



## Геология

УДК 528.9:550.3:551.351.2(268)

### НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ РОССИЙСКОГО АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

А.С.ЕГОРОВ<sup>1</sup>, И.Ю.ВИНОКУРОВ<sup>2</sup>, А.Н.ТЕЛЕГИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ)», Санкт-Петербург, Россия

На примере материалов по Баренцево-Карскому региону приводится обоснование набора научно-методических приемов картографирования и глубинного моделирования в условиях российского арктического шельфа и прилегающих осадочных бассейнов континентальной части России. Охарактеризована фактологическая основа исследований и показано, каким образом в условиях несопоставимости различных геофизических данных применяется зонально-блоковая модель земной коры и обобщенные модели геодинамических обстановок. Обосновывается необходимость и описывается подход к построению глобальных и региональных палеореконструкций.

Показано, что основным содержанием послонных карт глубинного строения (платформенного чехла и консолидированного фундамента) и разрезов земной коры становится отображение закономерностей локализации главных структурно-вещественных подразделений литосферы как следствия геодинамических процессов на границах литосферных плит. Установленные параметры глубинного строения и исторические вехи тектонической истории региона открывают новые возможности для изучения закономерностей локализации месторождений полезных ископаемых. Показан пример решения прогнозно-минерогенических задач по территории Западно-Сибирской и Хатангско-Виллюйской нефтегазовых провинций, выполненного с использованием параметров известных промышленных месторождений нефти и газа для обучения системы распознавания образов.

**Ключевые слова:** арктический шельф; методика геолого-геофизического моделирования; зонально-блоковая модель земной коры

**Как цитировать эту статью:** Егоров А.С. Научно-методические приемы повышения геологической и прогнозно-поисковой эффективности государственного геологического картирования российского арктического шельфа / А.С.Егоров, И.Ю.Винокуров, А.Н.Телегин // Записки Горного института. 2018. Т. 233. С. 447-458. DOI: 10.31897/PMI.2018.5.447

**Введение.** Совместный опыт исследований *глубинного строения, тектоники и геодинамики западного сектора российской Арктики и прилегающих частей евразийского континента* тематических коллективов Санкт-Петербургского горного университета, Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ) и «Севморгео» позволил выработать некоторые научно-методические приемы, существенно повышающие детальность и достоверность глубинных построений в условиях арктического шельфа и прилегающих осадочных бассейнов континентальной части России [9].

Фактологической основой работ этого типа являются материалы гравиметрических и магнитометрических съемок, данные батиметрических исследований, профильные сейсморазведочные съемки МОВ (метод отраженных волн), МОВ-ОГТ (общей глубинной точки), ГСЗ (глубинное сейсмическое зондирование), КМПВ (корреляционный метод преломленных волн), сейсмоакустическое профилирование. Кроме того, задействуются данные сейсмотомографических, геотермических, магнитотеллурических исследований, геологического картирования, глубоководного бурения и других съемок [3].

**Постановка проблемы.** В ходе комплексной интерпретации разнотипных данных исследователи вынуждены решать широкий спектр научно-теоретических и методологических проблем. Из их числа, в первую очередь, следует выделить:

1. Несопоставимость данных различных геофизических методов, часто отражающих различные объекты исследований или различные свойства единых объектов исследований. Эта кажущаяся несопоставимость чаще всего приводит к неоднозначной геотектонической интерпретации аномалий геофизических полей, не обеспечивающих в общем случае распознавание и моделирование структур, сформированных в разнотипных геодинамических обстановках.

2. Многовариантность интерпретационных построений даже в сечениях опорных геофизических профилей, обеспеченных максимальным объемом фактической информации, что обу-

словлено неоднозначностью решения обратных задач геофизики, а также сложностью и многообразием форм и петрофизических параметров разнотипных геотектонических структур.

3. Необходимость изучения истории развития региона, что повышает надежность глубинных геотектонических построений и открывает возможности для оценки пространственных закономерностей локализации месторождений.

4. Резкие различия морфологии структур платформенного чехла и консолидированного фундамента, что вызывает перегруженность карт глубинного строения (по содержанию – геотектонических), одновременно отражающих строение чехла и фундамента.

5. Необходимость изучения закономерностей локализации месторождений полезных ископаемых с использованием выявленных параметров глубинного строения и исторических вех тектонической истории региона, что обеспечивает внедрение научных разработок в решение поисково-разведочных задач.

**Методология исследований.** Решение проблемы *несопоставимости данных различных геофизических методов* было найдено в использовании в ходе интерпретации *зонально-блоковой модели земной коры* [4]. В рамках этого подхода выполняется моделирование блоков и межблоковых зон разных типов с использованием материалов специализированной обработки потенци-

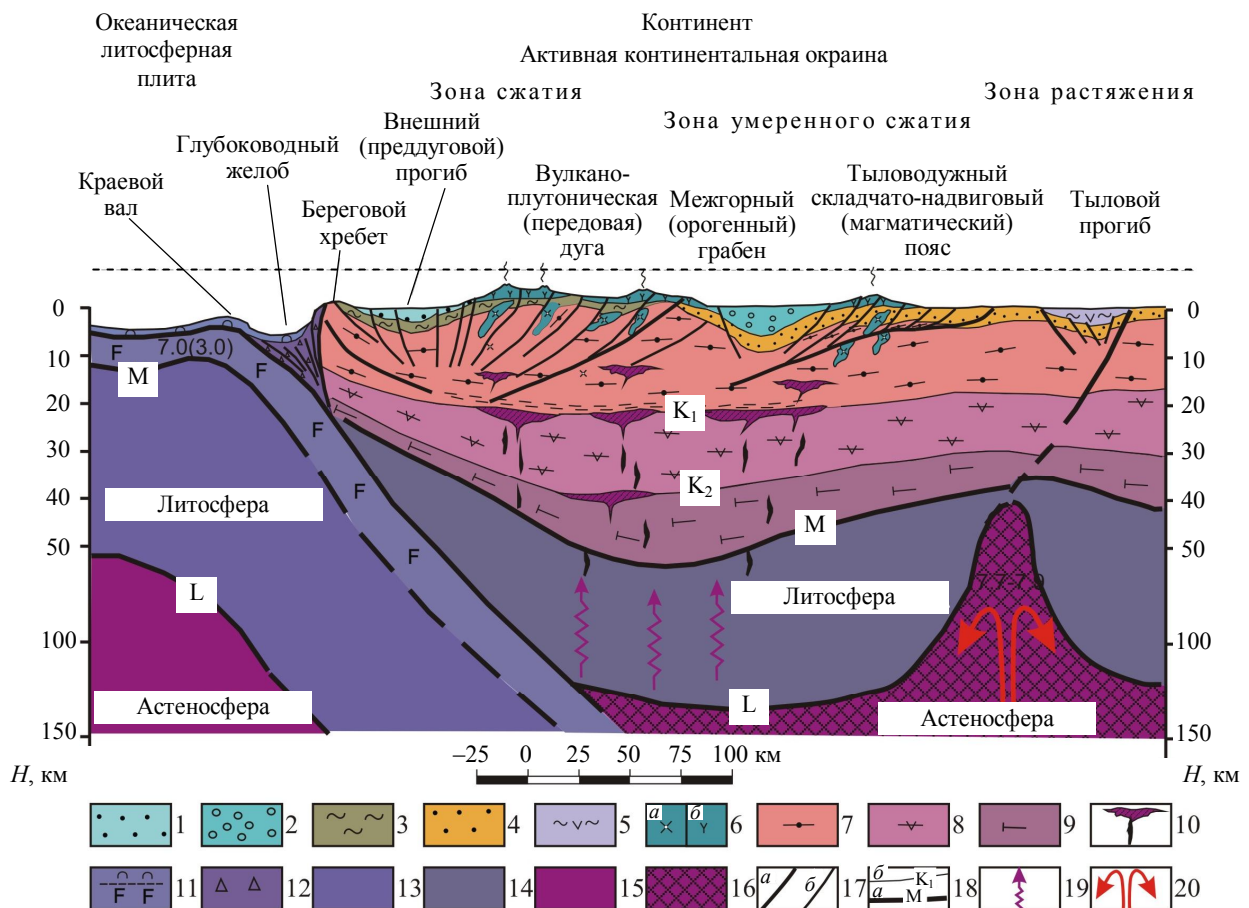


Рис. 1. Обобщенный разрез земной коры активной континентальной окраины андийского типа

