

С. Н. КАШУБИН, О. В. ПЕТРОВ, Т. М. ЯВАРОВА, И. Ю. ВИНОКУРОВ,  
Н. А. КРУПНОВА (ВСЕГЕИ), Т. С. САКУЛИНА (Севморгео)

### Волновод в осадочном разрезе Северо-Чукотского прогиба: сейсмические данные и возможные геологические модели

По результатам глубинных сейсмических зондирований (ГСЗ) в Северо-Чукотском прогибе в разрезе осадочного чехла выявлен волновод, который фиксируется разрывами годографов волн в первых вступлениях и появлением «зоны тени». По данным математического моделирования волновых полей ГСЗ и их сопоставления с материалами МОВ-ОГТ предложены возможные скоростные и геологические модели осадочного бассейна Северо-Чукотского прогиба, объясняющие эту особенность разреза. В качестве наиболее вероятной модели формирования столь мощного осадочного бассейна в Северо-Чукотском прогибе предполагается модель «бассейн в бассейне», когда источниками сноса попеременно являлись в мезозойское время – область Центрально-Арктических поднятий, а после ее опускания на батинальные глубины в кайнозое – поднятие Врангеля-Геральда.

Ключевые слова: *Северо-Чукотский прогиб, осадочный бассейн, сейсморазведка ГСЗ и МОВ-ОГТ, волновод.*

S. N. KASHUBIN, O. V. PETROV, T. M. YAVAROVA, I. YU. VINOKUROV,  
N. A. KRUPNOVA (VSEGEI), T. S. SAKOULINA (Sevmorgeo)

### Low-velocity layer in the sedimentary section of the North Chukchi Trough: seismic data and possible geological models

Low-velocity layer recorded from discontinuities in head wave arrival-time curves and the appearance of the “shadow zone” has been identified in the section of the North Chukchi Trough sedimentary cover based on results of deep seismic soundings (DSS). According to data of mathematical modeling of DSS wave fields and their comparison with materials of the CDP seismic reflection, plausible velocity and geological models of the North Chukchi Trough sedimentary basin have been proposed, which explain this peculiar feature of the section. As the most plausible model for the formation of such a thick sedimentary basin in the North Chukchi Trough, the “basin in the basin” model is assumed, when provenance areas were alternately as follows: in the Mesozoic time, the area of the Central Arctic uplifts, and after its subsidence to bathyal depths in the Cenozoic, the Wrangel-Herald Arch.

Keywords: *North Chukchi Trough, sedimentary basin, wide-angle and reflection seismics, low-velocity layer.*

**Введение.** Северо-Чукотский прогиб, входящий в систему мегапрогиба Вилькицкого и расположенный в зоне сочленения поднятия Менделеева с северо-восточной окраиной Евразийского континента, многие годы привлекает исследователей Арктики, пытающихся понять структуру зоны перехода от Евразийского континента к Амеразийскому бассейну. На происхождение прогиба, возраст и состав слагающих его толщ, тектоническую позицию существует ряд точек зрения. Ранее преобладали представления о безграничной коре в депоцентре прогиба. Считалось, что его осевую зону образует глубокий рифт [4], ему отвечают утонение консолидированной коры и воздымание кровли мантии. Борты рифта отмечены высокими градиентами мощности осадочного чехла и сбросами. Углы падения слоев до 11° и сбросы в южном борту уверенно установлены сейсмопрофилеированием. Мощность осадочного чехла в прогибе, по результатам плотностного моделирования, оценивалась в 22 км, по сейсмическим данным, в 15–16 км [7]. В последнее время, несмотря на появление новых сейсморазведочных данных МОВ-ОГТ, взгляды

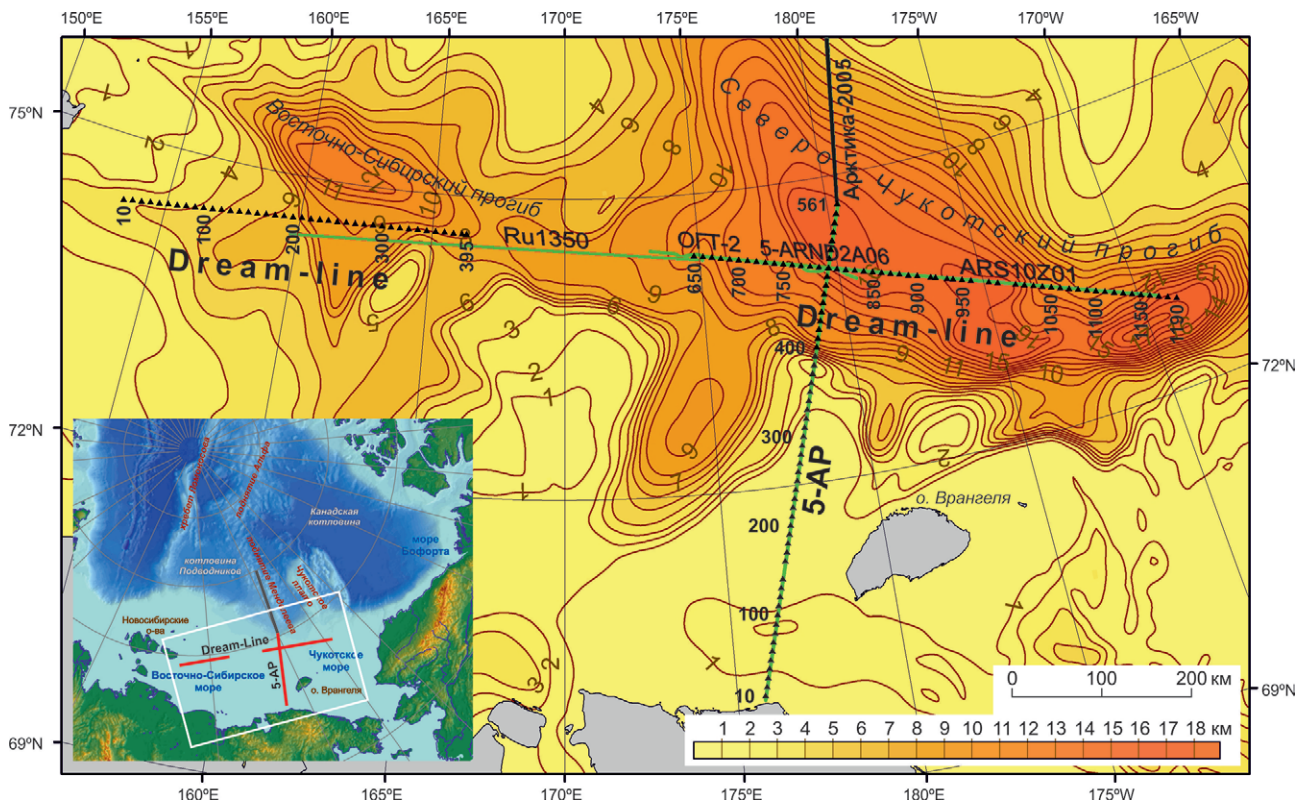
на глубинное строение прогиба не прояснились. Мощность осадочного чехла, по различным представлениям, от 14–16 [8, 12, 14] до 20–24 км [2, 3, 5, 9, 11, 15]. Ряд авторов придерживается промежуточных значений около 18 км [1, 17]. Такова же неоднозначная ситуация и со стратиграфическим наполнением этого бассейна: одни исследователи начинают разрез осадочного чехла с нижнеэлсмирского комплекса, другие с верхнеэлсмирского, третьи с бофортского или брукского. Нет единства среди геологов и в представлениях о строении фундамента. Один из выдающихся ученых в области геотектоники В. Е. Хаин [14] считал, что данный бассейн «имеет апт-кайнозойский возраст. Он наложен как на среднемиловые дислокации континентальной плиты Восточной Арктики, так и ее ненарушенный чехол. Система рифтогенных грабенов, заполненных терригенными и карбонатными породами каменноугольного–неокомского возраста, синхронными элсмирскому и бофортскому комплексам, образует его фундамент». Другими словами, В. Е. Хаин выделяет переходный комплекс или складчато-метаморфический фундамент.

