

УДК 550.834.05

DOI 10.31087/0016-7894-2019-6-57-66

## Применение метода замещения слоя на этапе интерпретации данных сейсморазведки 3D с целью снижения влияния скоростных аномалий на точность структурных построений

© 2019 г. | А.Н. Гаврилов<sup>1</sup>, Е.В. Астафьев<sup>1</sup>, Г.В. Шакирова<sup>1</sup>, Ю.И. Никитин<sup>1</sup>, Н.Н. Корягин<sup>2</sup><sup>1</sup>ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия; ANGavrilov@tnnc.rosneft.ru; EVAstafyev@tnnc.rosneft.ru; GVShakirova@tnnc.rosneft.ru; YINikitin@tnnc.rosneft.ru;<sup>2</sup>АО «Оренбургнефть», Бузлук, Россия; NNKoryagin@rosneft.ru

Поступила 10.09.2019 г.

Принята к печати 23.09.2019 г.

**Ключевые слова:** *сульфатно-галогенная толща; скоростные аномалии; неподтверждение структурного плана; сейсморазведка 3D; методика замещения слоя; минимизация искажающего влияния; поисковое бурение; геолого-разведочные работы; Волго-Уральский нефтегазоносный бассейн.*

В данной статье приведена методика, позволяющая минимизировать влияние скоростных аномалий, вызванных неоднородностью литологического строения кунгурской сульфатно-галогенной толщи пермского интервала, на структурные построения по материалам сейсморазведки. Данные отложения повсеместно развиты в пределах Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, их мощность существенно увеличивается в южном направлении, в сторону Прикаспийской синеклизы. Влияние скоростных аномалий на сейсмическое волновое поле обусловлено различием акустических свойств пород, слагающих эти толщи, — каменной соли и ангидрита, выклинивающихся и замещающих друг друга по латерали. В результате изменения суммарной мощности тех или иных отложений и их соотношения соответственно или уменьшается, или увеличивается интервальная скорость распространения сейсмических волн, а значит, и время их пробега в толще горных пород. Вследствие этого под областями сокращенных суммарных толщин солей, где в разрезе преобладает сульфатная составляющая, характеризующаяся высокими интервальными скоростями, наблюдается «затягивание» волнового поля и образование ложных структур. А под областями увеличенных толщин солей, обладающих меньшей плотностью и, соответственно, меньшими интервальными скоростями, «продавливаются» нижележащие отражающие горизонты, формируя тем самым ложные прогибы и нивелируя реальные структуры. Авторами статьи была предпринята попытка количественного учета влияния этих аномалий на гипсометрию нижележащих отражающих горизонтов и, соответственно, получения структурных планов с учетом минимизации искажающего влияния скоростных аномалий. Свое развитие данная методика получила на лицензионных площадях АО «Оренбургнефть», приуроченных к бортовой системе Муханово-Ероховского прогиба Камско-Кинельской системы прогибов и характеризующихся высокой степенью изученности сейсморазведкой 3D и глубоким бурением. Несмотря на длительную историю геолого-разведочных работ в Оренбургской области и большой объем разведанных запасов, применение новых методических приемов интерпретации сейсморазведочных данных позволяет ежегодно открывать новые месторождения.

Для цитирования: Гаврилов А.Н., Астафьев Е.В., Шакирова Г.В., Никитин Ю.И., Корягин Н.Н. Применение метода замещения слоя на этапе интерпретации данных сейсморазведки 3D с целью снижения влияния скоростных аномалий на точность структурных построений // Геология нефти и газа. – 2019. – № 6. – С. 57–66. DOI: 10.31087/0016-7894-2019-6-57-66.

## Reducing the velocity anomalies effect on the accuracy of structural imaging: method of layer substitution in the stage of 3D seismic data interpretation

© 2019 | A.N. Gavrilov<sup>1</sup>, E.V. Astaf'ev<sup>1</sup>, G.V. Shakirova<sup>1</sup>, Yu.I. Nikitin<sup>1</sup>, N.N. Koryagin<sup>2</sup><sup>1</sup>LLC TNNC, Tyumen, Russia; ANGavrilov@tnnc.rosneft.ru; EVAstafyev@tnnc.rosneft.ru; GVShakirova@tnnc.rosneft.ru; YINikitin@tnnc.rosneft.ru;<sup>2</sup>АО «Orenburgneft'», Buzluk, Russia; NNKoryagin@rosneft.ru

Received 10.09.2019

Accepted for publication 23.09.2019

**Key words:** *halogenic-sulfate sequence; velocity anomalies; disconfirmation of structural geometry; 3D seismics; method of layer substitution; minimization of distorting influence; prospecting drilling; exploration; Volga-Urals Petroleum Basin.*

