. 13. Ящичная диаграмма распределения значений гравитационного поля для выделенных классов объектов

симметричное распределение и среднюю 50%-ю часть распределения, перекрывающуюся с другими распределениями только в хвостовых участках. Минимальную дисперсию, как и в случае магнитного поля, имеет гравитационное поле для 6-го класса. Распределения гравитационного поля для остальных выделенных классов в значительной степени перекрываются и имеют близкие медианные значения.

Таким образом, ни один из отдельных признаков структурного характера или геофизического поля не позволяет однозначно районировать территорию с необходимой степенью детальности. Для этого необходимо совместное использование комплекса признаков и методов многомерного статистического анализа. Классификационные значения отдельных признаков могут быть оценены на основе факторных нагрузок.

Выводы

Определена объективная результативность методики выделения классов (тектонических структур) в пределах территории исследования статистически обоснованными, независимыми от субъективного фактора методами.

Результат районирования нижне-среднепалеозойского комплекса пород вполне сопоставим с имеющимися тектоническими схемами, более того, он их уточняет. Границы надпорядковых структур выделяются программными средствами на 70%, начиная с 7-ми и более классов разделения. Границы структур 1-го порядка представлены более сложной морфологией с детализацией внутреннего строения и частично оконтуриваются разрывными нарушениями.

Наиболее важным основанием тектонического районирования осадочного чехла являются структурные карты отражающих горизонтов с учетом тектонических нарушений.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (грант № 18-35-00236 мол_а) и программы Президиума РАН П47.

Литература

- Величко Б.М., Шлыкова В.В., Дьяченко А.Б. и др. (2010). Отчет по объекту «Комплексное геолого-геофизическое исследование северо-восточной части Баренцевоморского шельфа». Мурманск: ОАО «МАГЭ».
- Верба М.Л., Иванов Г.И. (2009). Тектоническая карта Баренцево-Карского региона масштаба 1:2500 000: нефтегеологический и геоэкологический прогноз. Труды 9-й конференции RAO/CIS Offshore 2009. СПб: ХИМИЗДАТ, т.1, с. 19-23.

Никитин Д.С., Горских П.П., Хуторской М.Д., Иванов Д.А. (2017). Анализ и численное моделирование потенциальных полей на северо-востоке Баренцева моря. *Мониторинг. Наука и технологии*, 1(30), с. 6-15.

Никитин Д.С., Иванов Д.А. (2016). Структурно тектонические условия нефтегазоносности северо-восточной части Баренцевоморского шельфа. *Мониторинг. Наука и технологии*, 2(27), с. 48-54.

Никитин Д.С., Иванов Д.А., Журавлев В.А., Хуторской М.Д. (2015). Объемная геолого-геотермическая модель осадочного чехла северо-восточной части Баренцевоморского шельфа в связи с освоением ресурсов углеводородов. *Георесурсы*, 1(60), с. 13-19. <https://doi.org/10.18599/grs.60.1.3>

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

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

Рослов Ю.В. и др. (2002). 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 «суша-море». СПб: ГНПП «Севморгео».

Сакулина Т.С., Верба М.Л., Иванова Н.М., Рослов Ю.В., Беляев И.В. (2007). Глубинное строение северной части Баренцево-Карского региона вдоль профиля 4-АР. *Сборник материалов 7-го форума Топливо-энергетического комплекса России*. С-Пб, с. 371-374.

Супруненко О.И., Евдокимов Н.К., Школа И.В., Бро Е.Г., Дибнер В.Д., Макарьев А.А., Столбов Н.М., Устинов Н.В. (1998). Перспективы нефтегазоносности архипелага Земля Франца-Иосифа. *Геолого-геофизические характеристики литосферы арктического региона*, 2, с. 153-168.

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

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

Хуторской М.Д., Вискунова К.Г., Подгорных Л.В. и др. (2008). Геотемпературная модель земной коры Баренцева моря: исследования вдоль геотраверсов. *Геотектоника*, 2, с. 55-67.

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

Сведения об авторах

Дмитрий Сергеевич Никитин – научный сотрудник лаборатории тепломассопереноса

Геологический институт РАН

Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, д. 7

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

Воронежский государственный университет

Россия, 394018, Воронеж, Университетская площ., д. 1

Статья поступила в редакцию 25.07.2018;

Принята к публикации 12.10.2018;

Опубликована 30.11.2018

IN ENGLISH

Complex structural-tectonic zoning of the north-eastern part of the Barents Sea shelf

D.S. Nikitin^{1*}, D.A. Ivanov²

¹Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

²Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

*Corresponding author: Dmitry S. Nikitin, e-mail: ndsnomination@mail.ru

Abstract. The large amount of geological and geophysical data obtained in recent decades for the north-eastern part of the Barents Sea shelf makes their visual comparative analysis difficult, and the use of automated classification methods, in particular, multidimensional statistics, become relevant.

The perspectives of the statistical approach to the processing and interpretation of multi-sign geological and geophysical information are considered. The objective performance of the method of identifying classes (tectonic structures) within the studied area is determined by statistically justified methods that are independent of the subjective factor. The structural-tectonic schemes for reflecting horizons are clarified, at the level of which the main stages of large-scale tectonic reorganizations occur.