Некоторые западные исследователи считают, что консолидированная кора прогиба не содержит «гранитно-метаморфического слоя» и даже прогнозируют непосредственно под осадочным чехлом «серпентинизированную мантию» [15].

С появлением в этом регионе сейсмических наблюдений по методике глубинного сейсмического зондирования с трехкомпонентной регистрацией волнового поля [12, 13] удалось не только существенно уточнить представления о глубинном строении земной коры Северо-Чукотского прогиба, но и построить более обоснованную скоростную модель его осадочного чехла. Это в свою очередь позволило предложить новую модель формирования Северо-Чукотского осадочного бассейна.

**Глубинные сейсмические исследования в Северо-Чукотском прогибе.** В настоящее время эти исследования выполнены по двум пересекающимся профилям ГСЗ (исполнитель – ОАО «Севморгео»), дополненным наблюдениями МОВ-ОГТ (исполнители – ОАО «Дальморнефтегеофизика», ОАО «Севморнефтегеофизика», компания WGP Exploration Limited). Основные сведения о методике полевых сейсмических наблюдений 2008–2012 гг. приведены в табл. 1 и 2.

Результаты обработки и интерпретации сейсмических данных опубликованы в [12, 13]. В скоростной модели Северо-Чукотского осадочного бассейна, по данным МОВ-ОГТ, не было установлено инверсии скорости несмотря на достаточно



**Рис. 1.** Схема расположения профилей ГСЗ Dream-line и 5-AP на карте мощности осадочного чехла Циркумполярной Арктики [16, 17]

Треугольники – положение донных станций (цифры – каждая десятая станция); зеленым цветом обозначены профили МОВ-ОГТ (табл. 2)

Таблица 1

**Методика полевых работ ГСЗ на профилях 5-AP и Dream-Line**

Тип источника	Пневмоисточники СИН-6, СИН-6М
Объем источника	80, 120 л
Интервал возбуждения	250 м
Регистрирующая аппаратура	Автономные донные сейсмические станции СМ-26
Расстояние между станциями	10 км
Количество каналов (компоненты)	4 (X, Y, Z, H)
Длина годографа	200–260 км
Длина записи	60 с
Шаг дискретизации	8 мс

## Методика полевых работ МОВ-ОГТ

Параметры аппаратуры и системы наблюдений	Профили			
	RU2-1350	ОГТ-2	ARS10Z01	5-AP, 5-ARND2A06
Тип сейсмической косы	SEAL Sentinel Fluid, 24 bit	Sercel SEAL Streamer	Sercel SEAL	SEAL Sentinel Solid, 24 bit
Количество каналов	408	48	636	648
Шаг между центрами групп, м	25	12,5	12,5	12,5
Минимальное удаление, м	125	100	100	130
Максимальное удаление, м	10300	688	8038	8217,5
Активная длина косы, м	10200	600	7950	8100
Тип источника	G-Gun	BOLT APG 8500 SERIES	Tuned Bolt array	Input/Output Sleeve guns
Суммарный объем пушек, куб. дюймов	4820	2050	5000	4010
Рабочее давление, psi	2000	2000	2000	2000
Интервал возбуждения, м	50	50	37,5	50
Кратность ОГТ	102	6	106	81
Длина записи, с	18	15	12	15
Шаг дискретизации, мс	2	2	2	2

плотные системы наблюдений и значительные базы прослеживания отраженных волн. В то же время на сейсмограммах ГСЗ наблюдаются разрывы годографов с образованием «зоны тени», что может свидетельствовать об инверсии скорости в разрезе осадочного чехла. Ниже дается интерпретация волновых полей с учетом этих особенностей.

**Особенности волновых полей ГСЗ, свидетельствующие о наличии волновода в осадочном разрезе Северо-Чукотского прогиба.** На рис. 2 приведены примеры записей Z-компоненты в районе пересечения профилей ГСЗ 5-AP и Dream-line. Как видно из приведенных сейсмограмм, на ПК 800, 850 профиля Dream-line и ПК 460, 490, 540 профиля 5-AP наблюдается разрыв годографов волн в первых вступлениях со смещением годографов по времени до одной секунды с образованием «зоны тени». Поскольку такая волновая картина наблюдается при прямых и встречных наблюдениях на одних и тех же удалениях от источника, то эта особенность не связана с латеральной неоднородностью, а свидетельствует об инверсии скорости (зоне пониженных скоростей или волноводе).

Разрывы годографов волн в первых вступлениях наблюдаются на удалениях 15–30 км от центров зондирования. На западном участке профиля Dream-line такая волновая картина прослеживается, начиная с 280 км до восточного конца расстановки, на восточном участке – с 760–770 км до конца профиля (рис. 1). На профиле 5-AP разрыв годографов в первых вступлениях наблюдается с 450 км до северного окончания профиля. В целом, как можно видеть из рис. 2, волновые поля вдоль профилей Dream-line и 5-AP для верхней части разреза подобны.