This paper discusses a methodology that allows minimizing the effect of velocity anomalies associated with lithological inhomogeneity of Kungurian halogenic-sulfate sequence of the Permian interval on structural imaging based on seismic data. These formations are widely occurring within the Volga-Urals Petroleum Province; their thickness increases considerably towards the south – to the Caspian Syncline. The effect of velocity anomalies on seismic wavefield responds to the difference in acoustic properties of the rocks, which compose these intervals, namely, rock salt and anhydrite pinching out and replacing each other in lateral direction. Resulting from variations of total thickness of certain formations or their proportion, interval velocity of seismic waves

## GEOPHYSICAL SURVEYS

propagation is respectively decreases of increases, as well as their travelttime in the rock formations. As a result, the wavefield becomes distorted and seismic artefacts occur below the zones of the reduced total thickness of salt, where sulfate component prevails in the section; high interval velocities are typical of these areas. As for the zones of increased salt thickness having lower density and therefore lower interval velocities, the underlying horizons are "forced through" thus forming the false troughs and smoothing the real structures. The authors made an effort to quantify the impact of these anomalies on structural position of underlying reflectors and, respectively, to determine structural geometry taking into account minimization of the distorting effect of velocity anomalies. This methodology was further developed in the Orenburgneft areas confined to the shoulder system of the Mukhanovo-Erkhovsky Trough (Kamsky-Kinel'sky system of troughs); high exploration maturity with 3D seismic and intensive deep drilling is typical of this area. Despite the long history of exploration activities in the Orenburg Oblast and the large amount of the explored reserves, application of new methodological approaches in seismic data interpretation allows discovering new fields annually.

*For citation: Gavrilov A.N., Astaf'ev E.V., Shakirova G.V., Nikitin Yu.I., Koryagin N.N. Reducing the velocity anomalies effect on the accuracy of structural imaging: method of layer substitution in the stage of 3D seismic data interpretation. Geologiya nefi i gaza. 2019;(6):57–66. DOI: 10.31087/0016-7894-2019-6-57-66.*

За последние 15–20 лет сложилась объективная тенденция снижения размеров и амплитуды поисковых объектов, многие из них часто сопоставимы с разрешающей способностью сейсморазведки или находятся за ее пределами. В связи с этим подготовка подобных объектов к поисково-разведочному бурению требует повышенного внимания к обеспечению точности структурных построений [1]. В данной статье описана методика замещения слоя, применяемая на этапе интерпретации сейсмических данных и позволяющая повысить точность структурных построений путем учета скоростных неоднородностей.

Предпосылкой к поиску способа минимизации расхождения прогнозных абсолютных отметок сейсмических отражающих горизонтов (ОГ) с фактическими отметками явилось бурение нескольких неуспешных скважин, которые были заложены на сводах поднятий, но не подтвердили существование перспективных структур (рис. 1). Разница между отметками составила 20–40 м. Анализ волнового поля показал, что основное искажающее влияние на структурные построения оказывают неоднородности кунгурской сульфатно-галогенной толщи, учет которых в должной мере невозможен на этапе обработки из-за их небольших размеров как по вертикали, так и по латерали. Примером попытки учета подобных аномалий на стадии обработки может служить Покровско-Сорочинский куб сейсмических данных. После анализа результатов тестирования специалисты по обработке приняли решение использовать статические поправки, полученные с применением послонной инверсии с постоянной скоростью в верхнем слое, так как данные о строении верхней части разреза неоднородны. Опираясь на этот опыт, авторами был предложен способ учета аномалий на этапе интерпретации сейсмических данных.

