

УДК 550.834.52

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ НИЗКОЧАСТОТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ В ИНТЕРВАЛЕ ДОЮРСКОГО ОСНОВАНИЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Елена Робертовна Ахиярова<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; akhiyarova.elena@gmail.com

**Аннотация.** Рассмотрены пять вариантов построения априорных низкочастотных фоновых моделей для целей акустической инверсии сейсмических данных в интервале доюрских отложений Западной Сибири. Представлен краткий обзор априорной геологической информации. Проведен анализ результатов акустической инверсии для каждой модели. Сравнение полученных акустических импедансов позволяет выделить наиболее эффективный метод построения низкочастотной модели в пределах исследуемой толщи.

**Ключевые слова:** интерпретация сейсмических данных, низкочастотная фоновая модель, акустическая инверсия, доюрский комплекс

**Для цитирования:** Ахиярова Е.Р. Методические подходы к построению низкочастотной модели для целей сейсмической инверсии в интервале доюрского основания Западной Сибири // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 4. С. 131–137.

## METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE CONSTRUCTION OF A LOW-FREQUENCY MODEL FOR THE PURPOSES OF SEISMIC INVERSION IN THE INTERVAL OF THE PRE-JURASSIC BASE OF WESTERN SIBERIA

Elena R. Akhiyarova<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; akhiyarova.elena@gmail.com

**Abstract.** The article presents research of five different approaches to creating a low-frequency model of acoustic inversion of seismic data for Paleozoic deposits of the East Siberia. The paper include a brief overview of prior geology information. It also includes an analysis of acoustic inversion results for each low-frequency model. Comparison of acoustic impedances makes it possible to identify the most effective method of creating low-frequency model for Paleozoic interval.

**Key words:** interpretation of seismic data, low-frequency model, acoustic inversion, Paleozoic deposits

**For citation:** Akhiyarova E.R. Methodological approaches to the construction of a low-frequency model for the purposes of seismic inversion in the interval of the Pre-Jurassic base of Western Siberia. *Moscow University Geol. Bull.* 2022; 4: 131–137. (In Russ.).

**Введение.** Исследование интервала доюрского комплекса (ДЮК) представляет собой актуальную и новую задачу, поскольку ранее внимание уделялось в основном исследованиям осадочного чехла. Проблемы, связанные с поиском перспективных зон и в целом с изучением строения ДЮК, определяются сложным строением интервала, что влияет на характер волновой картины сейсмической записи — отражения не выдержаны и фрагментарны. Кроме того, осложняет работу ограниченность данных по скважинам, вскрытие ДЮК в которых едва достигает 150 м. Поскольку сейсморазведка — один из наиболее точных площадных методов исследования, позволяющих изучить сложное строение доюрских отложений, то выработка методических подходов для изучения палеозойского интервала сейчас занимает ключевую роль.

**Материалы и методы исследований.** Исследуемая территория расположена в пределах Томской

области, где находится множество месторождений углеводородов, открытых непосредственно в палеозойской толще. В этой области ДЮК сложен различными породами: приоритетно карбонатными, реже кремнистыми, метаморфическими и магматическими [Конторович и др., 2018]. Исследован небольшой участок в западной части Томской области, на котором выполнена сейсморазведка 3D, в его пределах доюрский комплекс представлен преимущественно карбонатными отложениями, а в нескольких скважинах — глинисто-кремнистыми.

**Краткая теория сейсмической инверсии.** Инверсионные преобразования плотно вошли в базовый граф интерпретации сейсмических данных, с их помощью можно получить распределения упругих свойств в среде. Классическая детерминистическая инверсия чаще всего рассчитывается двумя самыми распространенными алгоритмами: редких импульсов и на основе модели, предложенной в работе

[Ампилов и др., 2009]. В нашем случае мы работаем с инверсией, основанной на модели, предполагающей наличие априорной низкочастотной фоновой модели, построенной на основе скважинных данных, которая выполняет две основные функции: 1) обеспечение решения задачи инверсии низкочастотной трендовой составляющей, которая отсутствует в сейсмических данных; 2) повышение устойчивости решения инверсионной задачи путем задания максимального допустимого отклонения от модели.

