

СТРУКТУРНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

Б.В. Сенин¹, В.Ю. Керимов², М.И. Леончик¹, Р.Н. Мустаев², Р.А. Мамедов²¹ОАО «Союзморгео», ул. Красногвардейская д. 38, г. Геленджик, 353461;
e-mail: sengri@mail.ru, leonchikmi@rusgeology.ru²ФГБОУВО Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе,
ул. Миклухо-Маклая 23, г. Москва, 117997; e-mail: kerimovvy@mgri.ru, mustaevrn@mgri.ru, mamedovra@mgri.ru

Поступила в редакцию 17 марта 2023 г.

Целью рассмотренных в статье исследований является изучение строения и эволюции структурно-геодинамических систем Восточной Арктики. Тектоническая модель основания плитного разреза Восточной Арктики определяет их вертикальную структурно-тектоническую этажность, которая устанавливается на основании косвенных, по существу структурных характеристик, представляемых по результатам интерпретации материалов сейсморазведки и иных геофизических съёмок, с разной мерой достоверности увязанных с изученными разрезами соседних или удалённых районов. Соответственно, построенные на этой базе модели вертикальной структуры и формационного состава являются в значительной степени гипотетическими и имеют тенденцию к изменению (вплоть до принципиального) по мере накопления геолого-геофизической информации. Решение задачи геодинамического анализа формирования структурно-геодинамических систем Восточной Арктики опиралось на тектоно-геодинамические палеорекоконструкции, отображающие взаимодействие глыб и блоков консолидированной земной коры. Полученные результаты позволили существенно обновить, расширить и в ряде случаев детализировать представления о строении фундамента и отдельных опорных горизонтов осадочного чехла этой части акватории. В заключении также сделан вывод, что Восточно-Арктические акватории представляют значительный интерес с точки зрения поисков УВ, однако оценка их углеводородного потенциала затруднена в силу слабой геофизической изученности и отсутствия скважин.

Ключевые слова: фундамент, кайнозойские отложения, геодинамический анализ, временной разрез, нефтегазоносность, Амеразийско-Арктический пояс, Восточная Арктика.

ВВЕДЕНИЕ

Под структурно-геодинамическими системами (СГС) понимаются совокупности элементов строения фундамента и осадочного чехла, объединяемые общей реакцией на геодинамические воздействия со стороны внешнего или внутреннего (по отношению к системе) источника тектонической энергии в течение одной или нескольких фаз тектоногенеза. Тектоническая модель основания плитного разреза Восточной Арктики определяет их вертикальную структурно-тектоническую этажность, которая устанавливается на основании косвенных, по существу структурных характеристик, представляемых по результатам интерпретации материалов сейсморазведки и иных геофизических съёмок, с разной мерой достоверности увязанных с изученными разрезами соседних или удалённых районов. Соответственно, построенные на этой базе модели вертикальной структуры и форма-

ционного состава являются в значительной степени гипотетическими и имеют тенденцию к изменению (вплоть до принципиального) по мере накопления геолого-геофизической информации.

Приводимые представления о структурно-тектонических этажах Восточно-Арктических морей интегрируют взгляды исследовательских групп и отдельных исследователей, изложенные в многочисленных публикациях, посвященных геологическому изучению этой акватории и основанных на большом объеме новой информации, появившейся с началом XXI в. [1–16].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Решение задачи геодинамического анализа формирования СГС Восточной Арктики опиралось на тектоно-геодинамические палеорекоконструкции, отображающие взаимодействие глыб и блоков консо-

лидированной земной коры. Они выполнялись для геохронологических рубежей, которые разделяют фазы мезозойского и альпийского тектоногенеза, характеризующиеся формированием и развитием крупных осадочных бассейнов Восточно-Арктических морей, то есть: древнекиммерийской (T_3 - J_1); новокиммерийской (J_3 - K_1) и ларамийской или раннеальпийской (K_2). С первой связано развитие в регионе поясов растяжения, разделяющих крупные, относительно жёсткие массивы континентальной земной коры и давших начало формированию основных осадочных бассейнов в регионе. Вторая фаза – это время заложения Канадской глубоководной впадины; связанных с ней «реактивных» сдвиговых и раздвиговых структур в области Восточно-Арктических шельфов; развития в границах шельфов складчато-надвиговых дислокаций раннеплатформенного чехла с образованием в его стратиграфическом интервале верхнего, переходного мегакомплекса фундамента; накопления ранних синрифтовых подкомплексов плитного чехла; разрушения Центрально-Арктического кратона (Арктиды) и возникновения высокоширотной магматической провинции (HALIP) [14]. Третья фаза соотносится со временем заложения Евразийской срединной впадины Северного Ледовитого океана и сопряжённых с ней структур Восточно-Арктического шельфа; с началом формирования в его границах основной (пострифтовой) толщи плитного чехла; с началом обособления от Тихого океана дальневосточных морей [20], формирования их мегабассейновой и бассейновой структуры и, возможно, с начальной фазой накопления мел-кайнозойских газо- и нефтематеринских толщ в некоторых бассейнах Восточной Арктики и Дальнего Востока.

Тектоно-геодинамические реконструкции на указанные геохронологические рубежи осуществлялись методом разделения исходной модели тектоники фундамента морской периферии РФ, разработанной нами ранее, в 2016–2017 гг., с учётом геодинамических условий формирования основных элементов его структуры.

Информационная база для построения модели включала данные морских геологических и геофизических съёмок разного масштаба, выполненных в период с середины 70-х гг. XX в. до 10-х гг. XXI в.; актуализированную по результатам их анализа региональную структурную модель поверхности разновозрастного фундамента акваторий и прилегающих территорий Северной Евразии [15]; результаты тектонической интерпретации морфологии поверхности фундамента с привлечением материалов региональных грави- и магнитометрических обобщений (карт), а также опубликованных в период с 1974 по 2014 гг.

многочисленных тектонических моделей, характеризующих территории Северной Евразии, бывшего СССР и отдельных морских и приморских регионов Арктики. Положение и конфигурация наиболее крупных элементов их внутренней структуры определялись на основе анализа особенностей строения поверхности разновозрастного фундамента и, в первую очередь, зон разнопорядковых градиентов, разделяющих области поднятий и погружений (рис. 1).

В Восточно-Арктических морях к анализу геодинамических условий развития приняты: в море Лаптевых – Лаптевоморский осадочный бассейн с суббассейнами Центрально-Лаптевским, Анисинским и Восточно-Лаптевским; в Восточно-Сибирском море – Восточно-Новосибирский бассейн с суббассейнами Жоховско-Роутанским и Медвежинско-Благовещенским, а также транзитный Усть-Индигирский (Тастахский) бассейн.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработанная тектоническая модель основания плитного разреза Восточно-Арктических и прилегающих территорий определяет их вертикальную структурно-тектоническую этажность. Её установление имеет наибольший уровень геологической обоснованности в тех районах акваторий и их побережий, где интерпретация материалов геофизического изучения разреза опирается на данные прямого изучения его вещественного состава, геохронологии и структуры.

Для Восточной Арктики это, как правило, скважины северной, Лаптевоморской зоны побережья Сибирской платформы, обнажения западной и южной береговой зон и островов Новосибирского архипелага (Анжу и Ляховских), а также результаты драгирования коренных пород на склонах примыкающего к шельфу подводного поднятия – хр. Ломоносова, отрога Геофизиков, поднятия Менделеева.

Море Лаптевых

Анализ приводимых результатов исследований позволил сформировать сводную хроностратиграфическую и формационную схему (рис. 2), отображающую два типа разрезов, которые характеризуют акваторию моря Лаптевых и различаются структурно-тектонической этажностью и набором формационных комплексов.

Первый тип разрезов характеризует окраины акватории, соответствующие разбуренным и изученным геологическими съёмками континентальным и затопленным участкам северного погружения древней Сибирской платформы (Хатангский, Анабарский и Оленёкский заливы, возможно – западная часть дельты р. Лены), палеозойской Таймырской складчато-

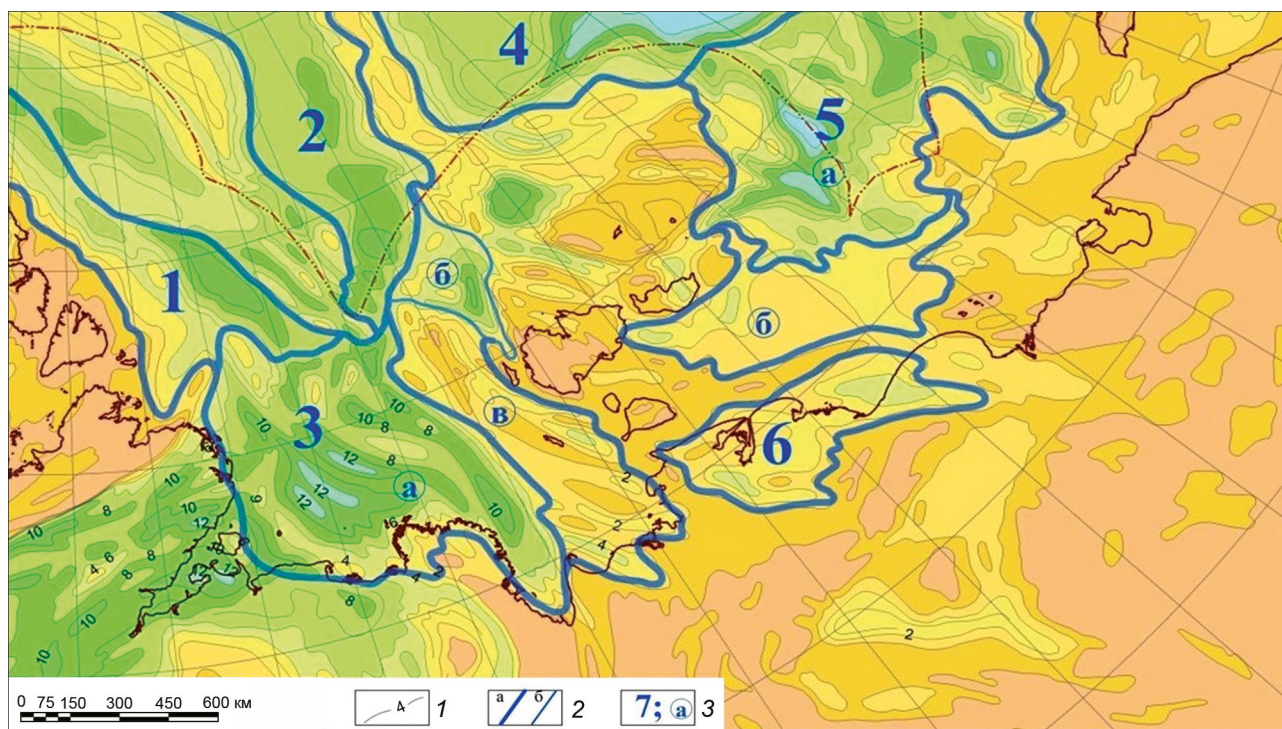


Рис. 1. Структурная схема поверхности разновозрастного фундамента Восточно-Арктических морей и прилегающих регионов.