1-16 – структурно-вещественные подразделения (СВП) земной коры и верхней мантии: 1 – осадки преддугового прогиба, 2 – моласса межгорного орогенного грабена, 3 – осадки древней пассивной окраины, 4 – внутриконтинентальные осадки, 5 – вулканогенно-осадочные рифтогенные комплексы, 6 – магматические комплексы вулкано-плутонической дуги (а – интрузивные, б – эффузивные), 7 – верхнекоровый «гранитно-метаморфический» мегаслой, 8 – среднекоровый мегаслой, 9 – нижнекоровый мегаслой, 10 – очаги корово-мантийных и коровых магм, 11 – океаническая кора, 12 – комплексы аккреционной призмы, 13, 14 – литосферная мантия (13 – океаническая, 14 – континентальная); 15, 16 – астеносфера (15 – океаническая, 16 – континентальная); 17 – разрывные нарушения (а – главные, б – второстепенные); 18 – границы радиальной расслоенности литосферы (а – главные, в том числе подошвы земной коры М и литосферы L, б – второстепенные, в том числе подошвы верхней K<sub>1</sub> и средней K<sub>2</sub> коры); 19 – зоны тепло-массопереноса, инициированные взаимодействием насыщенных водой осадков погружающейся океанической литосферы с астеносферой континентальной плиты; 20 – тыловодужный мантийный плюм

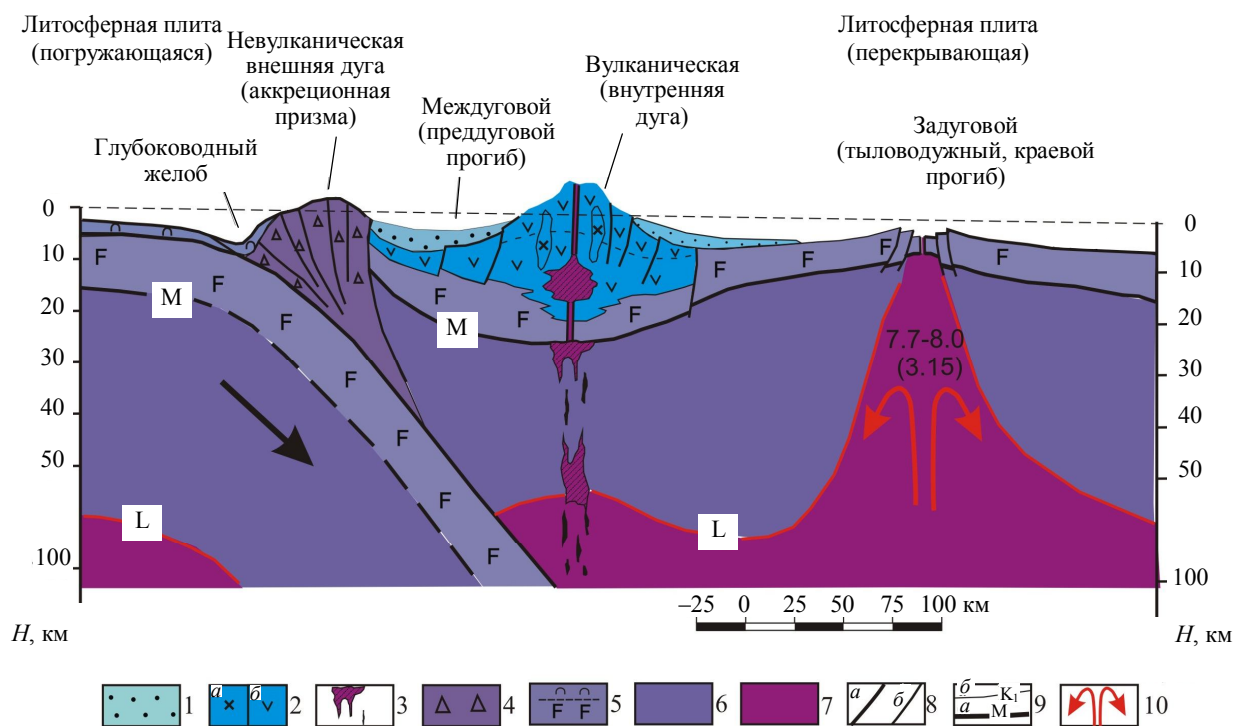


Рис.2. Обобщенный разрез земной коры энсиматической островной дуги

1-7 – структурно-вещественные подразделения земной коры и верхней мантии: 1 – осадки преддугового прогиба, 2 – магматические комплексы вулканической дуги (а – интрузивные, б – эффузивные), 3 – очаги корово-мантийных и коровых магм, 4 – комплексы аккреционной призмы, 5 – океаническая кора, 6 – литосферная мантия, 7 – океаническая астеносфера; 8 – разрывные нарушения (а – главные, б – второстепенные); 9 – главные границы радиальной расчлененности океанической литосферы (а – главные, в том числе подошва земной коры М и подошва литосферы L, б – второстепенные, в том числе подошвы верхней  $K_1$  и средней  $K_2$  коры); 10 – тыловодужный мантийный плюм

альных полей на площади исследований и в сечениях опорных геофизических профилей: *блоки* уверенно выделяются как *области стационарности* расчетных геофизических параметров; *межблоковые зоны* – как *градиентные зоны* или зоны радикального изменения инфраструктуры геофизического поля. Блоки на результирующих тектонических моделях, как правило, отвечают континентальным частям литосферных палеоплит и микроплит или их автономным сегментам; межблоковые зоны – глубинным тектоническим швам, сформированным в условиях растяжения (рифты), сжатия (сутуры коллизионных орогенов) или сдвига [5].

Таким образом, такой подход уже на ранней стадии качественной интерпретации геофизических полей позволяет сопоставлять и обобщать разнородную геофизическую и априорную геологическую информацию и выполнять предварительную геотектоническую типизацию выделяемых физико-геологических неоднородностей.

Решение задач моделирования в условиях недостатка геологической и геофизической информации и, соответственно, *многовариантности интерпретационных построений* выполняется путем распознавания по косвенным геофизическим признакам геодинамических условий формирования изучаемой структуры. С учетом научно-теоретических представлений подбирается природный аналог и его свойства используются при изучении относительно более слабо изученных структур. Таким образом, ключом к расшифровке строения объекта геолого-геофизических исследований являются обобщенные модели структур, сформированных в различных геодинамических обстановках [4]. Моделирование изучаемых геологических объектов выполняется с высоким уровнем генерализации: разрез отражает строение лишь главных структурно-вещественных неоднородностей – границ блоков и межблоковых зон, глубинных разрывных нарушений, тектонических дислокаций осадочных толщ, ареалов развития наиболее петрофизически контрастных интрузивных массивов и др. В качестве примера ниже приводятся обобщенные разрезы структур, сформированных в конвергентных геодинамических обстановках (рис. 1-3).