Keywords: Barents Sea shelf, statistic analysis, structural-tectonic zoning

Recommended citation: Nikitin D.S., Ivanov D.A. (2018). Complex structural-tectonic zoning of the north-eastern part of the Barents Sea shelf. *Georesursy = Georesources*, 20(4), Part 2, pp. 404-412. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.4.404-412>

Acknowledgments

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant No. 18-35-00236 mol_a) and the program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences P47.

References

- Fedukhin N.V. et al. (2002). Model' stroeniya litosfery Barentsevskogo shel'fa po dannym glubinnoy seysmorazvedki [The model of the Barents shelf lithosphere structure according to the deep seismic studies]. Murmansk: Fund of the Marine Arctic Geological Expedition (MAGE). (In Russ.)
- Khutorskoy M.D., Viskunova K.G., Podgornykh L.V. et al. (2008). Geotemperaturnaya model' zemnoy kory Barentseva morya: issledovaniya vdol' geotravversov [Geotemperature model of the Barents Sea crust: research along geotraverses]. *Geotektonika = Geotektonics*, 2, pp. 55-67. (In Russ.)
- Nikitin D.S., Gorsky P.P., Khutorskoy MD, Ivanov D.A. (2017). Analysis and numerical simulation of the potential fields in Barents sea Northeastern part. *Monitoring, nauka i tekhnologii*, 1(30), pp. 6-15. (In Russ.)
- Nikitin D.S., Ivanov D.A. (2016). Structural and tectonic conditions of oil and gas content of Northeast part of the Barents sea shelf. *Monitoring, nauka i tekhnologii*, 2(27), pp. 48-54. (In Russ.)
- Nikitin D.S., Ivanov D.A., Zhuravlev V.A., Khutorskoy M.D. (2015). 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. *Georesursy = Georesources*, 1(60), pp. 13-19. <https://doi.org/10.18599/grs.60.1.3> (In Russ.)
- Pavlov S.P., Shlykova V.V., Grigor'eva B.M. et al. (2015). Otchet po ob'ektu «Utochnit' geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti vostochnogo borta Severo-Barentsevskoy vpadiny» [To clarify the geological structure and petroleum potential of the eastern side of North Barents depression. Report]. Murmansk: MAGE JSC. (In Russ.)

Pavlov S.P. (2012). Geological structure and petroleum potential of the north-eastern part of the Barents Sea according to geophysical data. *Diss. cand. geol.-min. nauk* [Cand. geol. and min. sci. diss.]. Murmansk. (In Russ.)

Roslov Yu.V. et al. (2002). 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 «Sevmorgeo». (In Russ.)

Sakulina T.S., Verba M.L., Ivanova N.M., Roslov Yu.V., Belyaev I.V. (2007). Glubinnoe stroenie severnoi chasti Barentsevo-Karskogo regiona vdol' profilya 4-AR [The deep structure of the northern part of the Barents-Kara region along the 4-AR profile]. *Sbornik materialov 7-go foruma: Toplivno-energeticheskii kompleks Rossii* [Coll. papers: 7th forum «Fuel and Energy Complex of Russia»]. St. Petersburg, pp. 371-374. (In Russ.)

Shipilov E.V., Tarasov G.A. (1998). Regional'naya geologiya neftegazonosnykh osadochnykh basseynov 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.* 306 p. (In Russ.)

Suprunenko O.I., Evdokimov N.K., Shkola I.V., Bro E.G., Dibner V.D., Makar'ev A.A., Stolbov N.M., Ustinov N.V. (1998). Perspektivy neftegazonosnosti arhipelaga Zemlya Frantsa-Iosifa [Oil and gas potential of the archipelago Franz Josef Land]. *Geologo-geofizicheskie kharakteristiki litosfery arkticheskogo regiona* [Geological and geophysical characteristics of the lithosphere of the Arctic region], 2, pp. 153-168. (In Russ.)

Tektonicheskaya karta morey Karskogo i Laptevskikh i Severa Sibiri [Tectonic Map of the Kara and Laptev Seas and the North of Siberia]. (1998). Scale 1:2 500 000. Ed. N.A. Bogdanova, V.E. Khaina. Moscow: Federal Service for Geodesy and Cartography of Russia. (In Russ.)

Velichko B.M., Shlykova V.V., D'yachenko A.B. et al. (2010). 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]. Murmansk: MAGE JSC. (In Russ.)

Verba M.L., Ivanov G.I. (2009). Tektonicheskaya karta Barentsevo-Karskogo regiona mashtaba 1:2500 000: neftegeologicheskii i geoekologicheskii prognoz [Tectonic map of the Barents-Kara region of 1: 2500 000 scale: oil-geological and geo-ecological forecast]. *Trudy 9-i konferentsii RAO/CIS Offshore* [Proc. 9th RAO/CIS Offshore Conf.]. St. Petersburg: KhIMIZDAT, V.1, pp. 19-23. (In Russ.)

About the Authors

Dmitry S. Nikitin – Researcher, Laboratory of Heat and Mass Transfer

Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7, Pyzhevsky lane, Moscow, 119017, Russian Federation

Dmitry A. Ivanov – PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Historical Geology and Paleontology

Voronezh State University
1, Universitetskaya sq., Voronezh, 394018, Russian Federation

Manuscript received 25 July 2018;

Accepted 12 October 2018;

Published 30 November 2018