1 – изолинии глубин поверхности фундамента в км; 2 – контуры: а – бассейнов, б – суббассейнов; 3 – индексы осадочных бассейнов и суббассейнов; осадочные бассейны и суббассейны: 1 – Нансена, 2 – Амундсена, 3 – Лаптевоморский (суббассейны: а – Центрально-Лаптевский, б – Восточно-Лаптевской ступени, в – Анисинский), 4 – Подводников/Толля, 5 – Восточно-Новосибирский (а – Жоховско-Роутанский, б – Медвежинско-Благовещенский), 6 – Усть-Индигирский/Тастахский.

орогенной системы и Таймыро-Северо-Земельского щита гренвильской или байкальской консолидации. Очевидно, что карельские палеозойские или гренвильско-байкальские комплексы этих тектонических элементов образуют и нижний структурно-тектонический этаж складчато-метаморфического фундамента приматериковых зон моря Лаптевых.

Соответственно, к платформенному структурно-тектоническому этажу в этих зонах должны относиться отложения, имеющие возраст от рифея или раннего палеозоя (до кайнозоя). Первый, терригенно-карбонатный комплекс морского происхождения образован отложениями рифея–венда. Второй, имеющий ранне-среднепалеозойский возраст, представлен отложениями от кембрия до девона или, местами – нижнего карбона, в морских, преимущественно карбонатных или мелководно-лагунных эвапоритовых формациях. По мере приближения к районам побережья, в которых развиты «верхоянские» разрезy, в карбонатных толщах комплекса появляются линзы и горизонты терригенных пород. Третий, верхнепалеозойско-юрский терригенный и вулканогенно-терригенный комплекс имеет сложный формационный состав, включающий

морские, континентальные отложения и осадочно-вулканогенные трапповые формации. Четвёртый, меловой или верхнеюрско-меловой терригенный комплекс морского, прибрежно-морского и континентального происхождения, по существу, завершает этап длительного устойчивого погружения и осадконакопления на части примыкающих к акватории платформенных территорий Сибири (Енисей-Хатангский и Лено-Анабарский прогибы).

В позднем мелу, или в конце мела, возможно, в связи с фазой раскрытия и началом спрединга в Евразийской впадине Северного Ледовитого океана, начинается подъём (апплифт) и осушение прилегающих шельфовых пространств (Баренцева моря, север Карского моря), в которые, скорее всего, вовлекаются пространства Енисей-Хатангского регионального прогиба и прилегают к поднимающемуся Таймыру и побережью моря Лаптева. В связи с этим размывается или не накапливается верхняя часть мелового разреза (рис. 2) и прекращается или локализуется на небольших по площади наиболее погруженных участках осадконакопление кайнозойских отложений. В составе платформенного этажа может

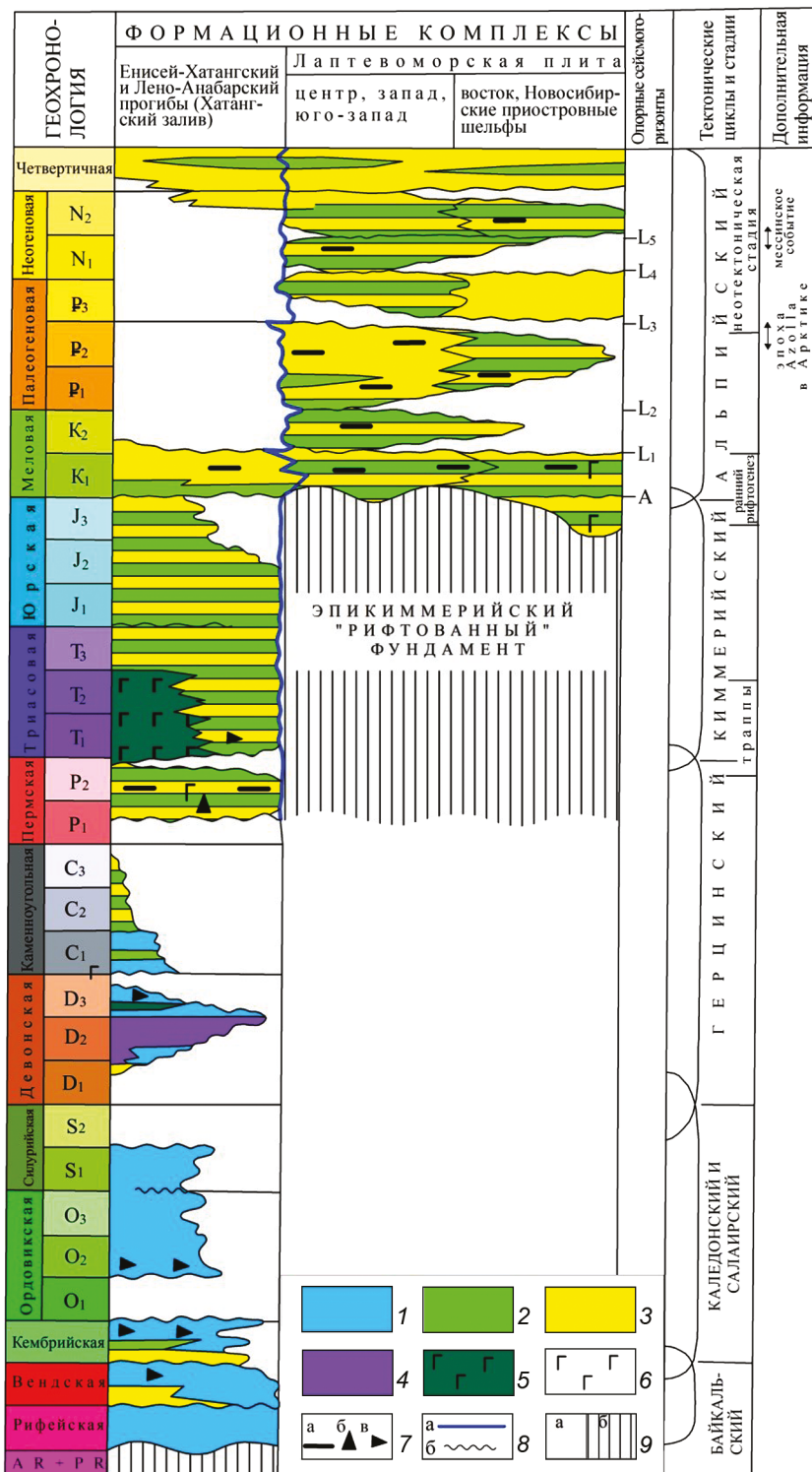


Рис. 2. Сводная хроностратиграфическая и формационная схема моря Лаптевых.

1–5 – формационные комплексы: 1 – карбонаты, 2 – терригенные-глинистые, 3 – терригенные когелерато-песчаные, 4 – эвапориты, 5 – траппы; 6 – магматические комплексы в осадочном разрезе; 7 – угленосность (а), нефте- и битумопроявления (б), в том числе промышленные, в – битуминозные породы; 8 – условные границы формационных мегазон (а), границы поверхностей и зон размыва (б); 9 – отсутствие отложений(а), фундамент (б).

выделяться до пяти формационных комплексов осадочного разреза.

Отложения этого комплекса перекрываются только плиоцен-четвертичными или четвертичными отложениями, которые присутствуют в разрезе, не повсеместно представлены в небольших мощностях и образуют верхний формационный комплекс, венчающий разрез платформенного чехла.

Распространение разреза этого типа в область акватории моря Лаптевых ограничивается глубинными разломами, которые устанавливаются при геологическом картировании зон побережья и современными сейсмическими съёмками, как это показано в публикациях С. И. Шкарубо, Г. А. Заварзиной [21], их коллег и других исследователей.

Второй тип разрезов соответствует большей части акватории моря Лаптевых и, как отмечалось выше, определяется, преимущественно, по геофизическим данным и сопоставлению с геологическими данными по прилегающим континентальным регионам. Структурно-тектонический этаж, образующий его фундамент, формируется комплексами киммерид, западная часть которых образована продолжающимися в акваторию и погружающимися под плитный чехол складчатыми структурами Верхояно-Колымской системы, а восточная – Новосибирско-Чукотской системы.