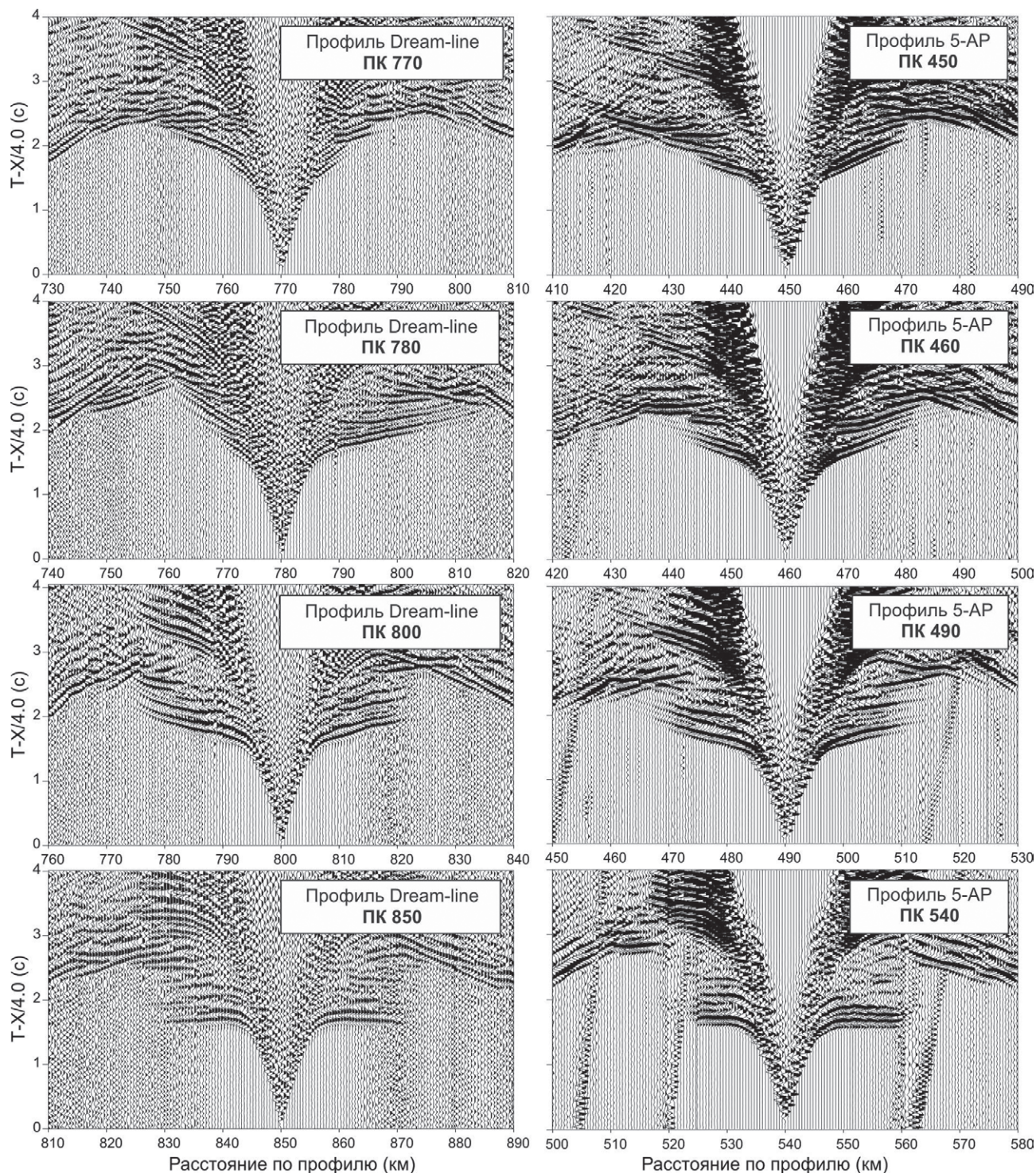
На рис. 3 приведены наблюденная сейсмограмма для одного из зондирований на профиле

Dream-line с наложенными на нее рассчитанными теоретическими годографами волн, синтетическая сейсмограмма, полученная в результате математического конечно-разностного полноволнового моделирования, фрагмент скоростной модели с лучевой схемой. Граница, ниже которой наблюдается понижение скорости, показана штриховкой красного цвета.

Первые два осадочных слоя моделировались по годографам рефрагированных волн в первых вступлениях; скорость в них возрастает с глубиной от 1,7 до 2,2 и от 2,6 до 3,1 км/с. Кровля третьего слоя моделировалась по отраженной и рефрагированной волне ( $P_{sed_3}$ ) в первых вступлениях (лучи и годографы показаны красным цветом). На границе между третьим и четвертым слоями вследствие инверсии скорости не образуются головные/рефрагированные волны, наблюдается только отраженная волна (показана синим цветом). Подошва четвертого слоя со скоростями 3,5–3,7 км/с определялась по отраженной волне ( $P_{sed_{4,5}P}$ ), прослеживаемой в последующих вступлениях (соответствующие лучи и годографы выделены зеленым цветом).

Сопоставление полученной скоростной модели с сейсмическими разрезами, построенными по данным МОВ-ОГТ, приведено на рис. 4. Подошва высокоскоростного слоя (кровля волновода) соответствует четкому отражающему горизонту на времени  $t_0 = 3$  с (глубина залегания границы 4 км), подошва нижележащего слоя (волновода) соответствует отражающему горизонту на времени  $t_0$  около 4,8–5 с (глубина около 7,5 км). Следует отметить, что на сейсмических записях ГСЗ отраженная волна, соответствующая подошве инверсионного слоя, более уверенно наблюдается на профиле Dream-line, тогда как на разрезах МОВ-ОГТ горизонты, соответствующие инверсионному слою, видны более четко на профиле 5-AP.