Построение фоновой модели представляет собой процедуру математической интерполяции упругих свойств между скважинами по геологическому каркасу, что необходимо для проведения инверсии, так как изначально несет в себе исходную геологическую информацию. Поскольку в рамках работы был исследован относительно новый интервал, к тому же слабо изученный скважинами, то для целей проведения сейсмической инверсии очень важно корректно построить априорную модель. Поэтому внимание было акцентировано на разных подходах к построению фоновой модели.

#### **Результаты исследований и их обсуждение.**

*Подходы к построению априорной модели в доюрских отложениях.* В рамках исследования методического подхода к построению низкочастотной фоновой модели построены и проанализированы пять возможных вариантов построения априорной модели.

Модель 1 (рис. 1, а) включает в себя условную границу кровли Д1 — кровли отложений нижнего девона. Эта граница представляет собой фрагментарные яркие амплитудные пачки внутри доюрского комплекса, сильно изменчивые по глубине и пространственные не на всей площади.

При использовании этой модели структурного каркаса подразумевается возможность более корректно интерполировать скважинные данные внутри ДЮК, что в идеале должно приводить к более точному результату. Но тут играет важную роль слабая освещенность скважинами этого интервала — отражающая граница Д1 вскрыта только одной скважиной, т. е. информация об упругих свойствах ниже этой условной границы по всей площади имеется только в ней. Помимо этого, граница Д1 вскрыта на глубине около 200 м, тогда как реальное изменение с глубиной достигает нескольких километров — в таком случае интерполяция упругих свойств внутри интервала А—Д1 не корректна и не отражает реальный тренд уплотнения с глубиной, а значит, не подходит для целей инверсионных преобразований.

В то же время возникают дополнительные сложности — условная граница прослежена только на части площади, там, где она выделяется в волновом поле. В другой части площади эта амплитудная пачка отсутствует, это можно объяснить как другой геологической структурой интервала, так и особенностями площадных наблюдений, когда отраженные волны от пачки не доходят до приемников на поверхности.

Модель 2 (рис. 1, б) — классический пример интерполяции скважинных данных, где в качестве структурного каркаса используется кровля ДЮК. В этом варианте при классическом сглаживании модели до низкочастотной составляющей пропадает контраст отражений на границе юрских и доюрских отложений, который очень важен для исследований. Поэтому была построена модель 3 (рис. 1, в), ее изначально строили, как и предыдущую модель, путем интерполяции упругих свойств, но при сглаживании использована кровля доюрского основания, чтобы максимально сохранить контраст на границе сред.

Модель 4 (рис. 1, г) строилась на основе глубинно-скоростной модели, полученной на этапе глубинной миграции сейсмических данных. Этот вариант рассматривался с целью дальнейших исследований в случае ограниченного числа скважин или полного их отсутствия. Но и тут есть большое место субъективности метода, поскольку важно контролировать этап построения скоростной модели при глубинной миграции с точки зрения и сейсмического анализа, и геологического строения разреза. Если же это не выполнено, степень доверия исходной скоростной модели становится ниже — модель может быть достаточна для корректной фокусировки отражений сейсмических волн, но недостаточно детальна для геолого-геофизических интерпретационных целей.

Модель 5 (рис. 1, д) представляет собой статистический подход — на основе всех скважин был определен статистический тренд, который стал априорной моделью. Такой подход — в случае удачной реализации на исследуемом участке — как и предыдущая модель, может быть использован в случае небольшого числа скважин или полного их отсутствия, но при наличии априорного геологического строения участка.

Для каждой модели была рассчитана акустическая инверсия с одинаковыми оптимальными параметрами. Сравнение результатов инверсии в виде карт акустических импедансов и контроля качества в точках скважин представлены на рис. 2. По картам акустического импеданса вблизи кровли ДЮК прослеживается, что в модели 1 (с включением условной кровли раннего девона Д1) появляются граничные эффекты вблизи кровли ДЮК из-за неравномерности и особенностей прослеженной границы. Ярко это наблюдается вблизи скважины ARH\_52PO, где свойства по латерали резко изменяются, что связано с корреляцией, а не с геологическими характеристиками. Таким образом, оптимальны модели 2 и 3, построенные на основе интерполяции скважин без учета горизонта внутри доюрского комплекса. При этом модель с учетом сохранения контраста показывает даже более высокие результаты сходимости с исходными данными за счет корректного восстановления импеданса вблизи кровли ДЮК. Варианты 4 и 5 показывают самые слабые результаты, это видно и на уровне карт акустического импеданса — не учитывается изменение упругих