Стратиграфический интервал отложений, составляющих фундамент этой части акватории, простирается от среднего-верхнего палеозоя до триаса–юры. Образующие его дислоцированные толщи иногда трактуются как промежуточный комплекс [4] в предположении, что ниже этих толщ может присутствовать более древнее кристаллическое основание. Однако какие-либо конкретные данные, подтверждающие наличие такого основания под центральными районами моря Лаптева, пока отсутствуют. Более привлекательной и логичной с точки зрения геологии регионов, примыкающих к морю Лаптева, является концепция рифтогенного происхождения основной части Лаптевоморского бассейна [17], детально развиваемая в работах С.С. Драчева [7, 8] и других исследователей. Результатом такого происхождения бассейна может быть принципиальное отсутствие или глубокая многофазная рифтогенная переработка ранее существовавшего здесь (до накопления средне-верхнепалеозойского разреза) основания. При этом фазы рифтогенеза могли проявляться здесь и на более поздних, мезозойских этапах развития Лаптевоморского бассейна, как это было показано на моделях, приведенных ранее.

Плитный структурно-тектонический этаж акватории образует верхнеюрско-кайнозойский разрез,

включающий, предположительно, четыре комплекса (рис. 2, 3).

Нижний, развитый повсеместно и представленный с наибольшей вероятностью в глубоких рифтогенных прогибах, объединяет отложения верхней юры и нижнего мела и может быть определён как синрифтовый. Вероятность его присутствия в низах плитного разреза вытекает из результатов новейших исследований как непосредственно в акватории, так на её континентальном обрамлении [15, 17].

Три вышележащих комплекса могут быть объединены в пострифтовый мегакомплекс преимущественно континентального, прибрежно морского и мелководного происхождения, содержащий угленосные горизонты. Нижний комплекс представлен дислоцированным мел-палеогеновым разрезом, средний – олигоцен-миоценовой толщей аккумулятивного выравнивания, а верхний, плащеобразно залегающий – плиоцен-четвертичными образованиями.

Восточно-Сибирское и Чукотское моря

Выделение структурно-тектонических этажей в морской части региона в основном базируется на сейсмических данных, по которым устанавливаются разделяющие их поверхности крупных несогласий, связанных с перерывами в осадконакоплении и фиксируемых по наличию эрозионных поверхностей и особенностям волновой картины внутри выделяемых сейсмокомплексов.

Хорошо обоснованная стратификация сейсмических комплексов и структурно-тектонических этажей (СТЭ) существует только в восточной (американской) части Чукотского моря. Здесь она подтверждена результатами бурения в морской и континентальной частях Северной Аляски. Её надёжная передача в акваторию российской части Чукотского моря и далее в Восточно-Сибирское море по имеющейся сети региональных профилей вызывает значительные затруднения, а иногда практически невозможна, например – при сравнении стратификации эльсмирских толщ Аляски и Новосибирского бассейна [21].

Такая ситуация объясняется особенностями геологической истории развития региона, которая определила сложное строение фундамента и осадочного чехла. Сложность их структуры выражена:

-во-первых, в наличии обособленных древних массивов разного размера, разделенных системами прогибов и впадин, в основном рифтогенного происхождения; с этим связаны резкие изменения мощностей осадочных комплексов с их полным выклиниванием на склонах поднятий, сопряженных с прогибами и впадинами, в частности на склонах Чукотской платформы (рис. 4, а);

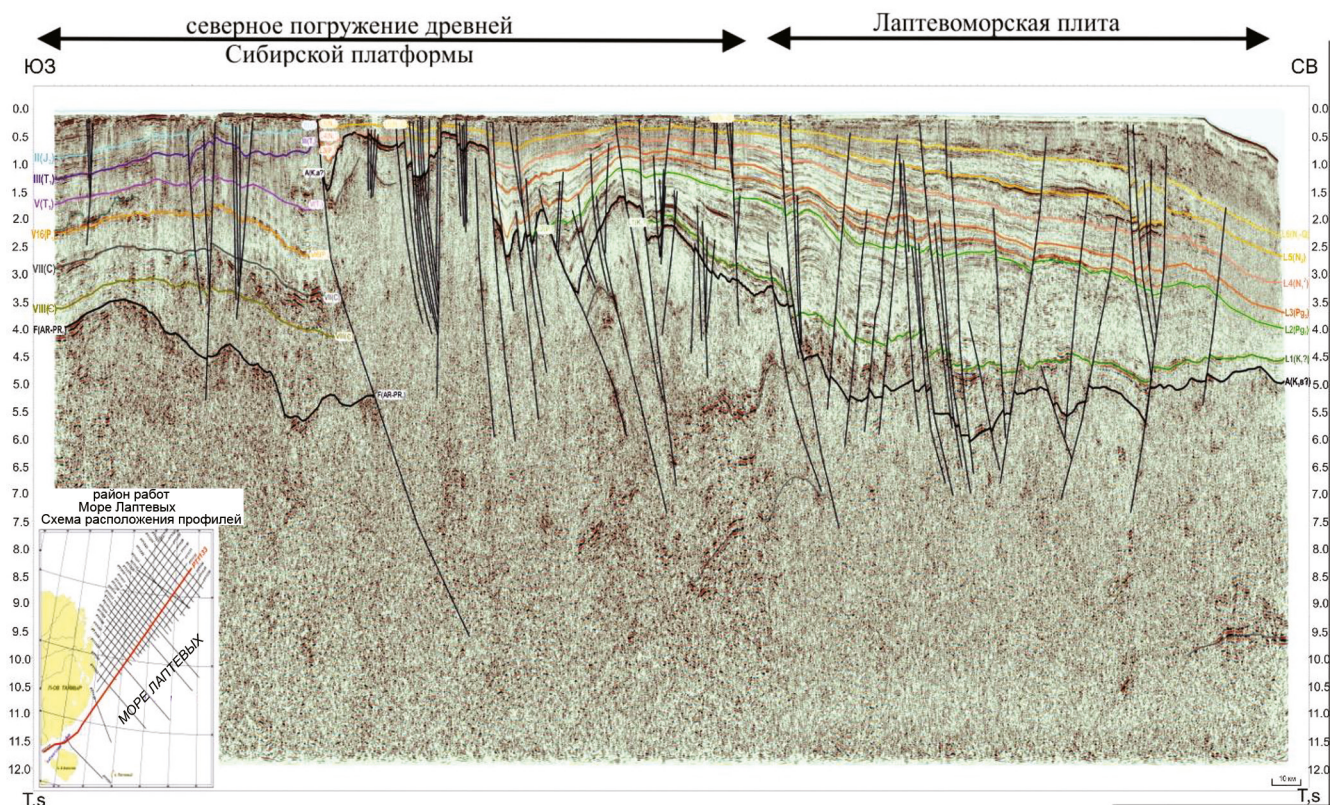


Рис. 3. Временной разрез в зоне сочленения Сибирской платформы и Лаптевоморской плиты (интерпретация Шлыковой В.В., МАГЭ).

-во-вторых, в развитии в южной части региона складчатого комплекса (Новосибирско-Чукотский складчатый пояс), в который входят отложения, предположительно аналогичные, элсмирскому комплексу Аляски, имеющие допоздне меловой возраст и изначально платформенное залегание. Характер перехода элсмирских отложений из платформенного залегания в складчатое показан на примере временного разреза по профилю ES10Z05A (рис. 4, б).

Таким образом, можно говорить о наличии на акваториях Восточно-Сибирского и Чукотского морей трёх структурно-тектонических этажей (рис. 4, 5).

Нижний СТЭ включает в себя отложения франклинского комплекса в составе эпикаледонско-эпибайкальской (эпигренвильской?) Восточно-Арктической подвижной платформы; средний выделяется в составе эпикиммерийской Новосибирско-Чукотской подвижной платформенной области и представлен отложениями элсмирского комплекса, который, по сути, выполняет роль промежуточного этажа; образующие его отложения находятся как в складчатом, так и субплатформенном залегании (рис. 4, б). Верхний СТЭ является осадочным чехлом в плитном состоянии и представлен отложениями брукинского (брукского) комплекса [18].

Комплексом, безусловно относимым к фундаменту, является древнейшая в шельфовом регионе метаморфическая толща, которая обнажается в ядрах антиклиналей только на о. Врангеля. Эта толща представлена врангелевским комплексом, мощностью около 2000 м, который «состоит из сильно дислоцированных метавулканических, метавулканокластических и метаосадочных терригенных пород – сланцев, метапесчаников, метакогломератов ...» с линзами и пластами метаморфизованных карбонатов и интрузивными телами базитов и гранитоидов [27]. Районы выходов докембрийского фундамента закартированы также за пределами континентального шельфа, в Центрально-Арктической области, где протерозойские толщи образуют цоколь подводного хребта Ломоносова в районе его примыкания к шельфу Восточно-Сибирского моря, в основании верхнемелового-кайнозойского разреза отрога Геофизиков – восточного ответвления хребта Ломоносова – и в котловине Подводников (рис. 4, а).