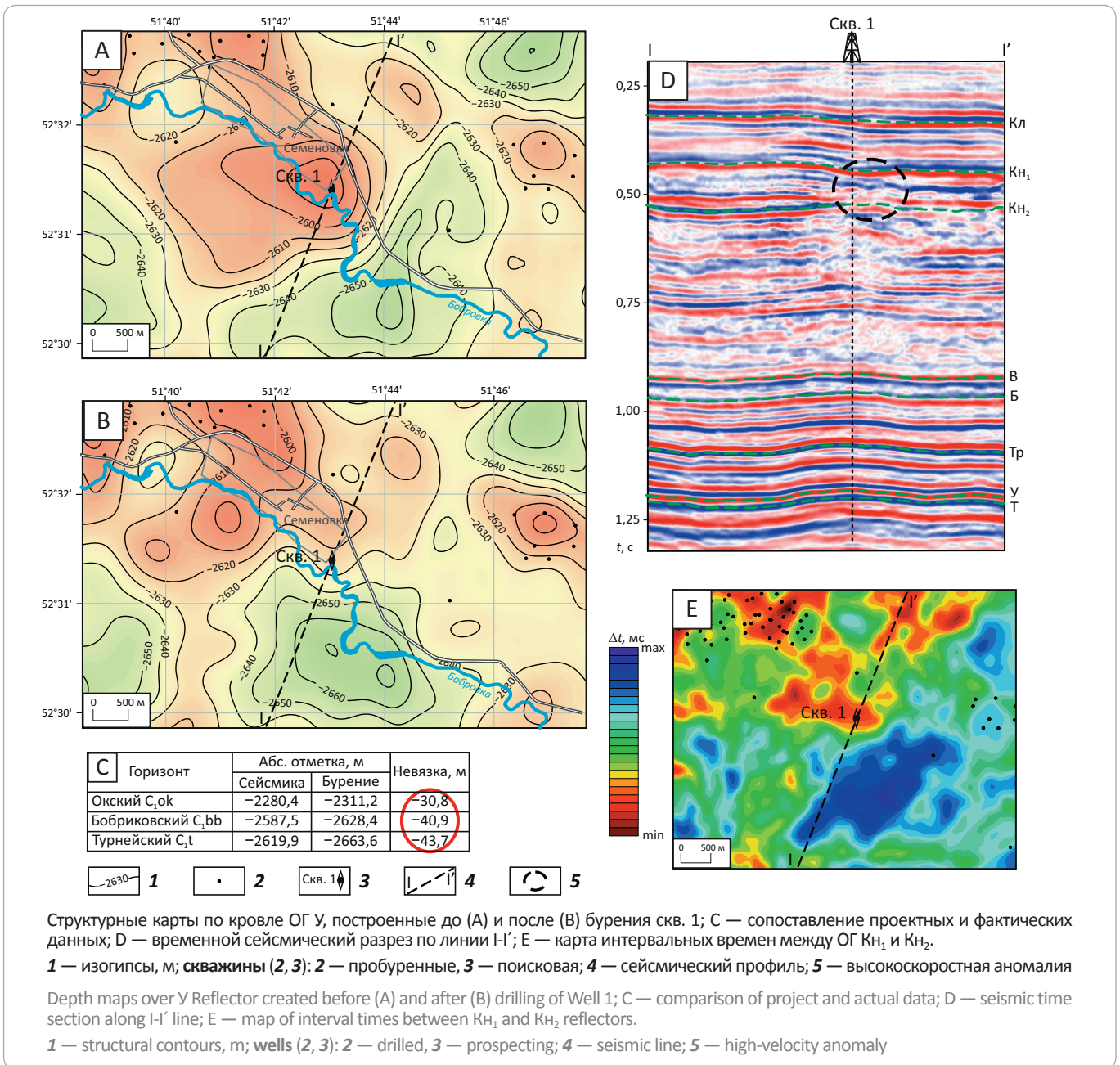
Ранее изучением локальных скоростных неоднородностей занимались специалисты ВО ИГиРГИ [2] (рис. 2). По их данным соляная толща иренского горизонта занимает территорию Соль-Илецкого свода, Павловской седловины, Салмышской впадины, Восточно-Оренбургского валообразного поднятия и юга Бузулукской впадины. Она содержит до 13 пластов ка-

менной соли, перемежающихся с пластами ангидритов разной морфологии и генезиса. По результатам этих исследований выполнена морфогенетическая типизация локальных структурно-вещественных неоднородностей соляных толщ.

В пермское время исследуемая территория представляла собой мелководный замкнутый прибрежный морской бассейн в условиях аридного климата. Испарение морской воды приводило к выпадению минералов в осадок в определенной последовательности. Первыми осаждались труднорастворимые минералы, такие как гипс и ангидрит, а заканчивалась линейка соляными минералами (галитом и сильвинитом), поэтому в основании пачки залегают пластовые отложения ангидритов, затем идет чередование солей и ангидритов, а кровлю выстилают мощные отложения солей. Весь цикл осадконакопления с последующими трансгрессиями повторялся неоднократно.

Выпавшие в осадок отложения подвергались в дальнейшем значительным диагенетическим и постдиагенетическим преобразованиям, в результате чего сформировались локальные структурно-литологические неоднородности иренской толщи. Влияние неоднородностей на волновое поле обусловлено различием акустических свойств пластов соли и ангидрита, выклинивающихся и замещающих друг друга по латерали. Из-за изменения суммарной мощности тех или иных отложений и их соотношения уменьшается или увеличивается интервальная скорость распространения сейсмических волн в толще. В зонах сокращенных толщин солей происходит локальное увеличение интервальной скорости и, как следствие, в поле времен под ними наблюдается локальный «подъем» волнового поля с образованием ложных структур. В зонах увеличенных толщин солей интервальные скорости локально уменьшаются, а на волновых картинах под ними формируются ложные прогибы отражений (рис. 3). Структурно-литологические неоднородности галогенно-сульфатной кунгурской толщи и вызванные ими искажения регистрируемых сейсмических волновых полей широко распространены в бортовых зонах Муханово-Ерховского прогиба. В процессе сейсмических исследований это

**Рис. 1.** Результаты бурения скв. 1  
**Fig. 1.** Results of Well 1 drilling



часто не подтверждало структурные построения и приводило к отрицательным результатам последующего бурения скважин. Потребовалась разработка технологии, которая позволила бы при минимальных затратах повысить точность картирования подсолевых отражающих горизонтов. В ООО «ТННЦ» была разработана технология замещения слоя, применяемая на этапе интерпретации сейсмических данных. Далее представлена последовательность реализации метода.