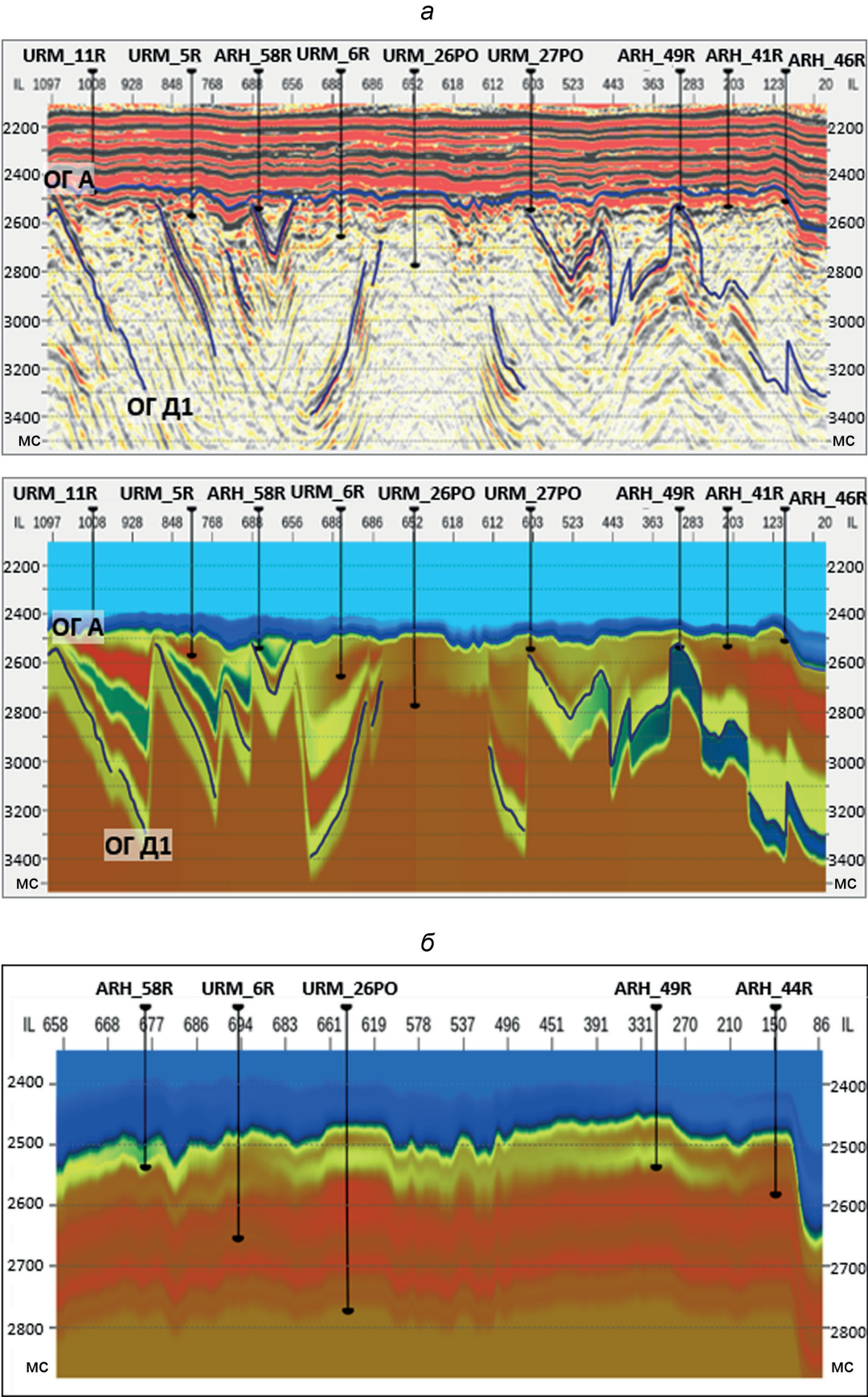
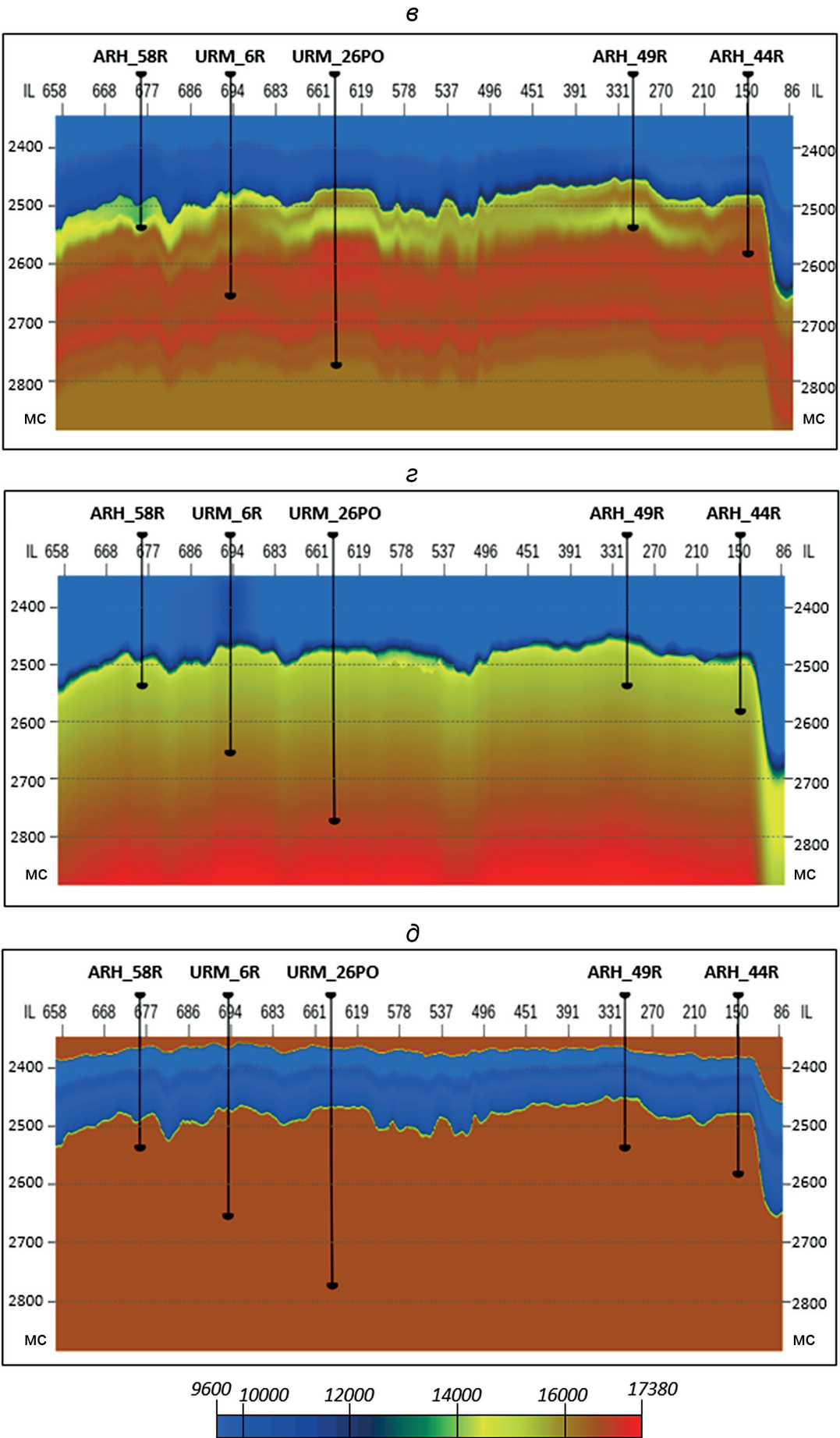