Имея в виду значительно более молодой возраст складчатости комплексов в южно-прибрежной зоне Восточно-Сибирского и южной части Чукотского морей можно с уверенностью говорить об омоложении возраста исходного фундамента от района Централь-

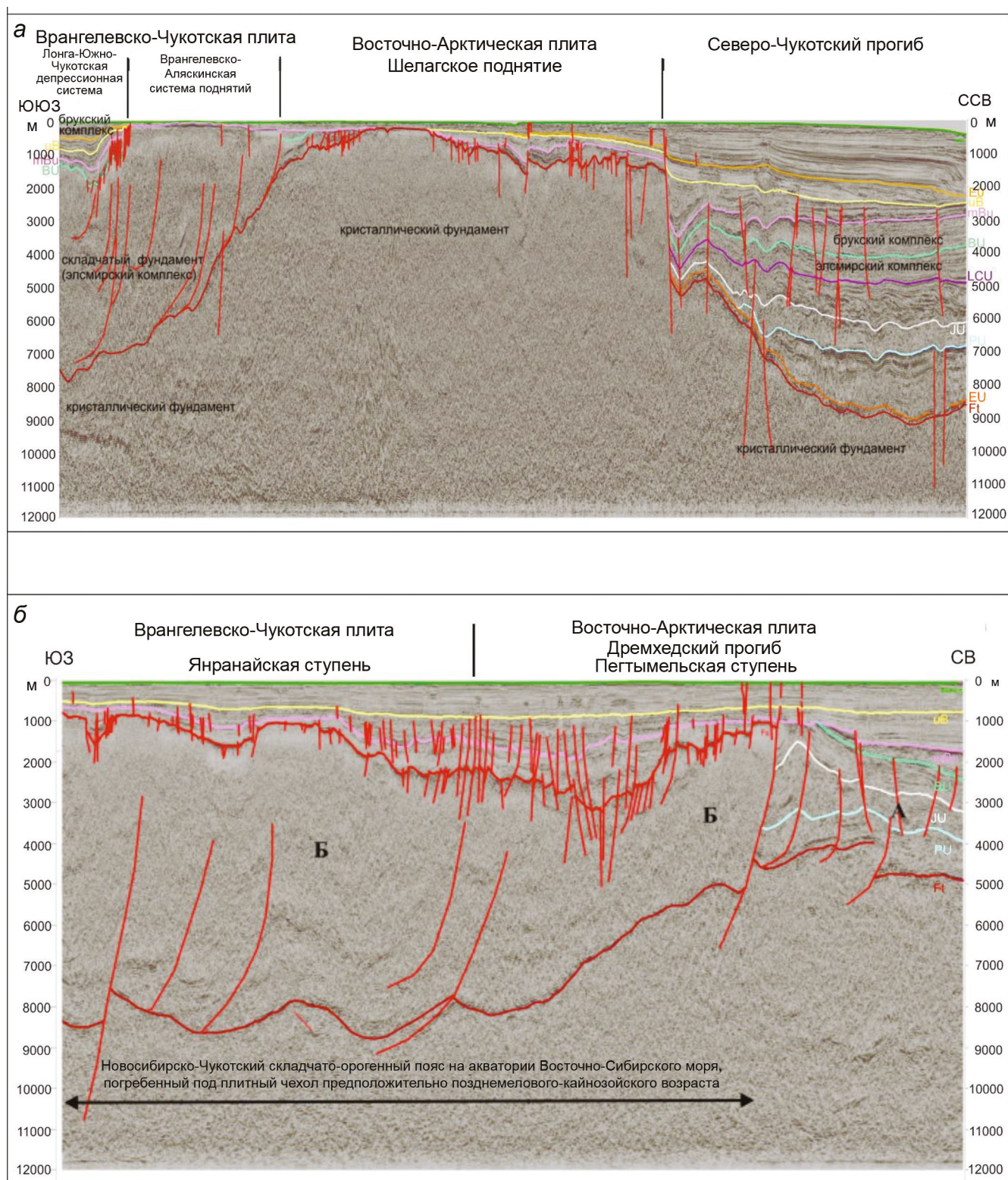


Рис. 4. Временной разрез по профилю ES10Z22, характеризующий геологическое строение Восточно-Сибирского моря (интерпретация М.И. Леончика) (а); б – временной разрез по профилю ES10Z05А, характеризующий переход элсмирского осадочного комплекса в платформенном залегании на севере (А) в складчатое залегание на юге (Б) (интерпретация М.И. Леончика).

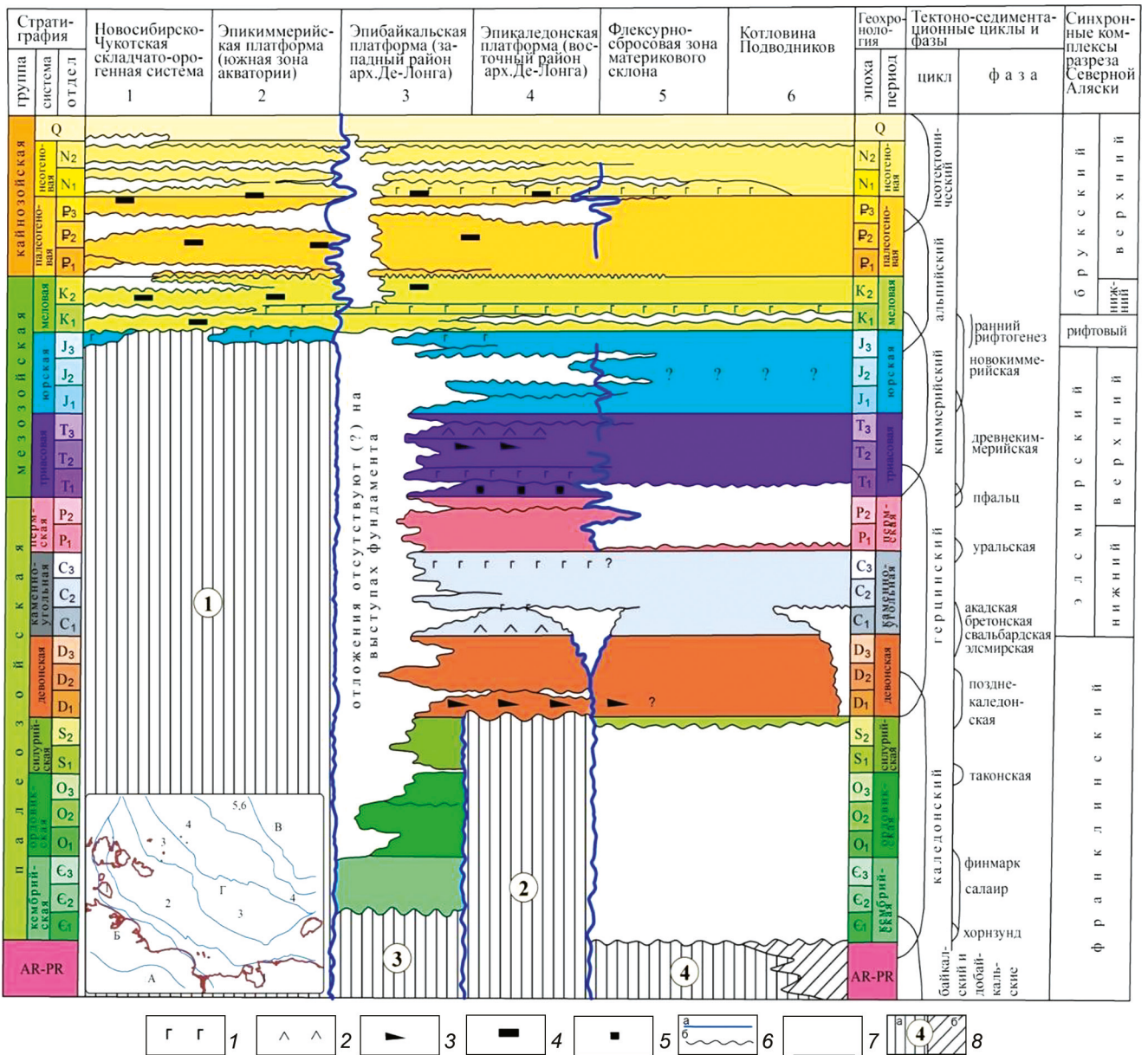


Рис. 5. Принципиальная хроностратиграфическая схема осадочного чехла Восточно-Сибирского и Чукотского морей и прилегающей области Северного Ледовитого океана.

По материалам публикаций и геологических карт масштаба 1:1 000 000 за период 1999–2016 гг. (Б.В. Сенин, 2019 г.).

На врезке зоны предполагаемого распространения хроностратиграфических комплексов платформенного/плитного чехла. Цифры – номера зон в соответствии с обозначенными на хроностратиграфической схеме.

1–5 – Особенности формационного состава платформенного чехла: 1 – магматические комплексы; 2 – эвапориты, гипс; 3 – породы, обогащённые органическим веществом, битуминозные породы, потенциальные нефтегазоматеринские породы; 4 – угольные пласты и линзы в разрезе; 5 – углистые включения в разрезах; 6 – границы: а – комплексов платформенного чехла и фундамента, относимых к разным структурно-тектоническим системам, б – зон размыва; 7 – отсутствие отложений; 8 – фундамент: а – преимущественно континентальный, б – предположительно субокеанический (рифтовый?). Цифры в кружках – комплексы фундамента: 1 – киммерийские, включающие складчатые и магматические породы палеозоя и нижнего-среднего мезозоя, переработанные докембрийские массивы (?), 2 – каледонские, включающие складчатые, магматические и метаморфические породы нижнего-среднего палеозоя, переработанные докембрийские массивы (?), 3 – байкальские, включающие складчатые, магматические и метаморфические породы докембрия и низов кембрия (?), 4 – байкальские и добайкальские: складчато-метаморфические и магматические породы докембрия, в том числе переработанные фанерозойским рифтогенезом.

Буквы на врезке: А – Восточно-Якутская подвижная платформа; Б – Лаптевско-Нижнеколымская подвижная платформа; В – Централь-Арктическая область реликтовых платформенных структур.

но-Арктических поднятий и северных зон Восточно-Арктического шельфа (докембрий–начало палеозоя) к его береговой зоне (поздний палеозой–мезозой) и, соответственно, о принципиальной возможности расширения стратиграфического интервала осадочного чехла в противоположном направлении (с юга на север) – от позднего мела–кайнозоя на юге до палеозоя–кайнозоя – на севере. Это заключение не противоречит ни представлениям об Арктическом материке – Гиперборее – Арктиде М.И. Кузьмина и Л.П. Зоненшайна с коллегами [10], ни современным данным региональных сейсмических и геологических съемок.

Что касается более молодых комплексов разреза, перекрывающих отложения докембрия и определяемых как промежуточный комплекс, то их участие в составе фундамента или осадочного чехла зависит, как отмечено выше, от их пространственного положения относительно зон активного тектогенеза.