**Рис. 2. Примеры сейсмических записей Z-компонент на пересечении профилей ГСЗ Dream-line и 5-AP**

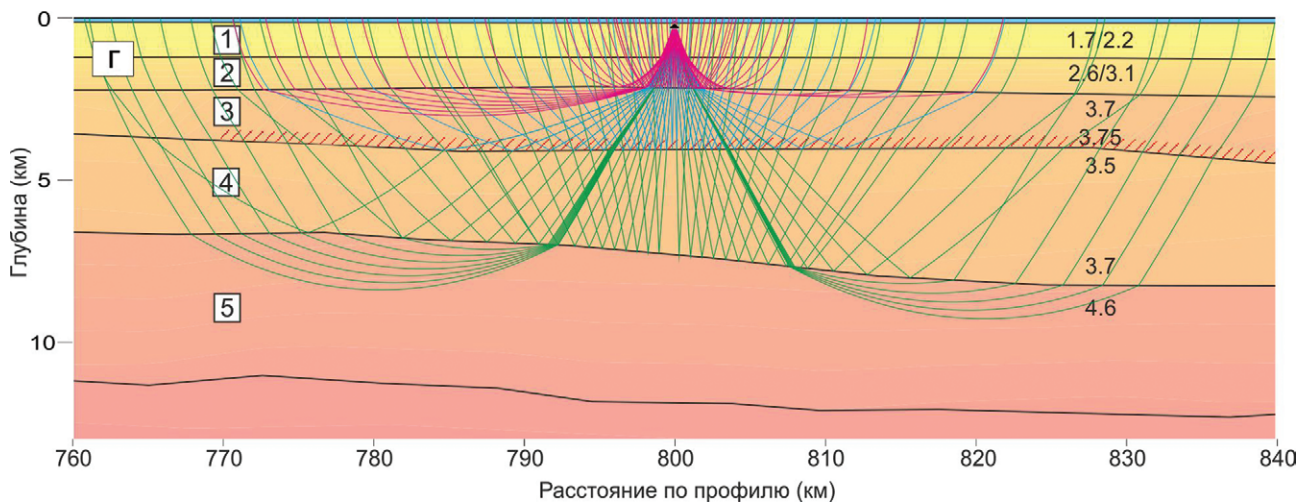
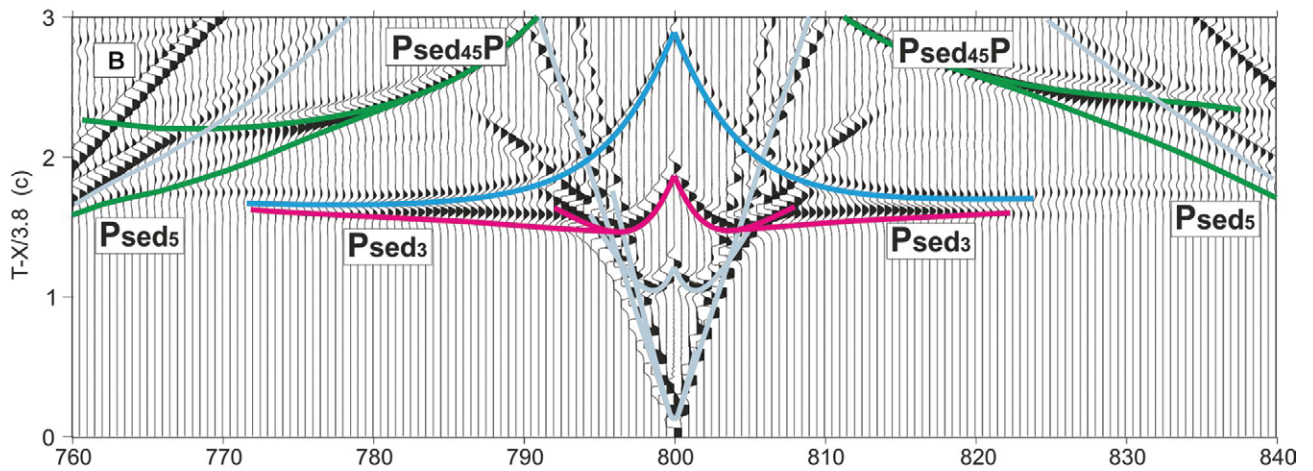
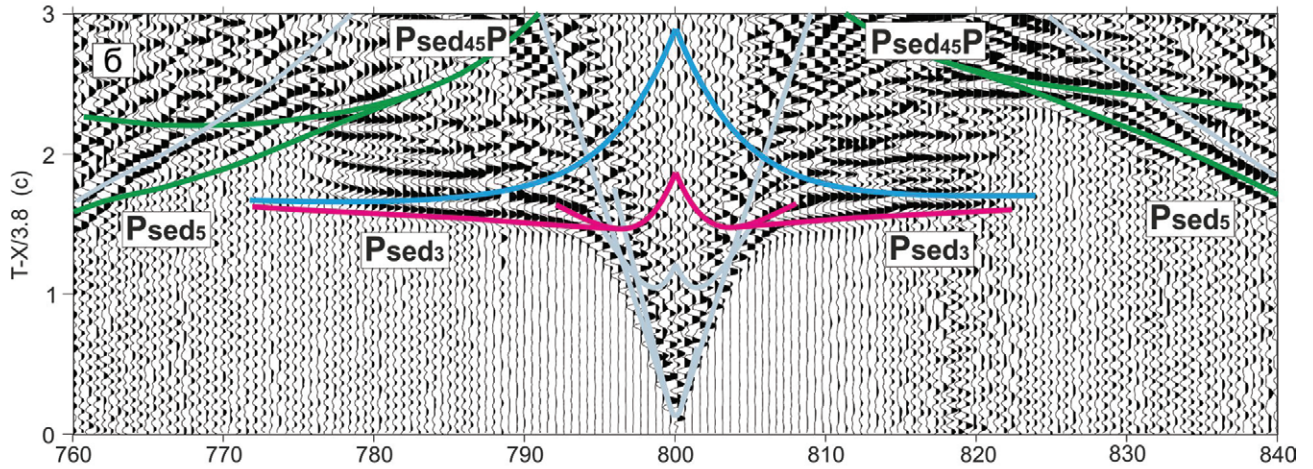
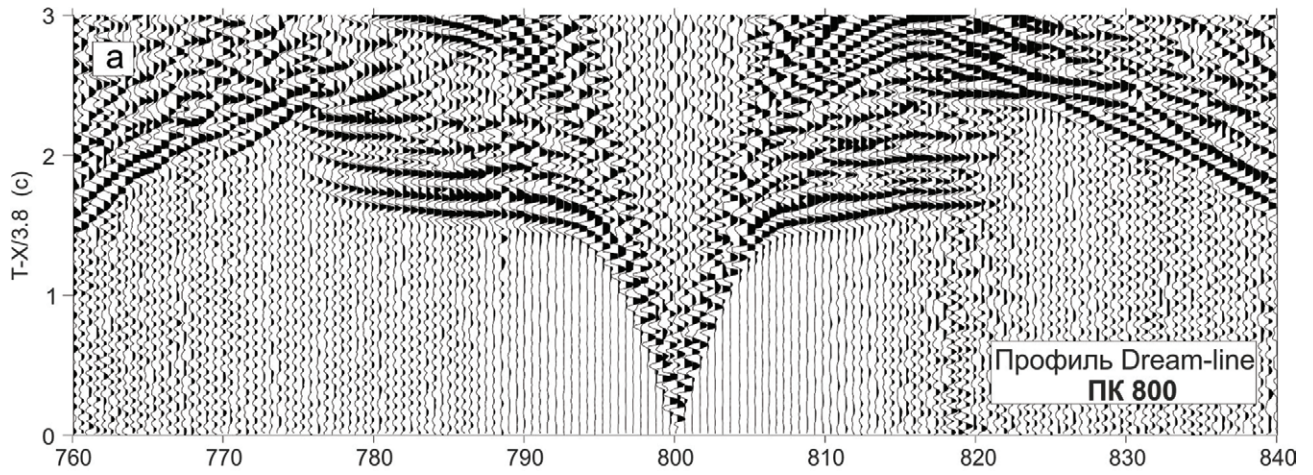
Положение донных станций (ПК) см на рис. 1; на сейсмограммах ПК 800, 850 профиля Dream-line и ПК 460, 490 и 540 профиля 5-AP, начиная с удаления около 20 км, в области первых вступлений наблюдаются разрыв годографов со смещением по времени и «зона тени»

→

**Рис. 3. Пример сейсмограммы (а) с наложенными на нее теоретическими годографами (б), синтетическая сейсмограмма (в) и фрагмент скоростной модели по профилю Dream-line (г)**

Psed<sub>3</sub> – рефрагированные волны в слое 3; Psed<sub>4,5</sub>P – отраженные волны от границы между слоями 4 и 5; Psed<sub>5</sub> – рефрагированные волны в слое 5; цифры на разрезе – скорости продольных волн в км/с; цифры в квадратах – номера слоев модели