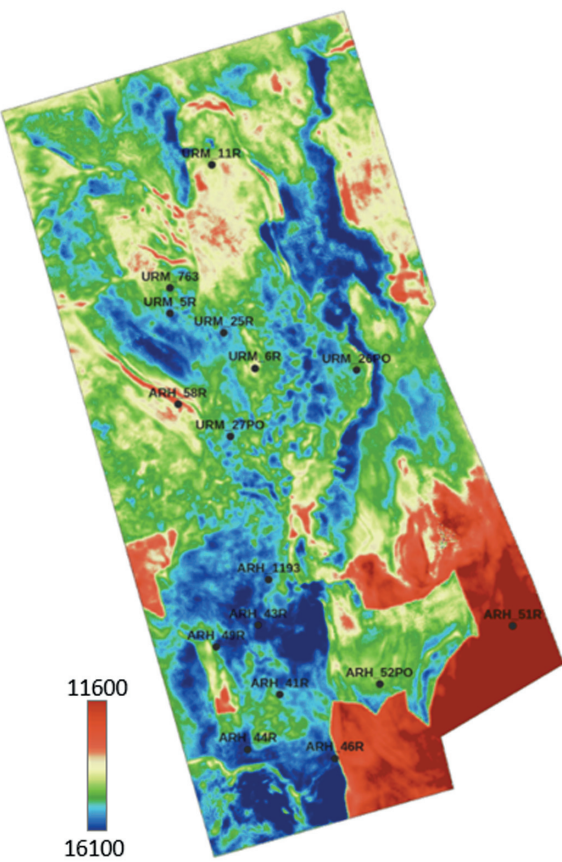