В общем случае Д.А. Вольнов и его коллеги [5], основываясь на материалах полевых исследований, разделяют промежуточный комплекс Восточно-Сибирского моря на три структурных яруса, разделенных стратиграфическими перерывами и несогласиями: верхнепротерозойский-среднедевонский; среднедевонско-нижнекаменноугольный; среднекаменноугольный-валанжинский.

Мы полагаем, что первый из них примерно соответствует франклинскому комплексу Арктической Аляски и является отражением каледонского цикла развития региона, который завершается позднекаледонской или раннегерцинской (D_1 - D_2) фазой складчатости и поднятия и, возможно, дислокациями сформированного в ордовике–начале девона чехла и подстилающего фундамента.

Второй ярус примерно соответствует нижней части нижнеэлсмирского подкомплекса и одной из ранних фаз герцинского цикла развития региона, который завершается активизацией движений в раннем-среднем карбоне.

Третий ярус, учитывая наличие несогласий, различий в мощностях и характеристике деформаций, тектонических контактов между отложениями среднего карбона–перми и нерасчлененного пермотриаса, может быть, по-видимому, разделен на два подъяруса. Нижний из них, объединяющий отложения карбона и нижней части верхней перми, примерно соответствует верхней части элсмирского комплекса Аляски и отображает позднегерцинский этап развития региона. Верхний подъярус, включающий отложения верхней перми–триаса, целиком соответствует верхнеэлсмирскому подкомплексу и древнекиммерийской фазе развития региона, которая завершается складчатостью на рубеже триаса и юры [19].

Как выше уже указывалось, границы между структурно-тектоническими этажами выделяются по наличию несогласий и по различию сейсмической волновой картины внутри этажей, которые во многом определяются условиями осадконакопления (и, соответственно, различиями литолого-формационного состава), последующими постседиментационными преобразованиями, в том числе активизацией тектонической деятельности на различных этапах тектогенеза и пр. В связи с этим ниже кратко рассмотрены особенности волнового сейсмического поля на уровне сейсмостратиграфических комплексов (ССК) по главным структурно-тектоническим элементам региона.

Северо-Чукотский прогиб

В сейсмическом волновом поле осадочный чехол прогиба в зависимости от условий осадконакопления представлен осями синфазности от плоскопараллельных до косослоистых (клиноформных). В нижней части разреза выделяется двухфазное отражение EU, предположительно связанное с маломощным франклинским комплексом, залегающим на древнем кристаллическом фундаменте (Fk).

Отложения *нижнеэлсмирского* (каменноугольно-нижнепермского) комплекса в подошве контролируются отражающим горизонтом (ОГ EU), в кровле – ОГ RU. Комплекс имеет локальное распространение, выклинивается на южном борту Северо-Чукотского прогиба по типу подошвенного налегания. По волновой картине может быть разделен на два подкомплекса, заметно отличающихся по динамике и форме отражений, что может быть связано с изменением литологического состава этих подкомплексов: в подошвенной части ему соответствуют плоскопараллельные отражения разной протяженности, динамически слабо выраженные, в кровельной части – протяженные, плоскопараллельные многофазные отражения, визуальны высокодинамичные, низкочастотные по отношению к перекрывающей толще, осложненные локальными участками с отсутствием регулярной записи (рис. 6, а).

По данным Л.А. Дараган-Сушевой [6], данному интервалу соответствуют высокие интервальные скорости 5200–5900 м/с. Условно нижний подкомплекс нами отнесен к формации Эндикот, представленной переслаиванием терригенных отложений, часто дельтового типа. Верхний, по всей видимости, сложен преимущественно карбонатными отложениями формации Лисбурн, возможно – с наличием рифогенных образований, которым и соответствует локальное изменение динамики и формы отражений внутри плоскопараллельной многофазной записи.

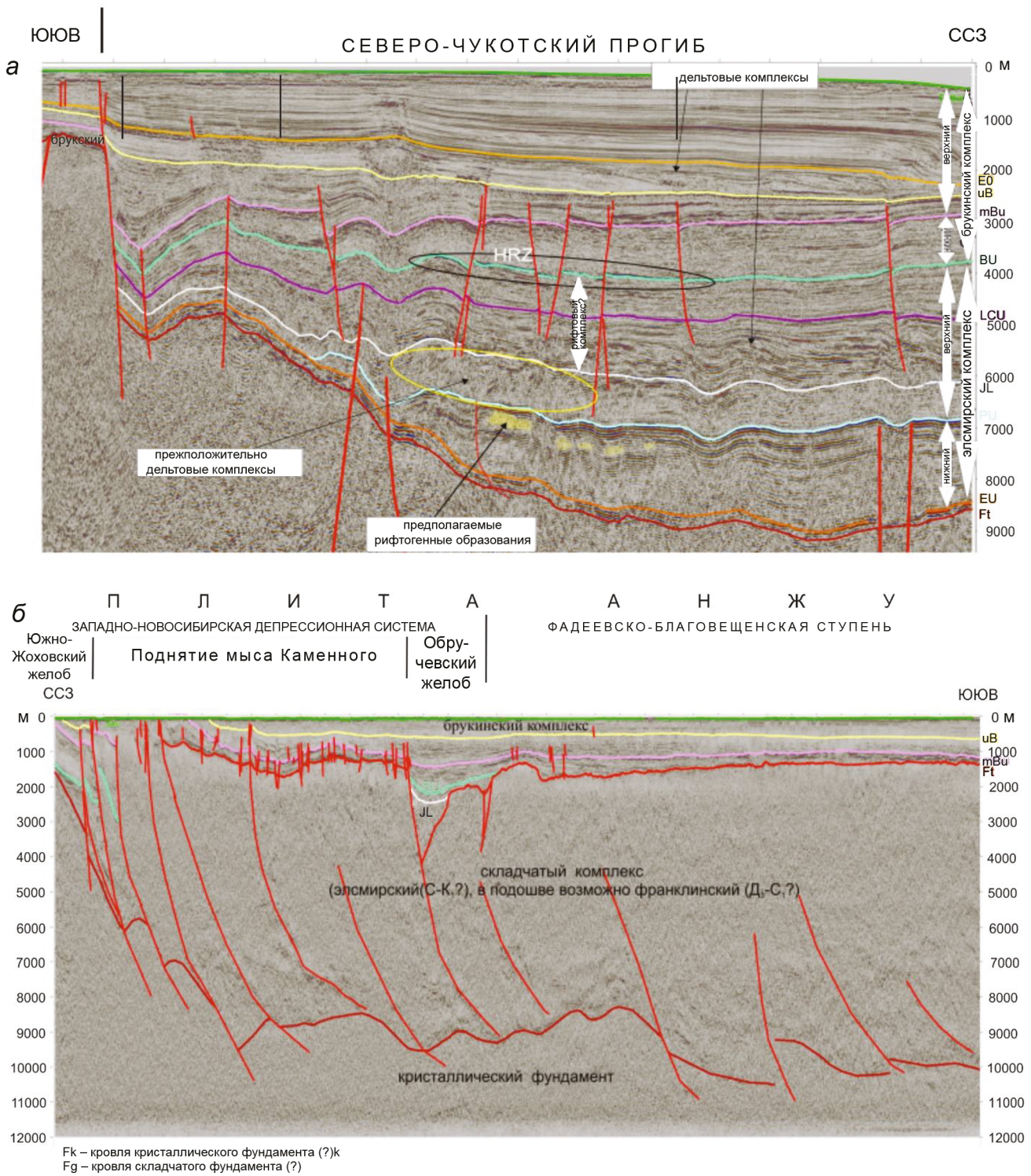


Рис. 6. Стратификация сейсмокомплексов осадочного чехла на примере Северо-Чукотского прогиба по профилю ES10Z22 (интерпретация М.И. Леончика) (а); стратификация сейсмокомплексов осадочного чехла на западе Восточно-Сибирского моря (Западно-Новосибирская депрессионная система) по профилю ES10Z08 (интерпретация М.И. Леончика) (б).

Верхнеэлсмирский комплекс (верхнепермско-нижнемеловой) по характеру волновой картины разделен на три подкомплекса.

Судя по непрерывным протяженным осям синфазности, образованиям, характеру залегания выявленных сейсмокомплексов, разрез осадочного чехла Северо-Чукотского прогиба формировался в условиях открытого шельфа и склона и представлен преимущественно терригенными образованиями. Разломная тектоника присутствует в палеозойско-мезозойской части разреза, затухая в палеоценовых отложениях.

По итогам анализа волнового поля и стратификации ССК следует отметить две особенности.

Первая состоит в том, что рассмотренный выше профиль ESS10Z22 является эталонным для стратификации сейсмических комплексов, так как в Северо-Чукотском прогибе, который он пересекает, разрез осадочного чехла представлен наиболее полно. На большинстве проинтерпретированных профилей элсмирский комплекс практически отсутствует по причине его выклинивания в бортовых зонах региональных прогибов, не накопления на древних поднятиях и выступах фундамента или условно отсутствует в южных зонах рассматриваемого региона в результате перехода элсмирских отложений в состав складчатого комплекса, который в настоящее время рассматривается как элемент основания (рис. 4, а и б).

Вторая особенность заключается в том, что в настоящее время стратификация отражений и ССК носит условный характер и по мере поступления нового материала будет, по всей видимости, меняться. В представленной нами стратификации, исходя из анализа волнового поля, по нашему мнению, наименее обоснованным является выделение ОГ BU и mBU [24, 26].