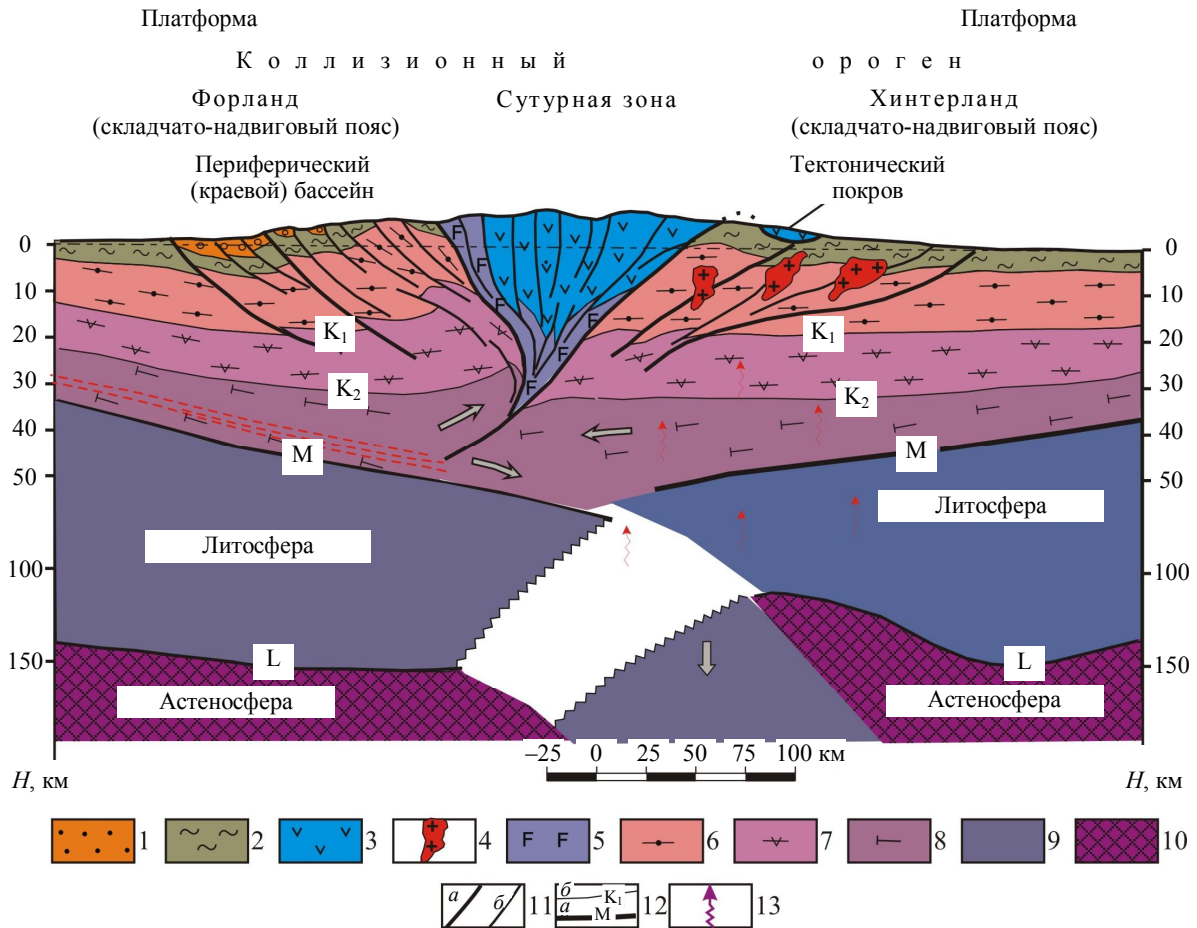


Рис.3. Обобщенный разрез земной коры коллизионного орогена уральского типа

1-10 – структурно-вещественные подразделения земной коры и верхней мантии: 1 – моласса краевого прогиба, 2 – осадки древней пассивной окраины, 3 – магматические комплексы древней островной дуги, 4 – коллизионные гранитоиды, 5 – офиолиты, 6 – верхнекоровый «гранитно-метаморфический» мегаслой, 7 – среднекоровый мегаслой, 8 – нижнекоровый мегаслой, 9 – литосферная мантия, 10 – астеносфера; 11 – разрывные нарушения ( $a$  – главные,  $b$  – второстепенные); 12 – границы радиальной расслоенности литосферы ( $a$  – главные, в том числе подошвы земной коры М и литосферы L,  $b$  – второстепенные, в том числе подошвы верхней  $K_1$  и средней  $K_2$  коры); 13 – зоны теплопереноса, инициированные взаимодействием насыщенных водой осадков погружающейся океанической литосферы с астеносферой континентальной плиты

Применение в ходе глубинных построений моделей геодинамических обстановок окончательно утверждает геотектонический подход к комплексной геологической интерпретации геофизических данных. Вполне понятно, что карты и разрезы глубинного строения следует рассматривать как документы тектонического содержания: только в этом случае апелляция к обобщенным моделям обстановок и к свойствам хорошо изученных аналогов становится корректной.

Изучение истории развития региона успешно выполняется путем увязки авторских геотектонических построений, выполненных в рамках «радиально-зональной модели земной коры», с более генерализованными реконструкциями, базирующимися на палеомагнитных данных. Так, в основу региональных палинспастических реконструкций нами были положены построения Арне Бьёрликке [11], согласно которым протерозойский период эволюции Земли завершается формированием целой группы архейско-раннепротерозойских кратонов, располагавшихся в экваториальной части планеты.

Реконструкция на байкальскую эпоху тектогенеза (700-670 млн лет) характеризует время завершения аккреции саальбардской части палеоплиты Лавренция, с Большеземельской палеоплитой и Балтией. Результатом аккреции является формирование на их границах Тимано-Печорской складчатой области. Снос и накопление осадков в это время происходит из центральной части Свальбарда и, вероятно, из осевой зоны Тимано-Печорской складчатой области в периферические области Свальбарда. Вдоль окраин Сибирской палеоплиты в результате приращения Няояхской

и Карской палеоплит формируются Енисейская и Таймырская складчатые области. Последняя является источником осадочного материала, поступающего в Карский бассейн (рис.4, а).

Реконструкция на время 420 млн лет показывает закрытие океана Япетус в результате аккреции палеоплит Лавренции с Балтией и Свальбардом в ходе каледонской эпохи тектогенеза. Результатом аккреции является формирование обширного складчатого пояса, охватывающего западный фланг Шпицбергена, норвежскую окраину Европы, территорию современной Великобритании, окраины Гренландии и Северной Америки. Осадочный материал накапливался в юго-западной части Свальбардской палеоплиты. Источником материала являлись территории северо-западной части Свальбарда и Большеземельской окраины Балтии. Сибирский палеоконтинент в это время наращивается складчатыми сооружениями Алтае-Саянской и Байкальской складчатых областей (рис.4, б).

В герцинскую эпоху тектогенеза в условиях аккреции палеоплит Балтии (окраина Лавренции), Казахстана и Сибири происходит формирование Уральской (290 млн лет) и Центрально-Западно-Сибирской (250 млн лет) складчатых областей.

В пределах Свальбардского и Карского бассейна продолжается накопление осадочного материала, поступавшего с окружающих горно-складчатых сооружений (рис.4, в).

В начале мезозойской эры (195 млн лет) нами предполагается высокоамплитудное сдвиговое смещение Сибирского палеоконтинента и Центрально-Западно-Сибирской складчатой области относительно других сегментов Пангеи и формирование в области их столкновения с окраиной Свальбарда Пайхой-Новоземельского складчатого пояса. С началом мезозойского периода связывается заложение рифтогенных структур, обусловивших интенсивное осадконакопление в пределах Западно-Сибирской геосинеклизы, Карского и Баренцевского бассейнов.

Палинспастические построения призваны прояснить логику развития разновозрастных складчатых поясов и формирования разновозрастных осадочных палеобассейнов Баренцево-Карского региона. Они направлены на увязку разнотипных геодинамических режимов, проявившихся в ходе домезозойской эволюции в разных частях региона и смежных структурах Западно-Сибирского, Енисейско-Хатангского и Печорского осадочных бассейнов.