Рис. 1. Построение низкочастотной фоновой модели для целей сейсмической инверсии: *a* — модель с использованием условной границы Д1; *б* — модель методом интерполяции скважинных данных; *в* — модель с учетом сохранения контраста на границе юрских и доюрских отложений; *г* — модель на основе глубинно-скоростной модели; *д* — модель на основе статистики

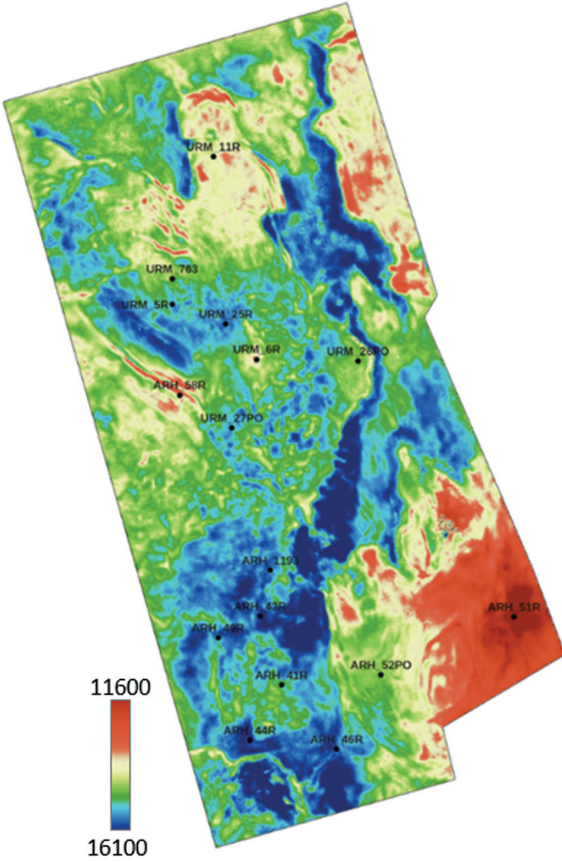