В западной части Восточно-Сибирского моря, исходя из принятой нами структурно-тектонической модели и стратификации, принятой по профилю ES10Z22, в волновом поле выделяются три литологических этажа – кристаллический фундамент, складчатый фундамент, в который предположительно вошли отложения элсмирского и, возможно, нижней части франклинского комплексов, и осадочный чехол, в составе брукинского комплекса апт-альбского–позднемелового–кайнозойского возраста (рис. 6, б). Соответственно в осадочном чехле выделено три основные поверхности (ОГ) BU, mBU и UB (рис. 7, а). ОГ BU выделен в подошве осадочного чехла условно, поскольку в волновом поле отсутствуют какие-либо характеризующие его особенности. Верхние две поверхности уверенно разделяют волновое поле на три сейсмокомплекса.

Нижний ССК, предположительно апт-альбский-верхнемеловой, визуально отличается от вышележащего палеоцен-эоценового более низкочастотной сейсмической записью и появлением в кровле комплекса высокодинамичных протяженных осей синфазности, которые имеют спорадическое распространение по профилю и, по всей видимости, связаны с локальными литологическими замещениями, возможно с появлением в разрезе вулканогенных толщ. По данным геологических съемок на побережье Восточно-Сибирского моря часто в кровле мела выделяется андезидацитовая толща, залегающая без видимого несогласия с вмещающей её толщей. Её мощность местами достигает 700 метров.

Средний ССК между ОГ mBU (в кровле) и UB (в подошве) включает отложения раннего-среднего палеогена (палеоцен–эоцен). Если в подошве ССК не наблюдается явного несогласия, то в кровле, наоборот, выделяется выраженное структурное несогласие – более молодые перекрывающие слои, для которых характерны субгоризонтальные оси синфазности, залегают на размытой поверхности смятых в складки более древних меловых отложений, что хорошо проявляется в волновом поле временных разрезов. Данный комплекс, как и подстилающий его, смяты в складки (складки сжатия) и сильно нарушены разломной тектоникой в результате позднемеловой тектонической активизации.

Верхний ССК в волновом поле представлен на уровне подошвы преимущественно субпараллельными, протяженными, в основном слабодинамичными отражениями. В средней части разреза появляются локальные участки с отсутствием упорядоченной сейсмической записи (хаотическая, косослоистая запись), приуроченные к локальным впадинам или эрозионным врезам (рис. 7, а). Наличие таких линзообразных неоднородностей в верхней части разреза на шельфе Восточно-Сибирского моря необходимо учитывать при дальнейшей подготовке перспективных объектов к бурению.

Строение осадочного чехла на востоке российской части Чукотского моря показано на примере строения восточной части Северо-Чукотского прогиба и Центрально-Чукотской террасы, входящей в состав Чукотско-Бофортской плиты (рис. 7, б). На востоке Северо-Чукотского прогиба выделены те же ССК, что и в западной части прогиба (рис. 4, а и б, а). При этом наблюдаются некоторые отличия в волновой картине, связанные, по всей видимости, с локальными изменениями условий седиментации.

В частности, так называемый рифтовый комплекс, предположительно заключенный между ОГ JU

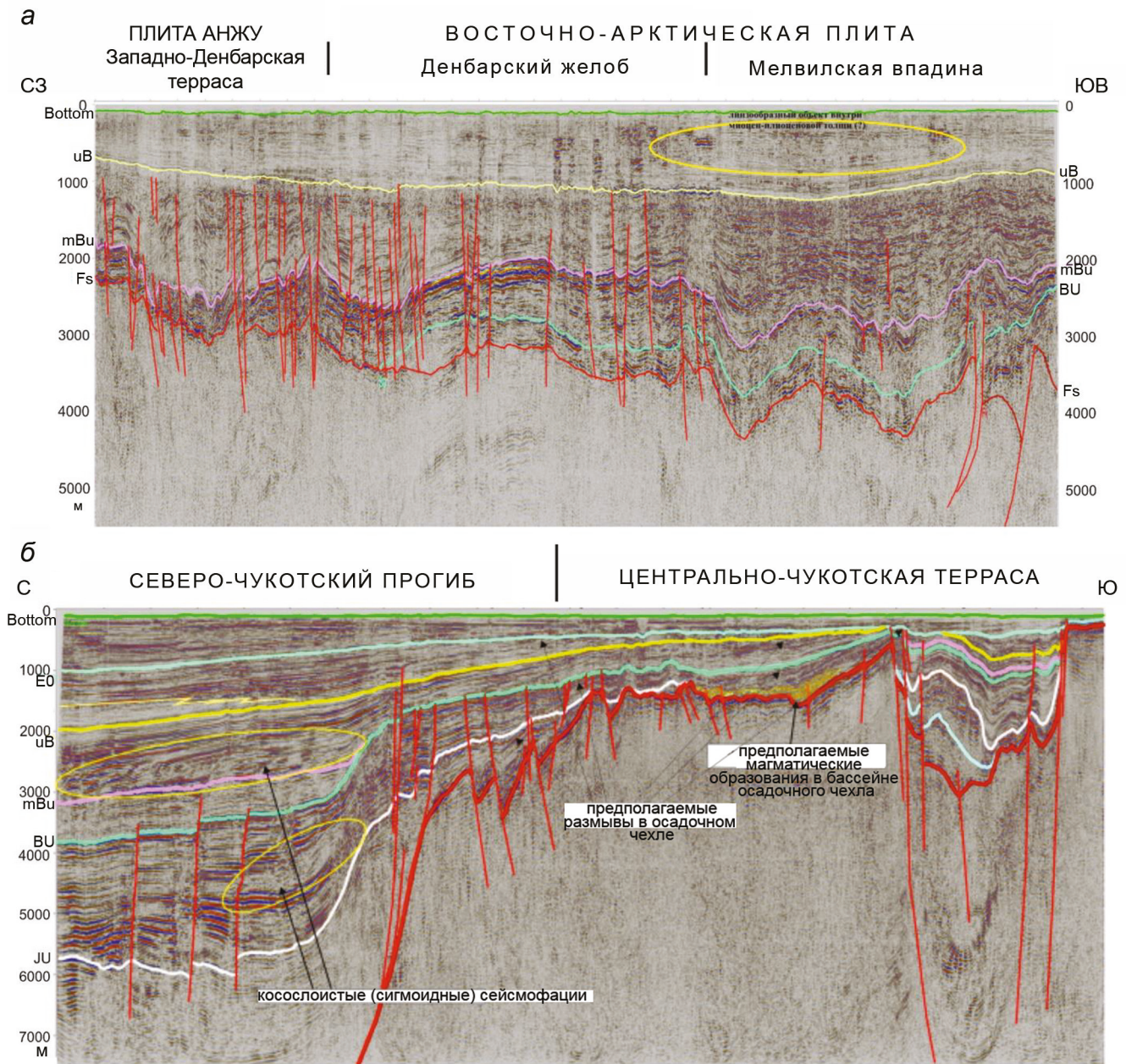


Рис. 7. Стратификация сеймокомплексов осадочного чехла на западе Восточно-Сибирского моря (Западно-Новосибирская депрессионная система – Западно-Денбарская терраса, Денбарский жёлоб и Мелвилская впадина в составе Медвежинско-Шелагской блоковой террасы) по профилю 9102 (интерпретация Леончика М.И.) (а); временной разрез по профилю 9025 в восточной части Чукотского моря (интерпретация М.И. Леончика) (б).

и ВU, представлен на востоке прогиба преимущественно субпараллельными, высокодинамичными отражениями. Косослоистые сейсмофации соответствуют дельтовому комплексу, который широко развит в западной части прогиба, а в восточной части представлен локально – непосредственно под склоном.

На западе в нижней части верхненебрукинского комплекса (между ОГ mBU и UB), выделяются сигмо-

идные сейсмофации, скорее всего имеющие палеоценовый возраст. Они перекрыты эоценовыми отложениями, представленными на временном разрезе протяженными параллельными осями синфазности визуально высокой динамики. Такая зональность в этом ССК отражает трансгрессивный цикл осадконакопления вверх по разрезу – смену прибрежно-морских в подошве на морские отложения к кровле (под ОГ UB)

[23]. Дельтовый комплекс большой мощности, хорошо видимый в олигоцен-четвертичных отложениях (между ОГ UB и дном) на западе Северо-Чукотского прогиба (рис. 7), совсем не представлен на востоке, по крайней мере по рассматриваемому сейсмическому профилю. Возможно, это связано с короткой длиной этого профиля – он не выходит в зону развития этого комплекса. На миграцию к северу области разгрузки отложений косвенно указывает латеральное и вертикальное литологическое замещение – смена плоскопараллельной высокодинамичной записи на слабовыраженную в динамике. Возможно, данный профиль пересёк верхнюю (шельфовую) часть клиноформ, а склоновые фации будут развиты севернее окончания профиля.

В пределах Центрально-Чукотской террасы происходит резкое уменьшение мощности осадочного чехла. Элсмирские отложения и большая часть брукинских выклиниваются со стороны Северо-Чукотского прогиба на склоне террасы по типу подошвенного налегания предположительно на древний кристаллический фундамент. Неполные эродированные мощности предполагаемых частей элсмирского и бруковского комплексов появляются в пределах грабенообразных структур, развитых в пределах Врангелевско-Чукотской плиты.

Осадочные комплексы в пределах плиты на сейсмических разрезах представлены разнообразными сейсмофациями от параллельных до косослоистых, имеющих различную динамику; встречаются локальные области развития хаотических отражений в подошве осадочного чехла с очень высокой динамикой. Их появление можно связать с развитием магматических образований, широко представленных на побережье Чукотки.

Следует отметить, что в Восточно-Сибирском и Чукотском морях по сейсмическим разрезам все выделяемые опорные несогласия, связанные с эрозиями, выделяются только в областях, где продолжительное время существовали и существуют крупные выступы и массивы древнего фундамента или новообразованные поднятия, обусловленные складчатыми дислокациями в юрско-меловое время [28].