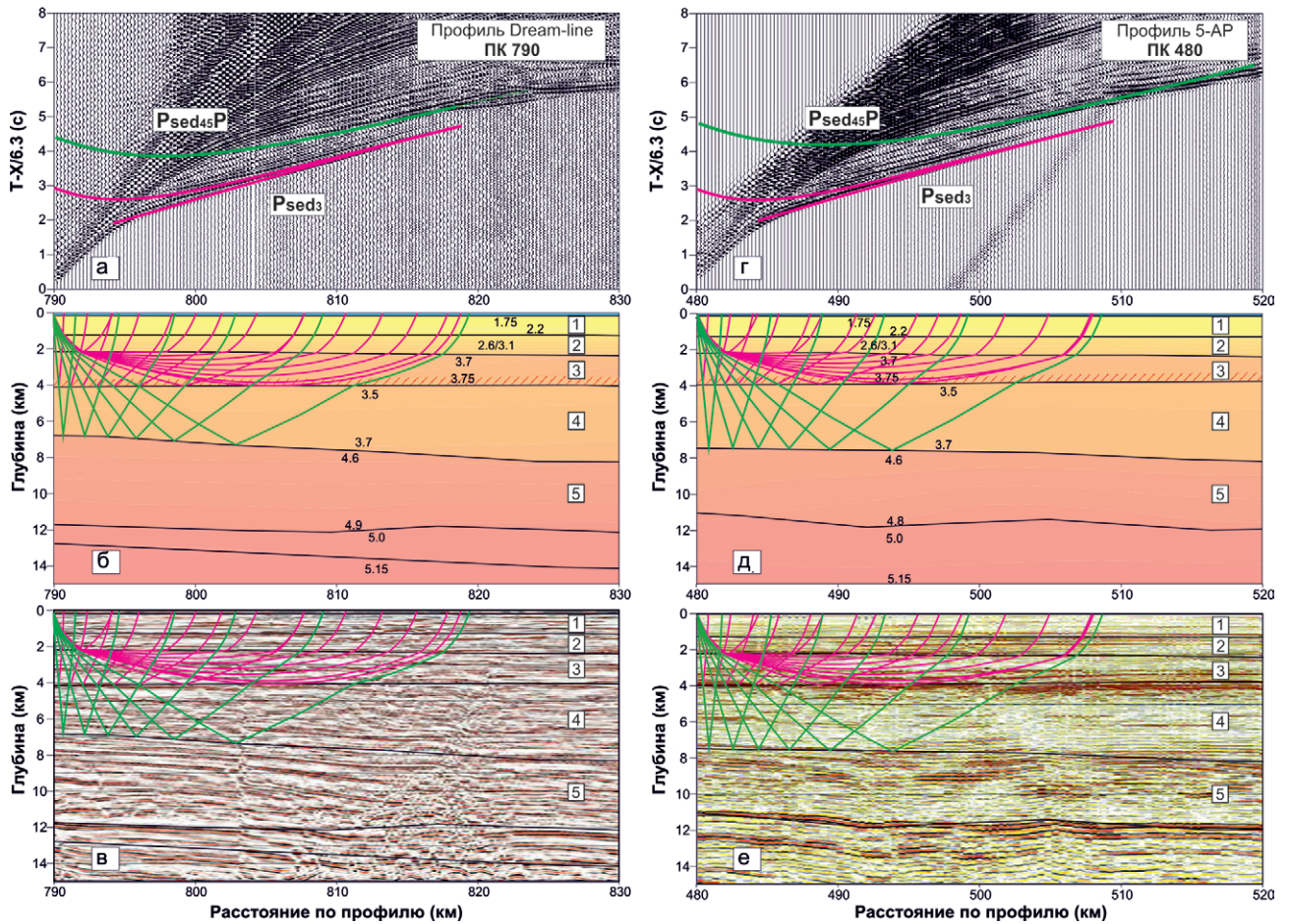


Рис. 4. Примеры лучевого моделирования и фрагменты разрезов МОВ-ОГТ по профилям Dream-line и 5-АР

а, г – сейсмические записи с наложенными на них теоретическими годографами; б, д – скоростные модели с лучевыми схемами (цифры – скорости продольных волн в км/с); в, е – глубинные разрезы МОВ-ОГТ с наложенными на них лучевыми схемами. Красной штриховкой отмечена кровля волновода. Обозначения волн см. на рис. 3

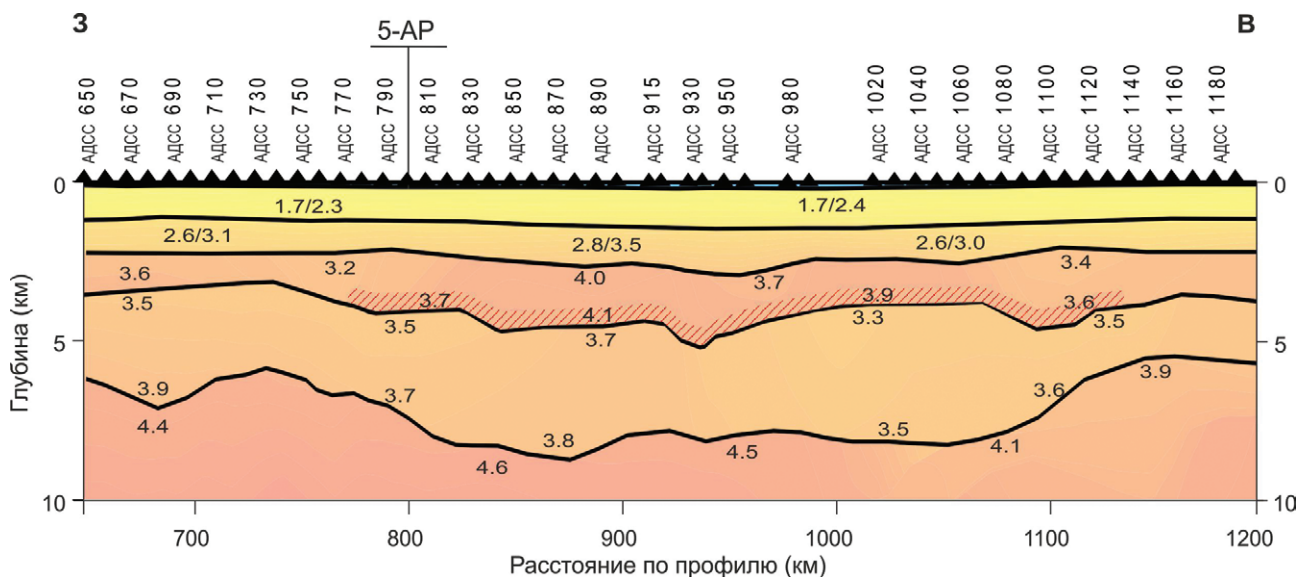


Рис. 5. Фрагмент скоростной модели осадочного чехла Северо-Чукотского бассейна по профилю ГСЗ Dream-line

Треугольниками показано положение донных станций (АДСС); 5-АР – место пересечения с профилем ГСЗ 5-АР; цифры на разрезе – скорости продольных волн в км/с; красной штриховкой отмечена кровля волновода



Альтернативные скоростные и геологические модели Северо-Чукотского осадочного бассейна по профилям 5-AP и Dream-line. На рис. 5 приведен фрагмент скоростной модели осадочного чехла Северо-Чукотского прогиба по восточной части профиля Dream-line в месте его пересечения с профилем 5-AP. Инверсия скорости в разрезе осадочного чехла может интерпретироваться по-разному. Возможны две альтернативные скоростные модели. В одном случае ее можно рассматривать как

понижение скорости в соответствующем интервале разреза осадочного чехла, в другом как наличие относительно высокоскоростного пропластка в разрезе с нормальным нарастанием скорости.

Для сравнения волновых полей для этих моделей выполнен расчет синтетических сейсмограмм с использованием программ полноволнового математического моделирования [6] для разрезов с нормальным нарастанием скорости с глубиной (рис. 6, а), с низкоскоростным слоем (рис. 6, б),