Окончание рис. 1

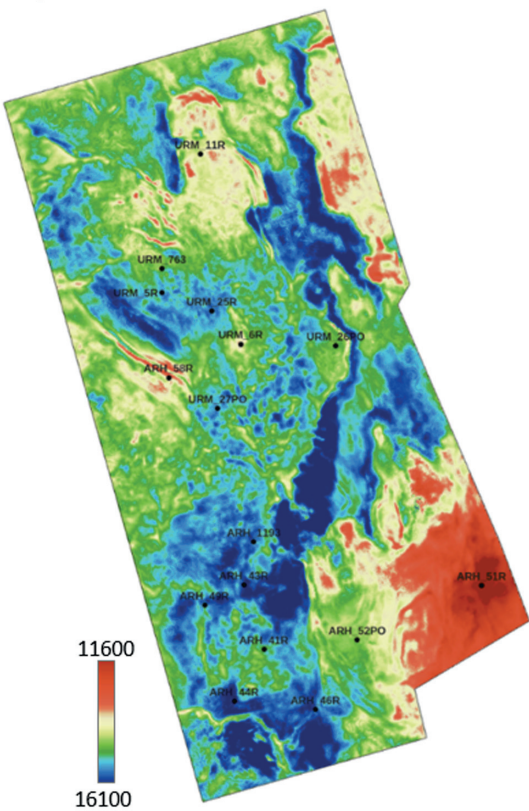
Акустический импеданс, модель 1



Акустический импеданс, модель 2



Акустический импеданс, модель 3



Акустический импеданс, модель 4

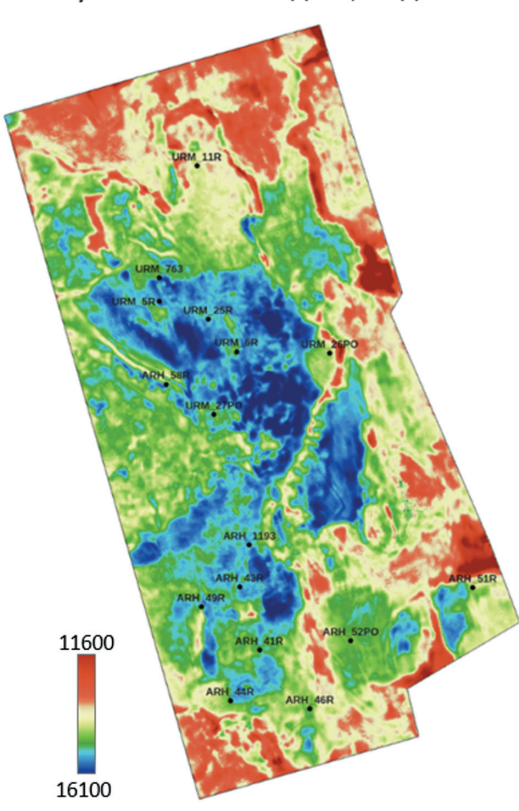
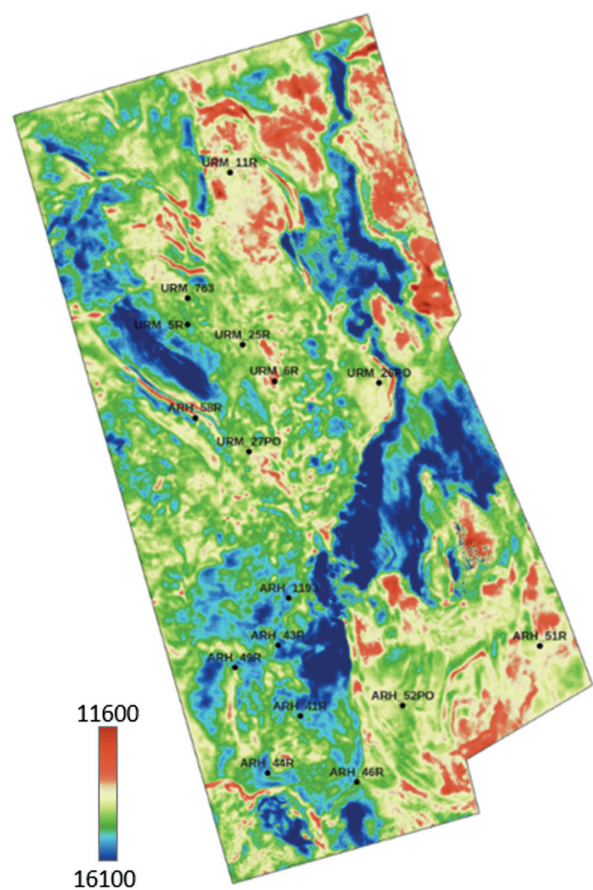
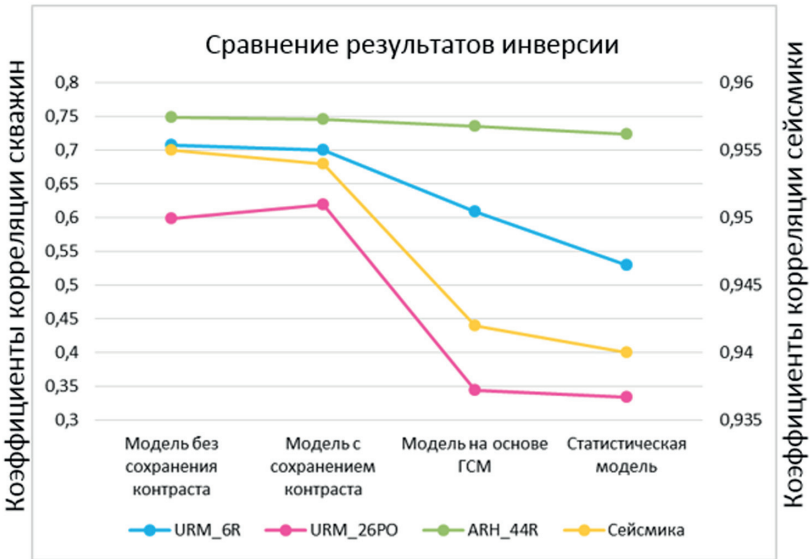
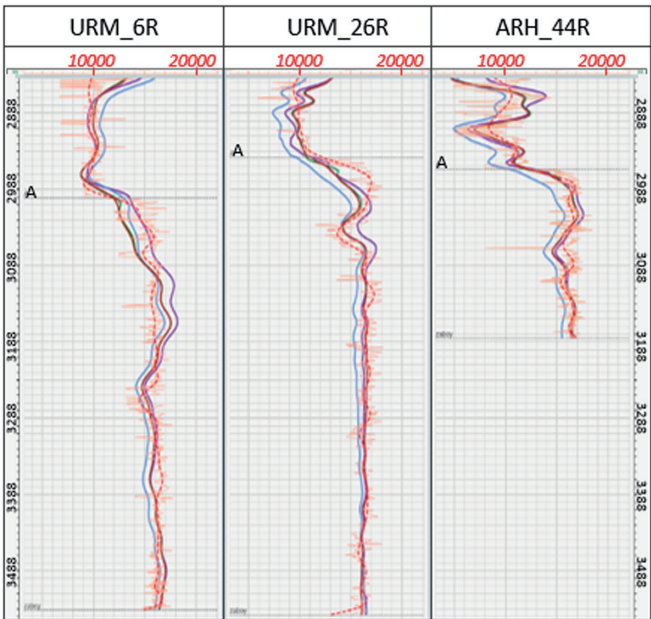