Эти вспомогательных материалы повышают обоснованность геотектонической интерпретации геолого-геофизических данных и моделирование структур, сформированных в разнотипных геодинамических обстановках. Они служат конструированию геолого-структурного (тектонического) каркаса площади исследований. Основным содержанием карт и разрезов земной коры в этих условиях становится отображение закономерностей локализации главных структурно-вещественных подразделений континентальной земной коры и верхней мантии как следствия

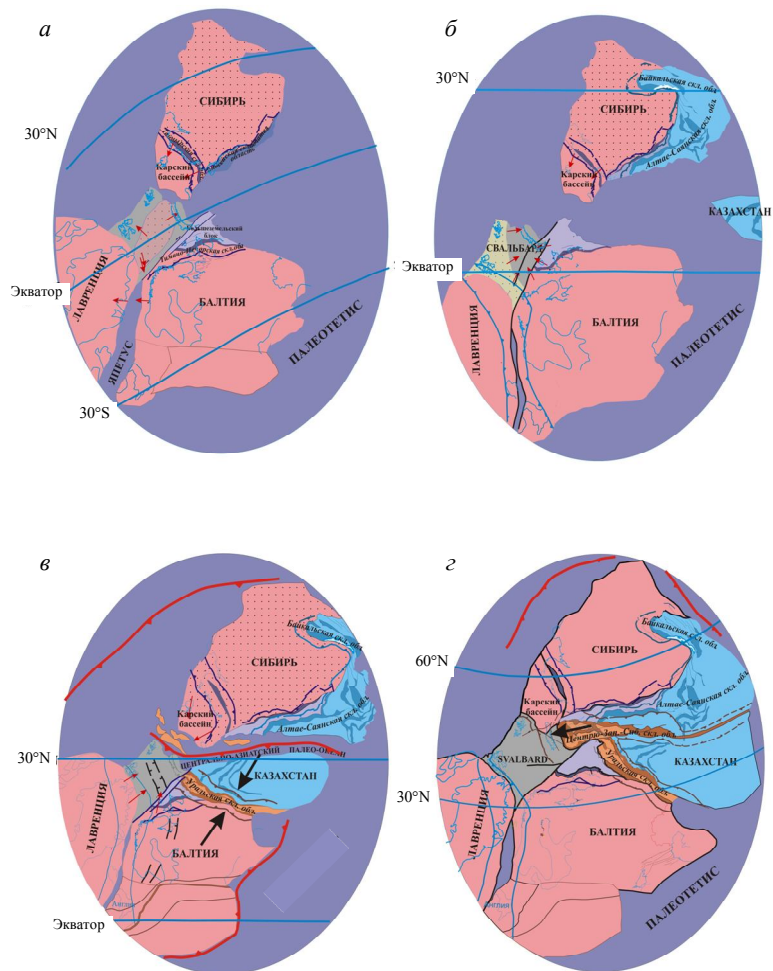


Рис.4. Региональные палинспастические реконструкции на главные эпохи палеозойской эволюции, выполненные путем монтажа элементов авторской модели глубинного тектонического районирования Северной Евразии с палеомагнитными реконструкциями Арне Бьёрликке [11]. Орогенез: а – байкальская (700-670 млн лет), б – каледонская (560 млн лет), в – герцинская (290 млн лет), г – киммерийская (195 млн лет)

геодинамических процессов на границах литосферных плит. На картах платформенных территорий, кроме того, изучают пространственные соотношения подразделений консолидированной коры и платформенного чехла. Этими исследованиями открывается путь для развития исследований в сфере изучения геодинамики осадочных бассейнов и новые возможности для многофакторных прогнозно-минерагенических построений.

Проблема картографирования и глубинного моделирования *структур платформенного чехла и консолидированного фундамента и перегруженности сводных карт глубинного строения* решается путем составления послыных карт глубинного строения и глубинных разрезов земной коры с единых позиций и с использованием унифицированной системы условных обозначений. Этот подход иллюстрируется материалами по Баренцевоморско-Карскому региону.

*Карта осадочного чехла Баренцевоморско-Карского шельфа и прилегающих частей евразийского континента* характеризует параметры глубинного строения осадочных бассейнов различных по возрасту, размерам и морфологии. В рамках системы условных обозначений цвет соотносится с возрастным интервалом формирования чехла; интенсивность цвета характеризует мощность чехла (рис.5).

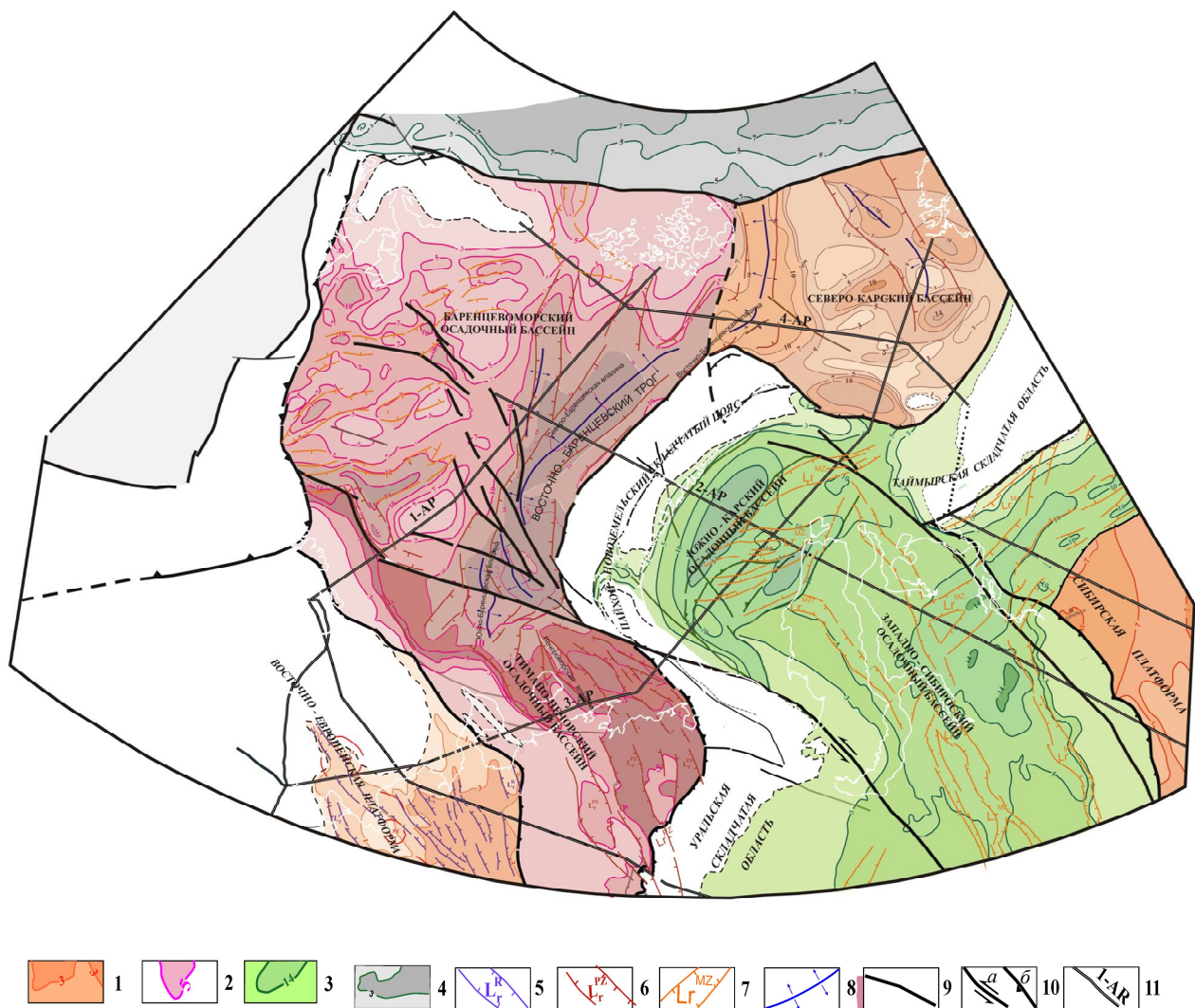


Рис. 5. Карта глубинного строения осадочного чехла Баренцевоморско-Карского шельфа и прилегающих частей евразийского континента (с упрощениями)