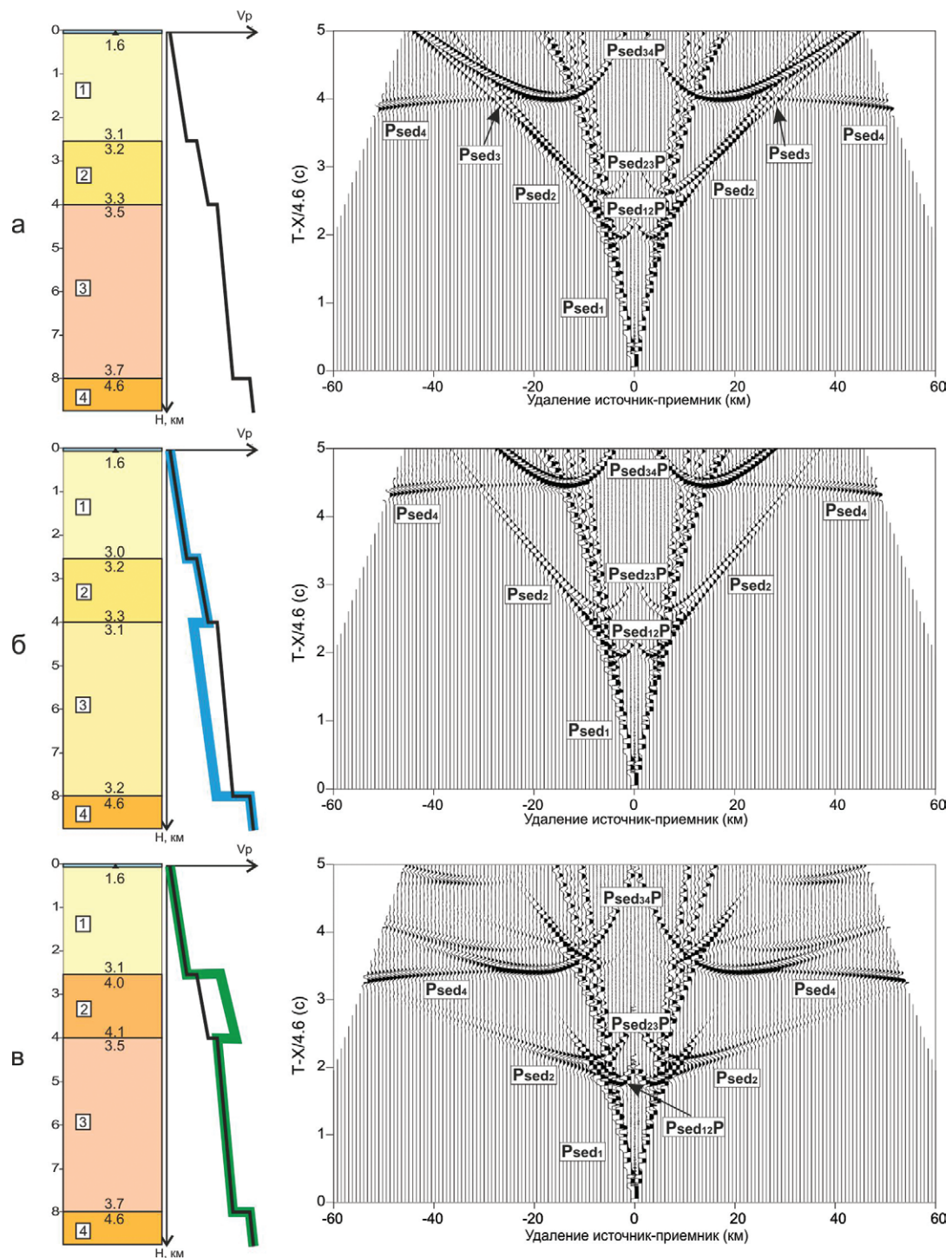


Рис. 6. Альтернативные скоростные модели осадочного чехла Северо-Чукотского бассейна и соответствующие им синтетические сейсмограммы  
 а – модель с нормальным нарастанием скорости с глубиной; б – модель с низкоскоростным слоем; в – модель с высокоскоростным слоем. Обозначения волн см. на рис. 3

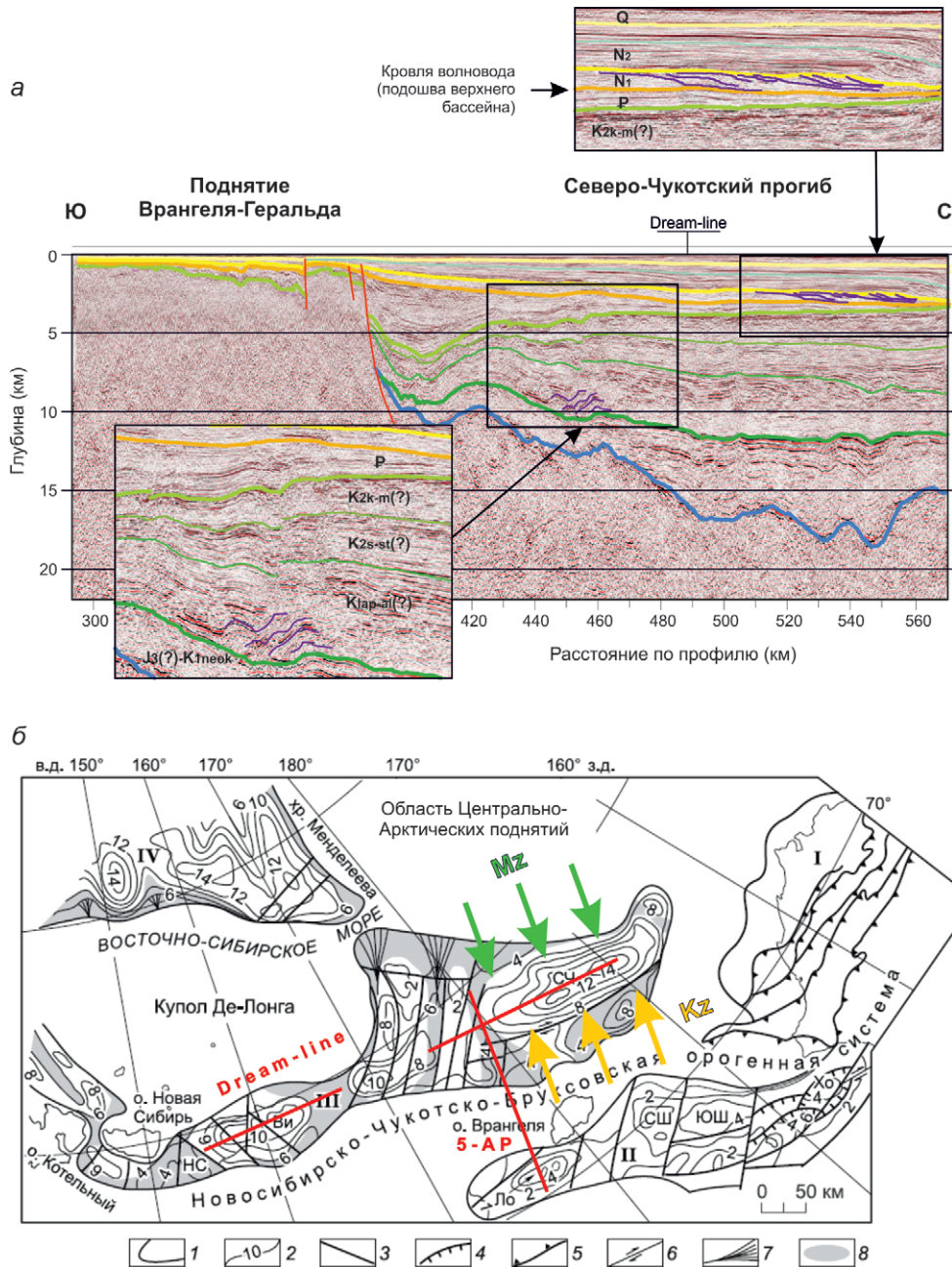


Рис. 7. Фрагмент сейсмического разреза МОВ-ОГТ по профилю 5-АР (а) и принципиальная модель формирования «бассейна в бассейне» в пределах Северо-Чукотского прогиба на схеме потенциально нефтегазоносных бассейнов Восточной Арктики по [14] (б)