Рис. 2. Сравнение результатов акустической инверсии для всех типов низкочастотных фоновых моделей

Акустический импеданс, модель 5



Сравнение кривых в точках скважин



свойств за счет смены литологического состава пород с карбонатного разреза на глинисто-кремнистый в юго-восточной части площади съемки, где фактически через модели 4 и 5 восстановлен карбонатный разрез, хотя в скважинах в этой зоне вскрыты глинисто-кремнистые формации; также это видно и по низким значениям коэффициента корреляции восстанавливаемого импеданса в точках скважин.

**Заключение.** Протестировано пять подходов к построению важнейшей части инверсионных пре-

образований — низкочастотной фоновой модели в интервале слабоизученного доюрского комплекса. На данном этапе единственным приемлемым вариантом построений остается метод интерполяции скважин между собой, желательно с учетом сохранения контраста на границе юрских и доюрских отложений. Использование прослеженной границы внутри ДЮК пока осложняется отсутствием скважиной информации для более погруженных частей доюрской толщи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ампилов. Ю.П., Барков А.Ю., Яковлев И.В. и др. Почти все о сейсмической инверсии. Ч. 1 // Технологии сейсморазведки. 2009. № 4. С. 3–16.

Конторович В.А., Калинина Л.М., Калинин А.Ю., Соловьев М.В. Нефтегазоперспективные объекты палеозоя

Западной Сибири, сейсмогеологические модели эталонных месторождений // Геология нефти и газа. 2018. № 4. С. 5–15.

Статья поступила в редакцию 09.12.2021,  
одобрена после рецензирования 09.03.2022,  
принята к публикации 31.08.2022