1-4 – изогипсы подошвы платформенного чехла: 1 – древних Восточно-Европейской, Сибирской платформ и Карской плиты, 2 – Тимано-Печорского и Баренцевоморского палеозойских осадочных бассейнов, 3 – мезозойского Западно-Сибирского и Южно-Карского осадочного бассейнов, 4 – осадков океанической коры Арктического бассейна; 5-7 – рифтовые структуры базальной части осадочных бассейнов: 5 – рифейские; 6 – палеозойские, 7 – раннемезозойские; 8 – оси рифтогенных трогов; 9, 10 – главные разрывные нарушения (в том числе сдвиговые (10а) и надвиговые (10б)); 11 – опорные геотранверсы Баренцевоморско-Карского региона и увязанные с ними континентальные геотранверсы



В пределах площади исследований выделяются:

– северные фланги *Восточно-Европейского и Сибирского кратонов*, осадочные чехлы которых выполнены преимущественно венд-палеозойскими осадками со средней мощностью 2-3 км; ниже залегают рифейские авлакогены мощностью до 8 км;

– *Северо-Карский бассейн*, выполненный рифейско-палеозойско-мезозойскими осадками мощностью от первых километров до 16 км (в пределах Восточно-Баренцевской впадины);

– *Тимано-Печорский бассейн*, который характеризуется переменной мощностью палеозойско-мезозойских осадочных толщ от нуля (Тиманский кряж и Канино-Северо-Тиманская зона) до 8 км в Предуралье и 16-18 км на южном фланге Южно-Баренцевской впадины. Этот осадочный бассейн развивался с раннего палеозоя в режиме пассивной континентальной окраины. На его строение большое влияние оказали внутриплитные сдвиго-сбросовые и сдвиго-взбросовые деформации, инициированные позднепалеозойскими орогенными процессами Уральской складчатой области;

– *Баренцевоморский осадочный бассейн*, выполненный палеозойско-мезозойскими осадками мощностью от нуля (о. Шпицберген) до 20 км – в пределах Северо-Баренцевской впадины. На формирование морфологии и строения осадочного бассейна большое влияние оказали процессы: ранне-среднепалеозойского и позднепалеозойского – раннемезозойского рифтогенеза, эпикаледонские орогенные процессы в смежной Свальбардской складчатой области и раннемезозойские орогенные процессы Пайхой-Новоземельской складчатой области [2, 7];

– *Западно-Сибирский осадочный бассейн*, заложенный на разновозрастном консолидированном фундаменте, включающем структуры Уральской, Центрально-Западно-Сибирской, Казахстанской, Алтае-Саянской и Енисейской складчатых областей [10]. Соответственно резко изменяется мощность осадочных толщ бассейна, достигающая максимальных значений (14 км) в его северной и восточной частях [1]. На морфологию бассейна, помимо ареалов развития раннемезозойского рифтогенеза, большое влияние оказывает трансрегиональная Томь-Колывань-Новоземельская сдвиго-надвиговая зона;

– *Хатангский прогиб*, заложенный на северном фланге Сибирской платформы. Его разрез выполнен венд-палеозойскими и мезозойскими осадками суммарной мощностью до 10 км;

– Южный фланг *Южно-Карского осадочного бассейна*, который является продолжением Западно-Сибирского осадочного бассейна. Северный фланг бассейна заложен на эпикиммерийском складчатом фундаменте; наиболее погруженная часть бассейна локализована на коре океанического типа (остаточном океаническом бассейне).

На *карте глубинного строения консолидированного фундамента* Баренцевоморско-Карского шельфа и прилегающих частей евразийского континента главное изобразительное средство – цвет отображает возраст консолидации земной коры крупнейших геоструктур региона исследований – древних кратонов, складчатых сооружений гренвильской, байкальской, каледонской, герцинской и киммерийской эпох тектогенеза (рис.6).

Дополнительную смысловую нагрузку карты несут контуры развития геологических комплексов, классифицированных по геодинамическим обстановкам их формирования, а также разрывные нарушения разных морфокинематических типов. В пределах площади исследований выделяются:

– древние кратоны (*Восточно-Европейская и Сибирская платформы*) в составе фундамента которых фиксируются блоки с архейской корой континентального типа и разделяющие их раннепротерозойские рифтогенные и сутурные зоны;

– *Североземельский геоблок*, который рассматривается как сегмент Сибирского палеоконтинента, повторно причлененный к его северной (в современных координатах) окраине на конечной стадии байкальского тектоно-магматического цикла;

– *Баренцевская складчатая область*, классифицированная как геоструктура, сформированная в ходе гренвильской эпохи тектогенеза;

– *Тимано-Печорская складчатая система*, сформированная вдоль границы палеоплиты Балтия в ходе байкальского тектогенеза и включающая ее пассивную окраину, Верхне-Печорскую сутурную зону и Большеземельский мегаблок (палеоплиту) с корой континентального типа;

– *Уральская и Центрально-Западно-Сибирская складчатые области* - коллизионные орогены, сформированные в зонах столкновения Балтии, Казахстанской и Сибирского палеоконтинентов в конце герцинского тектоно-магматического цикла;