На а показаны структуры клиноформ раннего неогена (вверху) и раннего мела (внизу). На б красными линиями показано положение профилей 5-АР и Dream-line, стрелками – направление сноса осадочного материала с указанием возраста денудации. 1 – границы бассейнов; 2 – изопахиты (км); 3–6 – разломы: 3 – недифференцированные, 4 – сбросы, 5 – надвиги, взбросы, 6 – сдвиги; 7 – предполагаемые конусы выноса; 8 – перспективные зоны с неустановленной нефтегазоносностью. Нефтегазоносные бассейны северного склона Аляски (I); потенциально нефтегазоносные бассейны – Южно-Чукотский (II), Новосибирско-Северо-Чукотский (III), Предвосточносибирский (IV); впадины Южно-Чукотского ПНГБ – Лонга (Lo), Северо-Шмидтовская (СШ), Южно-Шмидтовская (ЮШ), Хоуп (Хо); прогибы Новосибирско-Северо-Чукотского ПНГБ – Новосибирский (НС), Вилькицкого (Ви), Северо-Чукотский (СЧ)

с высокоскоростным слоем (рис. 6, в). Скоростные параметры и мощности слоев в моделях приближены к значениям, приведенным на рис. 5.

На синтетической сейсмограмме для модели с нарастающим скоростей в осадочном чехле наблюдается типичная в таких случаях волновая картина, когда на каждой границе в модели образуются как отраженная, так и головная/рефрагированная

волны. На синтетической сейсмограмме для модели с низкоскоростным слоем наблюдаются незначительное затухание амплитуд волн в первых вступлениях и отсутствие головной/рефрагированной волны от кровли низкоскоростного слоя. Вариант модели с высокоскоростным слоем (рис. 6, в) лучше всего соответствует реальным сейсмическим записям.



Таким образом, скоростная модель мощного осадочного чехла в депоцентре Северо-Чукотского прогиба демонстрирует двухъярусное строение, что можно интерпретировать как формирование двух наложенных друг на друга бассейнов (модель «бассейн в бассейне»).

Как уже отмечалось (рис. 4), подошва высокоскоростного слоя соответствует опорному отражающему горизонту, расположенному на глубине около 4 км. Выше этого отражателя фиксируются структуры клиноформ раннего неогена (рис. 7), которые указывают на то, что снос осадочного материала в кайнозойское время шел с юга, со стороны поднятия Врангеля-Геральда. Наличие высокоскоростного слоя в осадочном чехле, вероятнее всего, объясняется сменой литологических свойств горных пород, слагающих разрез. Согласно петрофизическим данным [10], он может быть сложен породами палеоген-неогенового возраста терригенного состава, предположительно песчаниками и глинистыми сланцами с долей карбонатного вещества в цементе. Нижележащий слой может быть представлен верхнемеловыми терригенными отложениями, такими как песчаники, алевролиты и аргиллиты. При этом по характеру клиноформ раннего мела видно, что снос в меловое время шел с севера, из области Центрально-Арктических поднятий (рис. 7), которые в палеоцене испытали погружение на батинальные глубины.

Такая модель объясняет как наличие стратиграфических перерывов в осадконакоплении, так и значительные мощности осадков в Северо-Чукотском прогибе.

**Заключение.** По данным современных сейсмических исследований, включающих в себя, кроме профилирования МОВ-ОГТ, детальные наблюдения ГСЗ с донными станциями, удалось существенно уточнить скоростную модель осадочного чехла Северо-Чукотского прогиба. Выявленный в его разрезе волновод позволил обосновать модель формирования Северо-Чукотского бассейна в два этапа, когда источниками сноса попеременно являлись в мезозойское время – область Центрально-Арктических поднятий, а после ее опускания на батинальные глубины в кайнозое – поднятие Врангеля-Геральда. Установленные особенности глубинного строения могут быть использованы как для совершенствования прогноза нефтегазоносности, так и для развития представлений об эволюции Арктического бассейна.

---

1. Арктический бассейн (геология и морфология) / ред. В.Д. Каминский. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2017. – 291 с.

2. Артюшков Е.В. Образование сверхглубокого Северо-Чукотского прогиба вследствие экологизации нижней части континентальной коры. Перспективы нефтегазоносности // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 1. – С. 61–74.

3. Виноградов В.А., Горячев Ю.В., Гусев Е.А. и др. Осадочный чехол Восточно-Арктического шельфа России и условия его формирования в системе материк–океан // 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане / под ред. В.Л. Иванова. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008. – С. 63–78.

4. Геология и полезные ископаемые России. Т. 5: Арктические и дальневосточные моря. Кн. 1: Арктические моря. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. – 468 с.

5. Дараган-Суцова Л.А. К обоснованию стратиграфической привязки опорных сейсмических горизонтов на Восточно-Арктическом шельфе и в области Центрально-Арктических поднятий / Л.А. Дараган-Суцова, Н.Н. Соболев, Е.О. Петров, Л.Р. Гринько, Н.А. Петровская, Ю.И. Дараган-Суцов // Регион. геология и металлогения. 2014. № 58. – С. 5–21.

6. Костин В.И. Конечно-разностный метод численного моделирования распространения сейсмических волн в трехмерно-неоднородных разномасштабных средах / В.И. Костин, В.В. Лисица, Г.В. Решетова, В.А. Чеверда // Вычислительные методы и программирование. 2011. Т. 12. № 3. – С. 321–329.

7. Коско М.К., Буценко В.В., Иванов В.Л. и др. К тектонике Северного Ледовитого океана и его континентальной окраины // 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане / под ред. В.Л. Иванова. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008. – С. 16–43.

8. Мальшев Н.А., Обметко В.В., Бородулин А.А. Оценка перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов Восточной Арктики // Науч.-техн. вестник ОАО НК «Роснефть». 2010. № 1. – С. 20–28.

9. Петровская Н.А., Савишкина М.А. Сопоставление сейсмокомплексов и основных несогласий в осадочном чехле шельфа Восточной Арктики // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9. № 3. [http://www.ngtr.ru/gub/4/39\\_2014.pdf](http://www.ngtr.ru/gub/4/39_2014.pdf) (дата обращения: 06.10.2017)

10. Петрофизика: Справочник. В трех книгах. Книга первая: Горные породы и полезные ископаемые / под ред. Н.Б. Дортман. – М.: Недра, 1992. – 391 с.

11. Поселов В.А., Жолондз С.М., Трухалев А.И. и др. Карта мощности осадочного чехла Северного Ледовитого океана // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2012. – С. 8–14. (Тр. ВНИИОкеангеология. Т. 223. Вып. 8).

12. Сакулина Т.С. Глубинное строение земной коры и верхней мантии Северо-Чукотского прогиба по профилю ГСЗ Dream-line / Т.С. Сакулина, С.Н. Кашубин, О.В. Петров, А.Ф. Морозов, Н.А. Крупнова, Н.Т. Дергунов, А.В. Разматова, С.Н. Табырца, Т.В. Кашубина, Т.М. Яварова // Регион. геология и металлогения. 2016. № 68. – С. 52–65.

13. Сакулина Т.С. Комплексные геолого-геофизические исследования на опорном профиле 5-АР в Восточно-Сибирском море / Т.С. Сакулина, М.Л. Вербя, Т.В. Кашубина, Н.А. Крупнова, С.Н. Табырца, Г.И. Иванов // Разведка и охрана недр. 2011. № 10. – С. 17–23.