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Структурная модель охватывает акватории моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей и включает пять основных поверхностей: подошву осадочного чехла, преаптское несогласие, подошву кайнозоя, несогласие в нижней части олигоцена и подошву четвертичных отложений, а также совре-

менный рельеф дна [25, 29]. Сформированная модель включает, таким образом, четыре основных осадочных комплекса: доаптский, апт-верхнемеловой, палеогеновый, неоген-четвертичный (рис. 8).

В качестве палеогеографической основы для бассейнового анализа использована модель, разработанная специалистами Equinog, которая охватывает временной период с триаса по палеоген включительно и учитывает плито-тектонические реконструкции. Плитная модель, в свою очередь, базируется на представлении о последовательном трехэтапном раскрытии Арктики: Канадский бассейн, котловина Подводников и Евразийский бассейн.

В представленных очерчениях потенциально нефтегазоносные провинции российской Восточной Арктики объединяются с нефтегазоносными провинциями арктической окраины Северной Америки (северного склона Аляски, Бофорта-Маккензи, Канадского арктического архипелага) в гипотетический Американо-Арктический пояс нефтегазонакопления. Восточная, американская часть этого пояса содержит в своей шельфовой зоне более 80 месторождений углеводородов с суммарными извлекаемыми запасами нефти более 2.6 млрд т и газа около 1 трлн м³, в том числе – знаменитое нефтегазовое месторождение Прадхо-Бей, начальные извлекаемые запасы нефти которого превышают 1.5 млрд т. Российская шельфовая часть пояса изучена весьма слабо, однако её площадь сопоставима с суммарной площадью трёх названных выше североамериканских провинций (Сенин, Леончик, 2016; Афанасенков, Сенин, Леончик, 2016), [1]. Сходство объектов, проверяется по ряду критериев, среди которых: тектонический режим, возрастная диапозон отложений осадочного чехла, палеогеографические условия формирования осадков, тепловая история бассейна и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Площадные сейсмические работы регионально-го этапа начались в море Лаптевых. Эти работы позволили изучить региональную структуру осадочного чехла центральной части его акватории. Ключевым для формирования осадочного чехла Восточной Арктики является существование с конца палеозоя–начала триаса Аляскинско-Чукотского микроконтинента (АСМС) и его последующая трансформация под влиянием тектонических факторов [22].

Большой объём новых данных получен по южной (Новосибирской) впадине Восточно-Сибирского моря, представления о строении которого ранее базировались почти исключительно на результатах интерпретации грави- и магнитометрических данных и

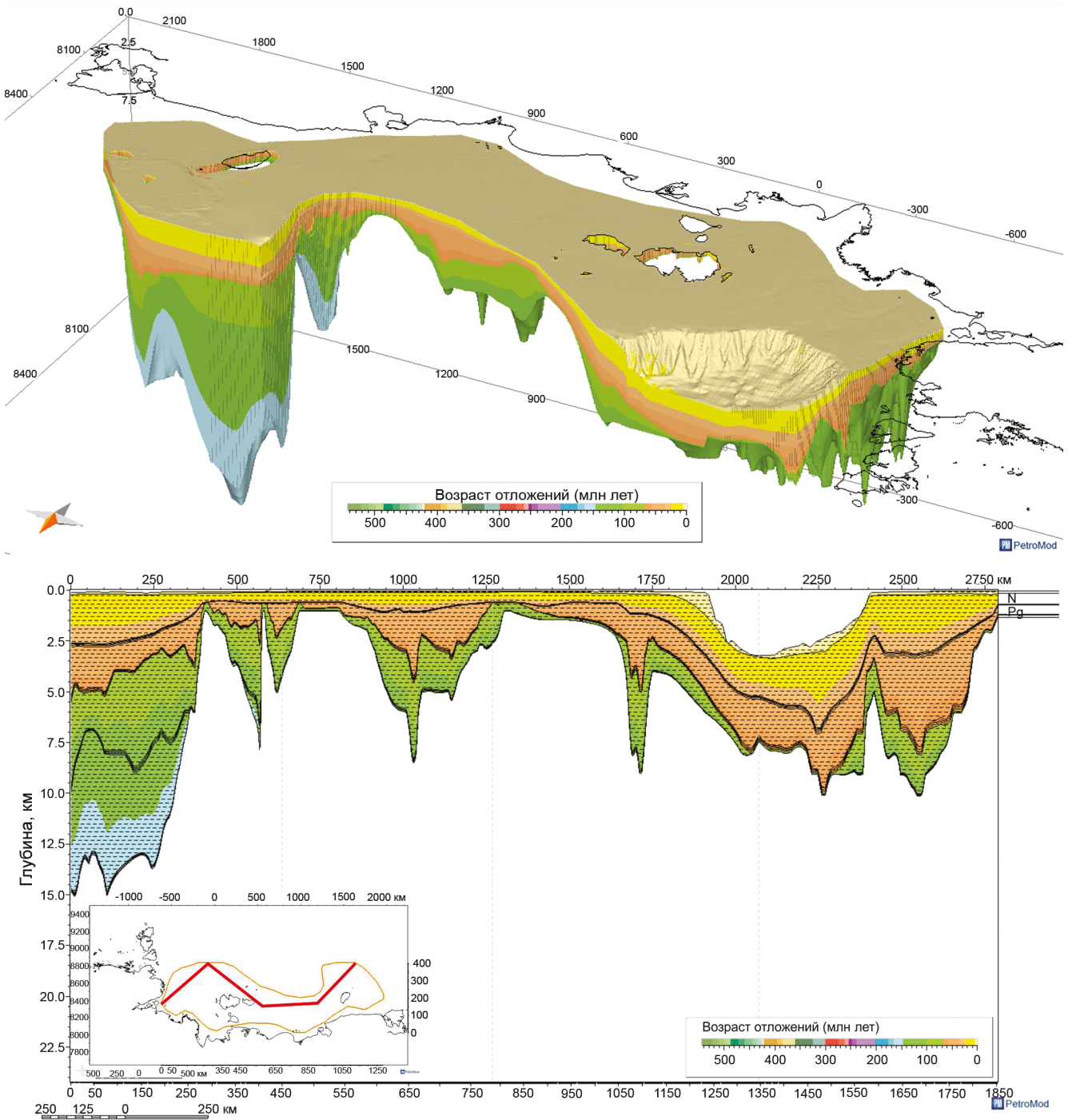


Рис. 8. Пространственно-временная модель Восточной Арктики.

незначительном объеме сейсмических материалов, полученных по единичным рекогносцировочным профилям. Эти данные позволили существенно обновить, расширить и в ряде случаев детализировать представления о строении фундамента и отдельных опорных горизонтов осадочного чехла этой части акватории. Несмотря на эти работы, изученность данно-

го моря всё равно остается весьма низкой, не позволяющей построить однозначные геолого-геофизические (на акватории моря отсутствуют скважины глубокого бурения) модели.

Новые объемы сейсмических работ выполнены в российском секторе Чукотского моря – как в его центральной, так и в северной частях. Полученные

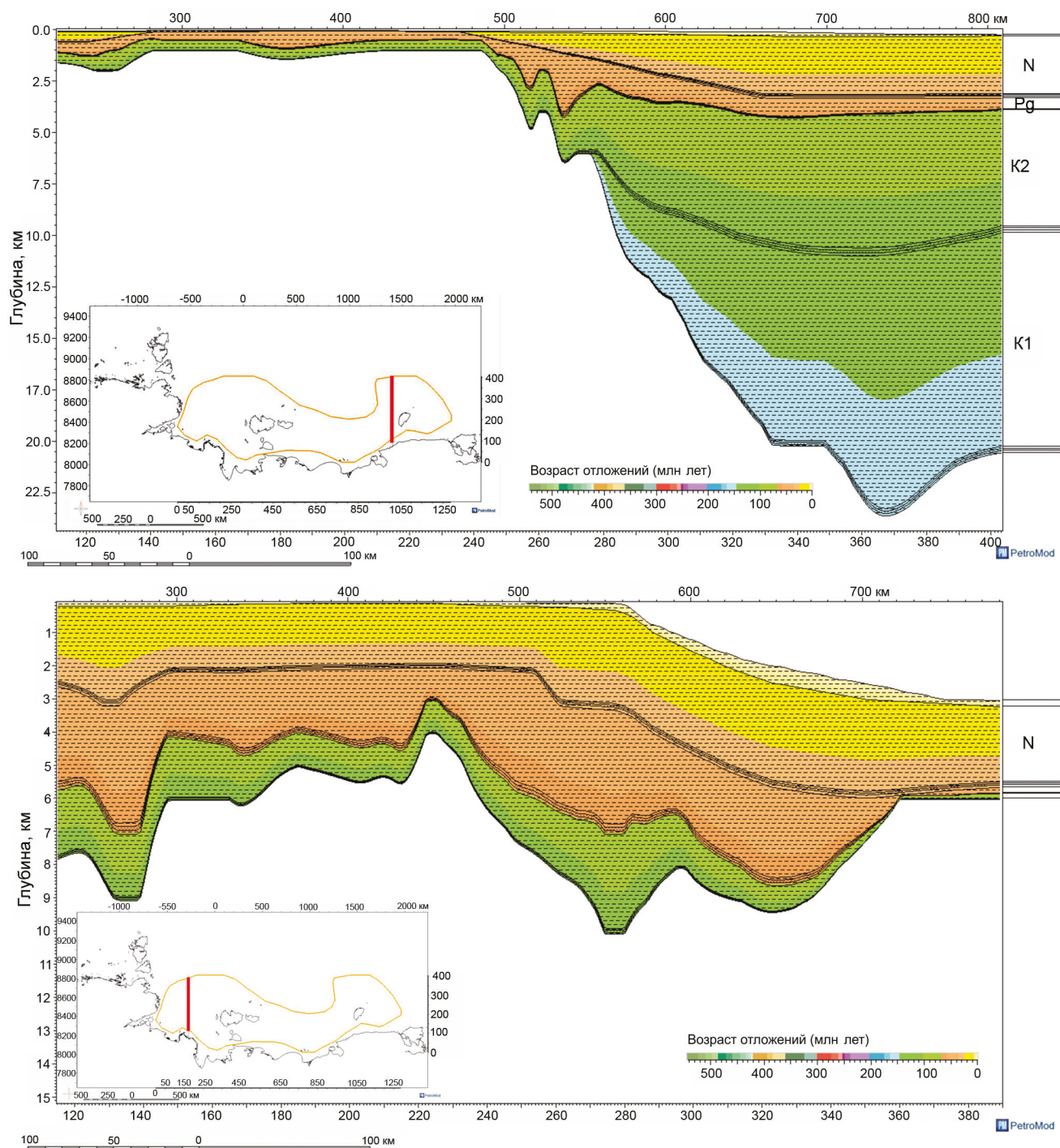


Рис. 8. Пространственно-временная модель Восточной Арктики (Продолжение).