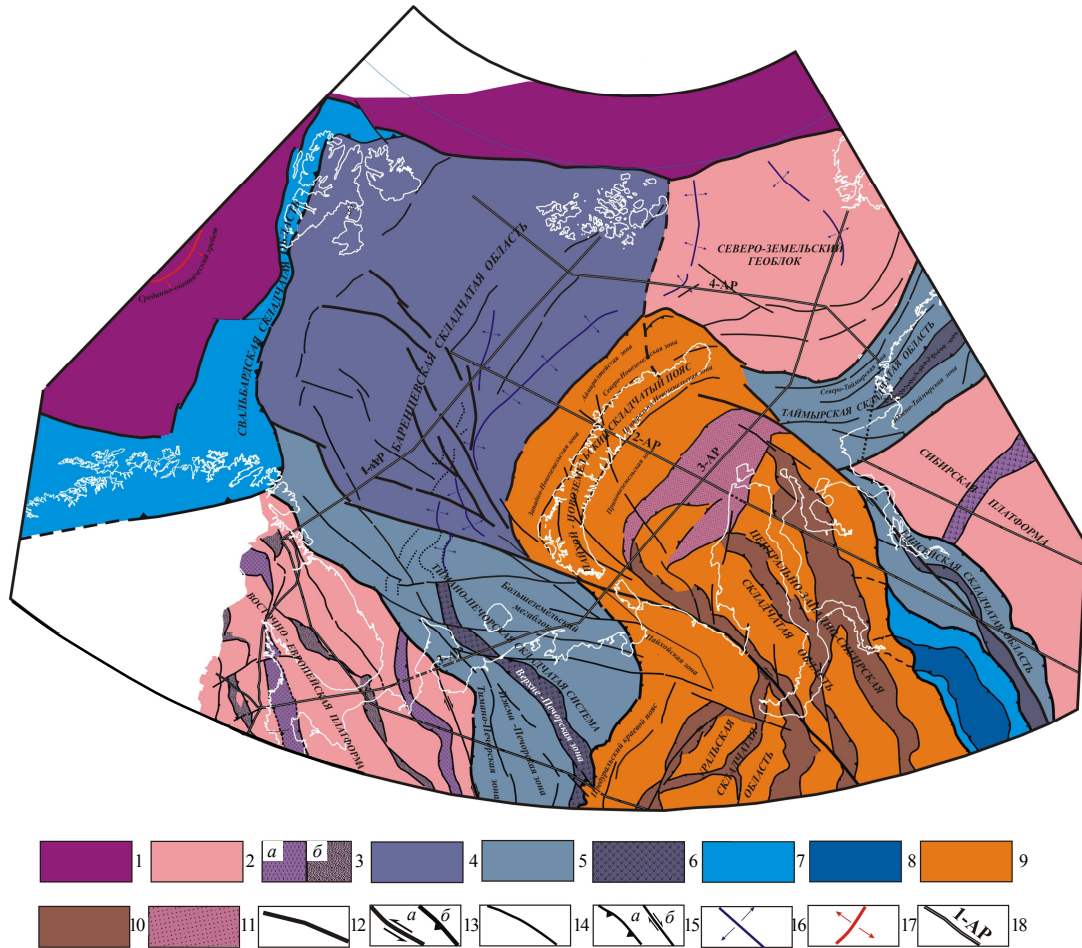


Рис.6. Карта глубинного строения консолидированного фундамента Баренцевоморско-Карского шельфа и прилегающих частей евразийского континента (с упрощениями)

1-11 – структурно-вещественные подразделения литосферы: 1 – литосфера океанического типа, 2, 3 – древние платформы (2 – блоки, 3 – межблоковые сутурные (а) и рифтогенные (б) зоны), 4 – блоки гренвильской складчатой области, 5, 6 – байкальские складчатые области (5 – блоки, 6 – межблоковые сутурные зоны), 7, 8 – каледонская складчатая область (7 – блоки, 8 – межблоковые сутурные зоны), 9, 10 – нерасчлененные герцинские и киммерийские складчатые области (9 – блоки, 10 – межблоковые сутурные зоны), 11 – реликтовый океанический бассейн; 12-15 – разрывные нарушения: 12 – главные глубинные, в том числе сдвиговые (13а) и надвиговые (13б); 14, 15 – разрывные нарушения второго ранга (в том числе надвиговые границы сутурных зон (15а) и сдвиги (15б)); 16 – оси рифтогенных трогов; 17 – срединно-океанический хребет; 18 – геотравессы Баренцевоморско-Карского региона и увязанные с ними континентальные геотравессы

– *Пайхой-Новоземельская складчатая область*, формирование которой относится к финальной стадии закрытия северной ветви Азиатского палеоокеана в начале мезозойской эры;

– структуры северного фланга *Алтае-Саянской и Енисейской складчатых областей*, составляющие, соответственно, эпикаледонское и эпибайкальское складчатые обрамления Сибирского палеоконтинента и представленные палеомикроплитами, сутурными зонами и деформированными окраинами этого палеоконтинента;

– *Таймырская складчатая область*, главные орогенные события которой произошли в эпоху эпибайкальского тектогенеза; позднепалеозойские сдвиговые и складчато-надвиговые дислокации имеют здесь характер внутриплитных деформаций.

Интегральная карта глубинного строения земной коры отражает строение чехла и фундамента. Главным назначением этой перегруженной карты является сопоставление параметров осадочного чехла и консолидированного фундамента.

*Разрезы земной коры в сечениях опорных геофизических профилей (геотравессов)* отображают главные особенности глубинного строения геоструктур земной коры платформ и складчатых областей [3, 9]. По акватории Баренцевоморско-Карского региона такие разрезы выполнены вдоль линий четырех опорных геофизических профилей АР-1, АР-2, АР-3 и АР-4. Центральный фрагмент профиля АР-2 отражает особенности глубинного строения Пайхой-Новоземельской

складчатой области и структур ее обрамления. Базовой информацией при изучении складчато-надвиговых дислокаций Пайхой-Новоземельской складчатой области являлись детальные данные сейсморазведки МОВ, геологическая переинтерпретация которых в сочетании с данными сейсмотомографии и обработки потенциальных полей позволила не только обосновать общую структуру надвиговых деформаций, но и оценить амплитуды смещений вдоль главных плоскостей разрыва.

Этот разрез свидетельствует о том, что разрезы осадочных толщ восточного фланга Северо-Баренцевской впадины и западного фланга Пайхой-Новоземельской складчатой области имеют сходные последовательности и мощности слоев, что свидетельствует об их длительном развитии в единых условиях. Различия в их строении обусловлены проявлением раннемезозойских аккреционных процессов на финальном этапе закрытия Палеоазиатского океана, которые привели к интенсивным деформациям и выведению на дневную поверхность восточного (в современных координатах) фланга депрессии, включаемого ныне в состав Пайхой-Новоземельской складчатой области. Обращает на себя внимание тот факт, что интенсивность деформаций в пределах складчатой области убывает от Адмиралтейской и Центрально-Новоземельской зон в направлении Южно-Карского бассейна.

В разрезе Приновоземельского блока складчато-надвиговые деформации не выделяются. Здесь моделируется проявление лишь рифтогенных процессов (рис.7).

В пределах акватории Карского бассейна под мезозойско-кайнозойскими осадками Южно-Карской впадины нами выделяется Карский остаточный бассейн с корой океанического типа [1], при моделировании неоднородностей которой нами были использованы параметры сейсмотомографического разреза.

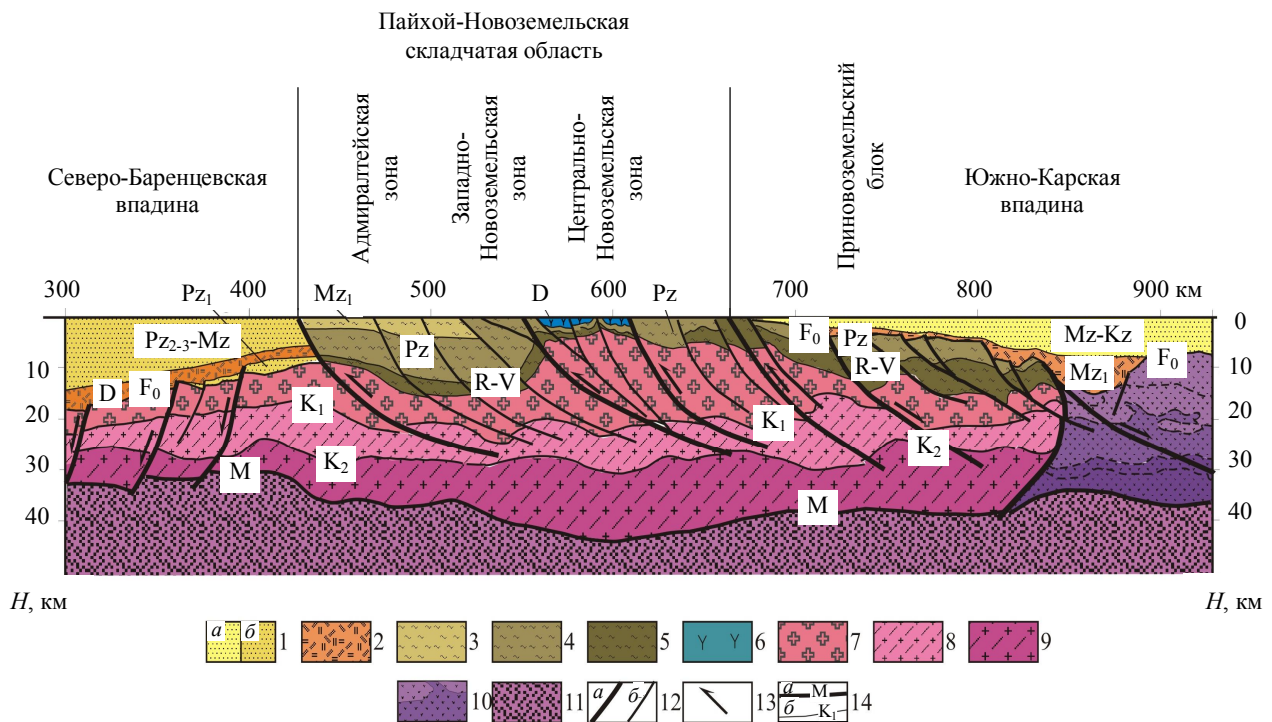


Рис.7. Глубинный разрез земной коры Пайхой-Новоземельской складчатой области и смежных структур вдоль восточного фрагмента опорного геофизического профиля 2-АР