14. Хаин В.Е., Полякова И.Д., Филатова Н.И. Тектоника и нефтегазоносность Восточной Арктики // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 4. – С. 443–460.

15. Drachev S.S. Fold belts and sedimentary basins of the Eurasian Arctic. *Arktos*, 2016. – P. 2–21.

16. International project. Atlas of geological maps of the Circumpolar Arctic / Eds. O.V. Petrov, M. Smelror, A.F. Morozov – SPb.: VSEGEI Publishing House, 2016. – 64 p.

17. Petrov O., Morozov A., Shokalsky S. et al. Crustal structure and tectonic model of the Arctic region // *Earth-Science Reviews*. 2016. Vol. 154. – P. 29–71.

---

1. Arctic Basin (Geology and Morphology) Ed. by V.D. Kaminsky. St. Petersburg: VNIIOkeangeologia, 2017. 291 p.

2. Artyushkov E.V. Formation of super-deep North Chukchi Trough due to ecologization of the lower continental crust. Prospects of oil and gas potential // *Geology and Geophysics*, 2010, Vol. 51, No. 1, pp. 61–74.

3. Vinogradov V.A., Goryachev Yu.V., Gusev E.A. et al. Sedimentary cover of the East Arctic shelf of Russia and conditions for its formation in the continent–ocean system // 60 years in the Arctic, Antarctic and the World Ocean (edited by V.L. Ivanov). St. Petersburg: VNIIOkeangeologia, 2008, pp. 63–78.

4. Geology and Mineral Resources of Russia. Vol. 5. Arctic and Far Eastern Seas. Book. 1. Arctic Seas. St. Petersburg: VSEGEI, 2004. 468 p.
5. Daragan-Sushchova L.A. To the substantiation of the stratigraphic tie of seismic markers in the East Arctic shelf and in the area of the Central Arctic uplifts / L.A. Daragan-Sushchova, N.N. Sobolev, E.O. Petrov, L.R. Grinko, N.A. Petrovskaya, Yu.I. Daragan-Sushchov // Regional Geology and Metallogeny, No. 58, 2014, pp. 5–21.
6. *Kostin V.I., Lisitsa V.V., Reshetov G.V.* et al. Finite difference method for numerical modeling of seismic wave propagation in three-dimensionally inhomogeneous multi-scale media // Computational Methods and Programming, 2011, No. 3, pp. 321–329.
7. *Kos'ko M.K., Butsenko V.V., Ivanov V.L.* et al. Tectonics of the Arctic Ocean and its continental margin // 60 years in the Arctic, Antarctic and World Ocean (edited by V.L. Ivanov). St. Petersburg: VNIIOkeangeologia, 2008, pp. 16–43.
8. *Malyshev N.A., Obmetko V.V., Borodulin A.A.* Estimation of oil and gas potential of sedimentary basins of the East Arctic // OAO NK Rosneft Scientific and Technical Bulletin, 2010, No. 1, pp. 20–28.
9. *Petrovskaya N.A., Savishkina M.A.* Comparison of seismic complexes and major unconformities in the East Arctic shelf sedimentary cover // Oil and Gas Geology. Theory and Practice, 2014, Vol. 9, No. 3. [http://www.ngtp.ru/rub/4/39\\_2014.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/39_2014.pdf)
10. Petrophysics: Reference Book. Three books. Book 1. Rocks and Mineral Resources. Edited by N.B. Dortman. M.: Nedra, 1992. 391 p.
11. *Poselov V.A., Zholondz S.M., Trukhalev A.I.* et al. Map of the Arctic Ocean sedimentary cover thickness // Geological and Geophysical characteristics of the Arctic Region Lithosphere. St. Petersburg, VNIIOkeangeologia, 2012. (VNIIOkeangeologia Proceedings, Vol. 223. Issue 8). pp. 8–14.
12. *Sakulina T.S.* Deep structure of the Earth's crust and upper mantle of the North Chukchi Trough along the DSS Dream Line / T.S. Sakulina, S.N. Kashubin, O.V. Petrov, A.F. Morozov, N.A. Krupnova, N.T. Dergunov, A.V. Razmatova, S.N. Tabyrtsa, T.V. Kashubina, T.M. Yavarova // Regional Geology and Metallogeny, 2016, No. 68, pp. 52–65.
13. *Sakulina T.S., Verba M.L., Kashubina T.V.* et al. Comprehensive geological and geophysical studies along the 5-AR survey base line in the East Siberian Sea // Prospect and Protection of Mineral Resources, 2011, No. 10, pp. 17–23.
14. *Khain V.E., Polyakova I.D., Filatova N.I.* Tectonics and oil and gas potential of the Eastern Arctic // Geology and Geophysics, 2009, Vol. 50, No. 4, pp. 443–460.
15. *Drachev S.S.* Fold belts and sedimentary basins of the Eurasian Arctic. Arktos, 2016. – P. 2–21.
16. International project. Atlas of geological maps of the Circumpolar Arctic / Eds. O.V. Petrov, M. Smelror, A.F. Morozov – SPb.: VSEGEI Publishing House, 2016. – 64 p.
17. *Petrov O., Morozov A., Shokalsky S.* et al. Crustal structure and tectonic model of the Arctic region // Earth-Science Reviews. 2016. Vol. 154. – P. 29–71.

*Кашубин Сергей Николаевич* – доктор геол.-минер. наук, зам. ген. директора, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>, профессор. <sergey\_kashubin@vsegei.ru>.

*Петров Олег Владимирович* – доктор. геол.-минер. наук, доктор экон. наук, ген. директор, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <vsegei@vsegei.ru>.

*Яварова Татьяна Михайловна* – геофизик, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <tatyana\_yavarova@vsegei.ru>.

*Винокуров Илья Юрьевич* – канд. геол.-минер. наук, зам. зав. отделом, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <ilia\_vinokurov@vsegei.ru>.

*Крупнова Наталья Александровна* – канд. физ.-мат. наук, вед. геофизик, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <nataliya\_krupnova@vsegei.ru>.

*Сакулина Тамара Сергеевна* – канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией, АО «Севморгео». Ул. Розенштейна, д. 36, Санкт-Петербург, 198095, Россия. <sakoulina@gmail.com>.

*Kashubin Sergej Nikolaevich* – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Deputy Director General, VSEGEI<sup>1</sup>. <sergey\_kashubin@vsegei.ru>.

*Petrov Oleg Vladimirovich* – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Doctor Economic Sciences, Director General, VSEGEI<sup>1</sup>. <vsegei@vsegei.ru>.

*Yavarova Tatiana Mikhailovna* – Geophysicist, VSEGEI<sup>1</sup>. <tatyana\_yavarova@vsegei.ru>.

*Vinokurov Ilya Yurievich* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Head of the entire department, VSEGEI<sup>1</sup>. <ilia\_vinokurov@vsegei.ru>.

*Krupnova Natalia Aleksandrovna* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Lead Geophysicist, VSEGEI<sup>1</sup>. <nataliya\_krupnova@vsegei.ru>.

*Sakoulina Tamara Sergeevna* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the laboratory, JSC «Sevmorgeo». 36 Rosenstein St., St. Petersburg, 198095, Russia. <sakoulina@gmail.com>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.