материалы позволили детализировать региональную структуру субмеридиональной разломно-блоковой зоны Чукотского моря и примыкающих к ней структурных элементов Северо-Чукотского прогиба. Для Чукотского моря характерна та же проблема, что и для Восточно-Сибирского – довольно низкая геолого-геофизическая изученность.

Восточно-Арктические акватории представляют значительный интерес с точки зрения поисков УВ, однако оценка их углеводородного потенциала затруднена в силу слабой геофизической изученности и отсутствия скважин. В таких условиях часто применяют метод геологических аналогий. Для Восточной Арктики в настоящее время в качестве аналога использу-

ют бассейны Северного Склона Аляски, однако возможность проведения такой аналогии до сих пор не была обоснована.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афанасенков А.П., Сенин Б.В., Леончик М.И. К уточнению модели нефтегазгеологического районирования арктического шельфа России в свете современных геолого-геофизических данных // Геология нефти и газа. 2016. № 4. С. 79–90.
- Афанасенков А.П., Бордюг А.В., Никишин А.М., Танинская Н.В., Шиманский В.В., Бордунов С.И. Уточнение палеогеографии Севера Сибирской платформы с учётом новых данных // Геология нефти и газа. 2018. № 2. С. 5–23.
- Васильева Е.А. Геологическое строение зоны сочленения Лаптевоморского шельфа и Сибирской плиты // Разведка и охрана недр. 2016. № 2. С. 12–17.
- Виноградов В.А., Горячев Ю.В., Гусев Е.А. Промежуточный структурный этаж на шельфе Восточной Арктики – миф или реальность. Геолого-геофизические характеристики литосферы арктического региона // Труды ВНИИОкеангеологии. 2012. Т. 223. Вып. 8. СПб.: ВНИИОкеангеология. С. 150–156.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Лист S-53-55. Новосибирские острова. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. 200 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1. Дараган-Сущева Л.А., Петров О.В., Дараган-Сущев Ю.И., Рукавишников Д.Д. Новый взгляд на геологическое строение осадочного чехла моря Лаптева // Региональная геология и металлогения. , 2010. № 41. С. 5–16.
- Драчев С.С. Тектоника рифтовой системы моря Лаптевых // Геотектоника. 2000. № 6. С. 43–58.
- Драчев С.С. О тектонике фундамента шельфа моря Лаптевых // Геотектоника. 2002. № 6. С. 60–76.
- Захаров В.А., Рогов М.А. Стратиграфические и палеогеографические предпосылки поисков нефти и газа в верхнеюрско-нижнемеловых осадочных толщах морского генезиса обрамления моря Лаптевых // Арктика: экология и экономика. 2014. № 4 (16). С. 38–47.
- Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн. 2. М.: Недра, 1990. 334 с.
- Иванов В.Л., Ким Б.И., Косько М.К., Иванова Н.М. Лаптевский седиментационный бассейн // Геология и полезные ископаемые России. Т. 5 Арктические и дальневосточные моря. Кн. 1. Арктические моря. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. С. 274–319.
- Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Осипов А.В. Особенности генерации углеводородов на больших глубинах земной коры // Докл. АН. 2018. Т. 483, № 3. С. 299–303.
- Керимов В.Ю., Леонов М.Г., Осипов А.В., Мустаев Р.Н., Ву Нам Хай Залежи углеводородов в фундаменте шельфа Вьетнама и структурно-тектоническая модель их формирования // Геотектоника. 2019. № 1. С. 42–59.
- Ким Б.И., Евдокимова Н.К. Геология и нефтегазоносность Лаптевоморского замыкания Евразийского бассейна Геология нефти и газа. 2010. № 2. С. 3–10.
- Кириллова-Покровская Т. А. Разработка актуализированной модели моря Лаптевых и сопредельных глубоководных зон для уточнённой оценки его углеводородного потенциала // Разведка и охрана недр. 2017. № 10. С. 30–38.
- Конторович В.А., Конторович А.Э., Губин Н.А., Зотев А.М., Лапковский В.В., Малышев Н.А., Соловьёв М.В., Фрадкин Г.С. Структурно-тектоническая характеристика и модель геологического строения неопротерозойско-фанерозойских отложений Анабаро-Ленской зоны // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 8. С. 1253–1274.
- Пронкин А., Савченко В., Шумский Б. Перспективы нефтегазоносности Хатангского залива. Offshore [Russian], сентябрь 2013. С. 18–22.
- Ситников В.С., Алексеев Н.Н., Аржаков Н.А., Оболкин А.П., Павлова К.А., Севостьянова Р.Ф., Слепцова М.И. О строении и перспективах нефтегазоносности пришельфовых арктических территорий Восточной Якутии // Наука и образование. 2017. № 4. С. 50–59.
- Тектоническое районирование и углеводородный потенциал Охотского моря: к 60-летию основания Института морской геологии и геофизики ДВО РАН. О.В. Веселов, Е.В. Грецкая, А.Я. Ильев и др. / Отв. ред. К.Ф. Сергеев. М.: Наука, 2006. 130 с.
- Цуканов Н.В., Палечек Т.Н., Особенности состава и геодинамические условия формирования магматических комплексов Камчатского перешейка // Геология морей и океанов: Материалы XXI Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии. 2015. С. 356–360.
- Шкарубо С.И., Заварзина Г.А. Стратиграфия и характеристика сейсмических комплексов осадочного чехла шельфа моря Лаптевых // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011. Т. 6, № 2. <http://www.ngtp.ru/rub/2/14> 2011.pdf.
- Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G., et al. A Geologic Time Scale // Cambridge University Press. 2004.
- Houseknecht, D. W. Petroleum systems framework of significant new oil discoveries in a giant Cretaceous (Aptian-Cenomanian) clinothem in Arctic Alaska. 2019. AAPG Bulletin. 103(3). P 619–652.
- Ilhan I., Coakley B., Houseknecht D. W. [2018] Mesozoic evolution of the Chukchi Shelf and North Chukchi Basin, Arctic Ocean // Marine and Petroleum Geology. 2018. 95. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2018.04.014.
- Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Mustaev R.N., Shcherbina Yu.V. Hydrocarbon systems of the Eastern Arctic and prospects for prospecting for oil and gas accumulations SOCAR Proceedings. 2021. N 2. P. 85–92.
- Kumar N., Granath J., Emmet P. A., [2011] Chapter 33: Stratigraphic and tectonic framework of the US Chukchi Shelf: Exploration insights from a new regional deep-seismic reflection survey // Geol. Soc. London Memoirs. V. 35(1). P. 501–508.
- Sherwood K. W., Craig J. D., Lothamer R. T., Johnson P. P., Zerwick S. A. Chukchi Shelf Assessment Province // Undiscovered Oil and Gas Resources, Alaska Federal Offshore (As of Jan. 1995). Dept of the Interior MMS, OCS Monograph MMS 98-0054; 1998. P. 115–196.
- Sherwood K. W. Arctic Alaska Offshore Assessment Provinces // Undiscovered Oil and Gas Resources, Alaska Federal Offshore (As of Jan. 1995). Dept of the Interior MMS, OCS Monograph MMS 98-0054; 1998. P. 94–114.

29. Shenk O., Magoon L.B., Bird K.J., Peters K.E. Petroleum system modeling of northern Alaska / K.E. Peters, D.J. Curry, M. Kacwicz, eds. Basin Modeling: New Horizons in Research and Applications: AAPG Hedberg Series. 2012. V. 4. P. 317–338.

Рекомендована к печати Г.Л. Кирилловой

после доработки 17.11.2023 г.

принята к печати 23.11.2023 г.

B.V. Senin, V.Yu. Kerimov, M.I. Leonchik, R.N. Mustaev, R.A. Mamedov

Structural-geodynamic systems of the Eastern Arctic

The research considered in the article was aimed at studying the structure and evolution of the Eastern Arctic structural-geodynamic systems. The tectonic model of the base of the Eastern Arctic plate section determines their vertical zonality in terms of structure and tectonics based on the interpretation of seismic and other geophysical survey data correlated with varying degrees of reliability with the studied sections in the adjacent or remote areas. Accordingly, the models of vertical structure and formational composition built on this basis are largely hypothetical and tend to change (even fundamentally) as geological and geophysical information accumulates. Geodynamic analysis of formation of the Eastern Arctic structural-geodynamic systems was based on tectonic-geodynamic paleoreconstructions reflecting interactions among blocks of the consolidated crust. The results obtained made it possible to significantly update, expand and, in some cases, refine the understanding of the structure of the basement and individual reference horizons of the sedimentary cover in this part of the water area. It was also concluded that the East Arctic waters are of significant interest in terms of hydrocarbon exploration, however, the assessment of their hydrocarbon potential is difficult due to poor geophysical knowledge and lack of wells.

***Key words:* basement, Cenozoic deposits, geodynamic analysis, time section, oil and gas potential, Amerasian-Arctic belt, Eastern Arctic.**