1-10 – структурно-вещественные подразделения земной коры: 1 – осадки внутриплитных бассейнов (а – мезозойско-кайнозойского возраста, б – палеозойско-мезозойского возраста), 2 – рифтогенные комплексы, 3-5 – осадки древних пассивных континентальных окраин и чехлов микроплит мезозойского (3), палеозойского (4) и рифейского (5) возрастов, 6 – вулканогенные и осадочные образования древних активных континентальных окраин, 7-9 – слои кристаллической коры, выделенные по значениям скорости продольных волн  $V_p$ : 7 – верхняя кора – «гранитно-метаморфический слой»,  $V_p = 6,0 \div 6,4$  км/с, 8 – средняя кора,  $V_p = 6,5 \div 6,8$  км/с, 9 – нижняя кора,  $V_p = 6,8 \div 7,2$  км/с, 10 – океаническая кора Южно-Карской впадины, дифференцированная по данным сейсмотомографического моделирования (изолинии – границы скоростей продольных волн); 11 – структурно-вещественные подразделения верхней мантии; 12 – разрывные нарушения земной коры (а – главные, б – второстепенные); 13 – тренды перемещения блоков земной коры вдоль разрывных нарушений; 14 – главные (а) границы радиальной расслоенности земной коры ( $F_0$  – подошва вулканогенно-осадочного слаблитифицированного слоя, М – подошва земной коры (граница Мохоровичича) и прочие (б) границы радиальной расслоенности земной коры (в том числе  $K_1$  – подошва верхней коры,  $K_2$  – подошва средней коры)

Составление взаимоувязанных и выполненных в единой системе условных обозначений карт глубинного строения и глубинных геолого-геофизических разрезов позволяет получить принципиально новую информацию об особенностях строения, тектоники и геодинамики изучаемых регионов. Результирующие картографические документы рассматриваются в качестве разновидности тектонических моделей, которые содержат информацию о строении платформенного чехла и консолидированного фундамента.

Научно-методический подход к оценке перспектив нефтегазоносности континентального шельфа на основе изучения закономерностей локализации месторождений полезных ископаемых с использованием выявленных параметров глубинного строения и исторических вех тектонической истории региона позволяет выделить новые факторы (критерии) нефтегазоносности недр и задействовать их в прогнозно-минерагенических построениях с использованием алгоритмов распознавания образов.

В результате проведенного анализа всей суммы геолого-геофизических данных для Баренцево-Карского региона были выделены три группы наиболее значимых критериев (факторов) нефтегазоносности: литолого-стратиграфические, геохимические и тектонические.

*Литолого-стратиграфические* критерии лучше всего фиксируются на палеогеографических реконструкциях, выполненных в виде набора литолого-палеогеографических карт, отражающих основные этапы структурных перестроек и формирования осадочного чехла в разные этапы развития региона. На картах также показаны источники сноса обломочного материала и условия осадконакопления, в том числе рифообразование.

Группа *геохимических критериев*, особенно данные о катагенетическом преобразовании органического вещества пород, позволяют сделать выводы о распространении нефтегазоматеринских свит и их генерационном потенциале. Особое значение для качественного прогноза имеет картирование предполагаемых областей распространения битуминозных пород в позднем девоне

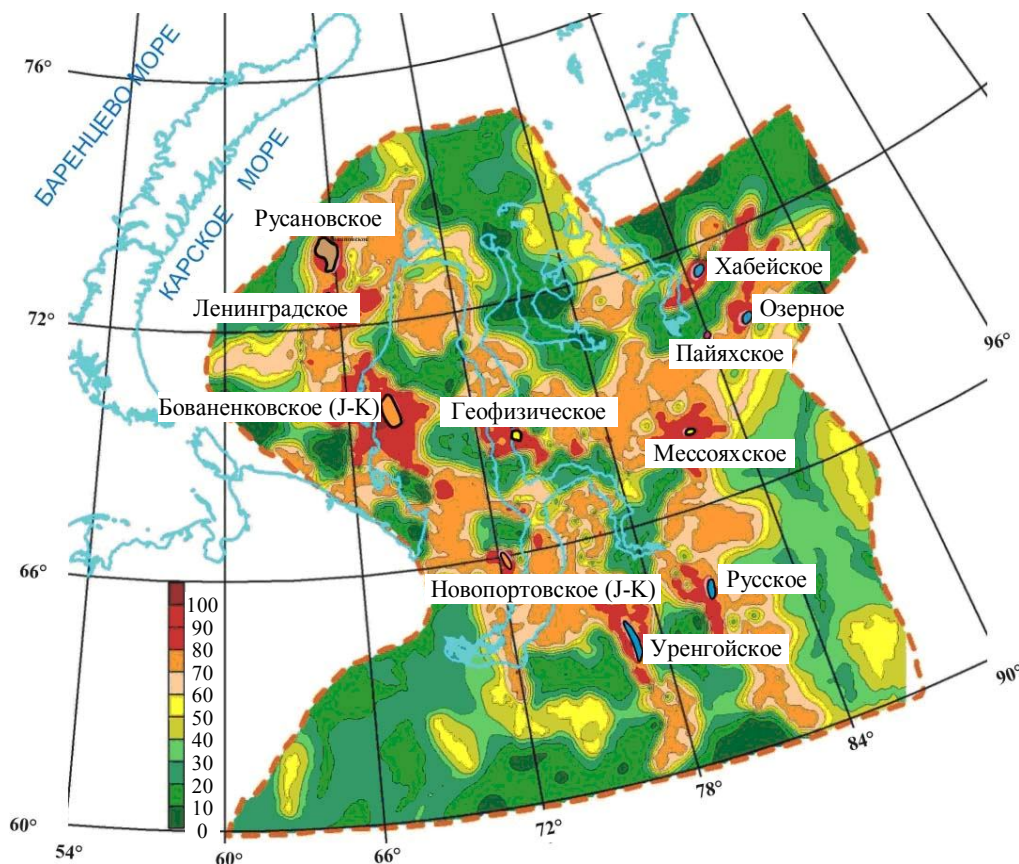


Рис.8. Интегральное прогнозное решение задачи распознавания образов по территории Западно-Сибирской и Хатангско-Виллойской нефтегазовых провинций с использованием в качестве объектов обучения 11 промышленных объектов (цветовая гамма отображает вероятность обнаружения объектов, идентичных объектам эталонной выборки)



(а в районе архипелага Сев. Земля и в раннем девоне), перми, среднем триасе и поздней юре относительно глубоководных терригенных и терригенно-карбонатных толщ мощностью первые сотни метров, которые по условиям катагенеза находятся в нефтяном окне. Исключение составляет термически незрелая позднеюрская свита, а также позднедевонские и пермские толщи, образующие очаги генерации жидких углеводородов лишь в юго-западных районах Баренцева моря, что было нами подтверждено схемами катагенеза пород верхнего палеозоя, триаса, юры и мела.

Высоко информативными, безусловно, являются *тектонические критерии* нефтегазоносности, особенно в процессах формирования осадочного бассейна и его дальнейших перестроек. Как уже упоминалось выше, комплексирование различных методов (МПВ-ГСЗ, МОВ-ОГТ и др.) и использование современных компьютерных технологий обработки данных позволяют составить объемную сейсмогеологическую модель строения всего региона, выделить структурно-формационные комплексы в так называемом койлогенном мезокайнозойском, промежуточном синрифтовом комплексе осадочного чехла, а с учетом прослеживания сейсмических границ в нижней части земной коры также определить природу и мощность этой коры, выделить блоки с аномально высокой мощностью осадочного чехла [8].

Метод аналогии, традиционно используемый в прогнозно-минерагенических исследованиях, в последние десятилетия активно применяется в решении задач многофакторного прогнозирования с использованием алгоритмов распознавания образов с обучением [6]. В качестве объектов обучения задаются эталонные объекты, т.е. объекты, о которых известно, к какому классу заданной классификации они относятся. По эталонным объектам на этапе обучения строится решающее правило, с помощью которого для остальных объектов на этапе распознавания дается прогноз, т.е. оцениваются значения некоторых функций, характеризующих близость каждого объекта к каждой эталонной выборке.

На основе анализа типов месторождений углеводородов Западно-Сибирской нефтегазовой провинции и закономерностей их локализации относительно структур консолидированного фундамента и платформенного чехла нами было намечено семь месторождений, которые рассматривались в качестве объектов обучения. Кроме того, аналогичные построения выполнены в отношении четырех объектов, расположенных на западном фланге Хатангского прогиба Хатангско-Вилуйской нефтегазовой провинции (рис.8).

Рассмотрение полученного решения на площади северной части Западно-Сибирской нефтегазовой провинции свидетельствует о широком ареале распределения перспективных площадей осадочного бассейна.

**Заключение.** Исследования глубинного строения земной коры регионов российской Арктики и евразийского континента рекомендуется выполнять с учетом следующих принципов:

– алгоритм обработки и геологической интерпретации комплекса геофизических данных включает различные трансформации полей, способы решения прямых и обратных задач, статистические способы, технологии безэталонной классификации и распознавания образов с обучением, применяемые для цифровых данных по площади, вертикальных сечений и трехмерного геологического пространства;

– карты и разрезы глубинного строения рассматриваются как документы тектонического содержания, выполняются по единой научно-теоретической методике с использованием унифицированной системы условных обозначений и увязываются по смысловым и формальным параметрам;

– при построении карт глубинного строения реализуется послойный подход, предусматривающий раздельное картографическое отображение особенностей строения платформенного чехла и консолидированного фундамента;

– послойные карты глубинного строения рассматриваются в качестве составных частей трехмерной геотектонической модели региона исследований;

– необходимой составляющей этих научных исследований является развитие научных знаний об истории формирования глубинных недр Земли, представляемыми в форме палинспастических и палеогеографических схем и разрезов, историко-генетических моделей и др.

С учетом методического опыта выполненных работ можно говорить о том, что для построения карт и разрезов глубинного строения земной коры, предусмотренных программами государственного геологического картирования масштабов 1:1000 000 и 1:200 000, в каждом случае исполнителям приходится обобщать и анализировать громадные объемы разнотипной геологиче-



ской информации, выполнять обработку геофизических полей с использованием современных программно-математических аппаратов разных типов и свободно владеть инструментами тектоники и геодинамики. В рамках отдельного геологического задания – это на высоком профессиональном уровне невыполнимо и полученные разными авторскими коллективами результаты будут несопоставимы.

Решение этой логистической проблемы видится в разработке «Дежурной карты глубинного строения (геотектонического содержания), сопровождаемой системой опорных разрезов земной коры (геотравверсов)» которая в оперативном режиме пополняется новыми данными составляемых листов Госгеолкарты-1000 и -200 и, в свою очередь, обеспечивает эти листы необходимыми картами и разрезами. Тем самым обеспечивается увязка структурно-вещественных параметров смежных листов.

Выполнение такого типа совместных научных исследований ВСЕГЕИ и Горного университета будет способствовать возрождению традиции тесного сотрудничества этих старейших в геологической службе страны организаций и задаче развития нашей общей школы картографии, созданной горняками-геолкомовцами Г.П.Гельмерсеном, А.П.Карпинским, И.В.Мушкетовым и другими выдающимися геологами

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Аплонов С.В.* Остаточные океанические бассейны / С.В.Аплонов, В.И.Устрицкий // ДАН СССР. 1991. Т. 316. № 2. С. 425-428.
2. Глубинное строение Баренцево-Карского региона / И.Ю.Винокуров, А.П.Каленич, А.С.Егоров, А.И.Атаков, И.Ф.Кузнецова // Разведка и охрана недр. 2011. № 10. С. 23-30.
3. Государственная сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин – основа глубинного 3D-картографирования территории Российской Федерации и ее континентального шельфа / С.Н.Кашубин, Е.Д.Мильштейн, И.Ю.Винокуров, Ю.М.Эринчек, Р.Б.Сержантов, В.Ю.Татаринов // Региональная геология и металлогения. 2016. № 67. С. 43-48.
4. *Егоров А.С.* Глубинное строение и геодинамика литосферы Северной Евразии (по результатам геолого-геофизического моделирования вдоль геотравверсов России). СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 200 с. (МПР РФ, ВСЕГЕИ).
5. *Егоров А.С.* Структурные и петрофизические характеристики внутриплитных геодинамических обстановок Баренцево-морско-Карского региона и северной окраины Евразийского континента / А.С.Егоров, О.Ю.Смирнов // Записки Горного института. 2012. Т. 197. С. 50-59.
6. *Ломтадзе В.В.* Программное и информационное обеспечение геофизических исследований. М.: Недра, 1993. 268 с.
7. Новая Земля и остров Вайгач. Геологическое строение и минерагения / А.П.Каленич, В.В.Орго, Н.Н.Соболев, В.И.Бондарев, Ю.П.Семенов, Е.Е.Мусатов; Под научн. ред. Ю.Е.Погребницкого. СПб: ВНИИОкеангеология, 2004. 174 с.
8. Проблемы регионального геологического изучения континентального шельфа РФ / Ю.И.Матвеев, М.Ю.Шкатов, И.Ю.Винокуров, А.Ф.Морозов, П.А.Хлебников, Ю.М.Эринчек, С.Н.Кашубин, О.И.Супруненко // Разведка и охрана недр. 2011. № 10. С. 6-10.
9. Состав и содержание карты глубинного строения в Госгеолкарте-1000/3. Основные подходы / Ю.М.Эринчек, С.Н.Кашубин, Е.Д.Мильштейн, В.Н.Мухин // Региональная геология и металлогения. 2007. № 33. С. 65-67.
10. *Сурков В.С.* Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты / В.С.Сурков, О.Г.Жеро. М.: Недра, 1981. 143 с.
11. *Vjørlykke Arne.* Den platetektoniske syklusen. Oslo: GeoPublishing AS, 2007. 120 s.

**Авторы:** **А.С.Егоров**, д-р геол.-минерал. наук, заведующий кафедрой, [asegorov@spti.ru](mailto:asegorov@spti.ru) (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), **И.Ю.Винокуров**, канд. геол.-минерал. наук, заместитель заведующего отделом, [iyu\\_vinokurov@vsegei.ru](mailto:iyu_vinokurov@vsegei.ru) (ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ)», Санкт-Петербург, Россия), **А.Н.Телегин**, д-р геол.-минерал. наук, профессор, [telegin@spti.ru](mailto:telegin@spti.ru) (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Статья поступила в редакцию 31.05.2017

Статья принята к публикации 27.04.2018.