1. На этапе обработки уделяется повышенное внимание интервалу кунгурских отложений с целью получения хорошо проработанного изображения на

временном разрезе, связанного с этими отложениями.

2. Проводится корреляция ОГ Кн<sub>1</sub> и Кн<sub>2</sub>, отождествляемых с кровлей и подошвой сульфатно-галогенной пачки в пермских отложениях.

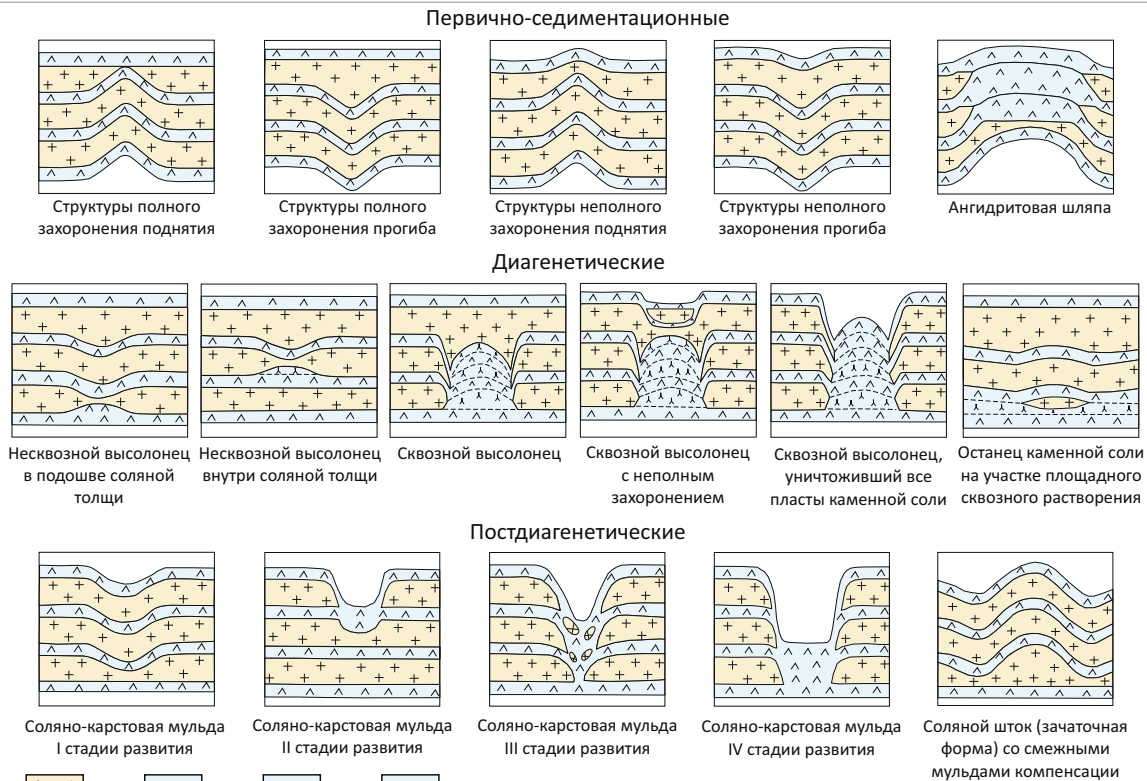
3. Рассчитывается временная толщина отложений в интервале Кн<sub>1</sub>-Кн<sub>2</sub>.

4. При подборе модели замещения вычисляется временная поправка, равная разности интервальных времен между наблюдаемыми горизонтами Кн<sub>2</sub> и Кн<sub>1</sub> и временным откликом от этой толщи при замещении солей на вмещающие породы ангидриты:

$$\Delta t_{\text{corr}} = (t_{0, \text{Кн}_2} - t_{0, \text{Кн}_1}) \cdot (1 - \Delta v_{\text{соли}} / \Delta v_{\text{анг}}).$$

GEOPHYSICAL SURVEYS

**Рис. 2.** Основные морфогенетические виды локальных структурно-вещественных неоднородностей иренской соляной толщи [2]  
**Fig. 2.** Main morphogenetic types of local structural and material inhomogeneities within the Iren'sky salt formation [2]

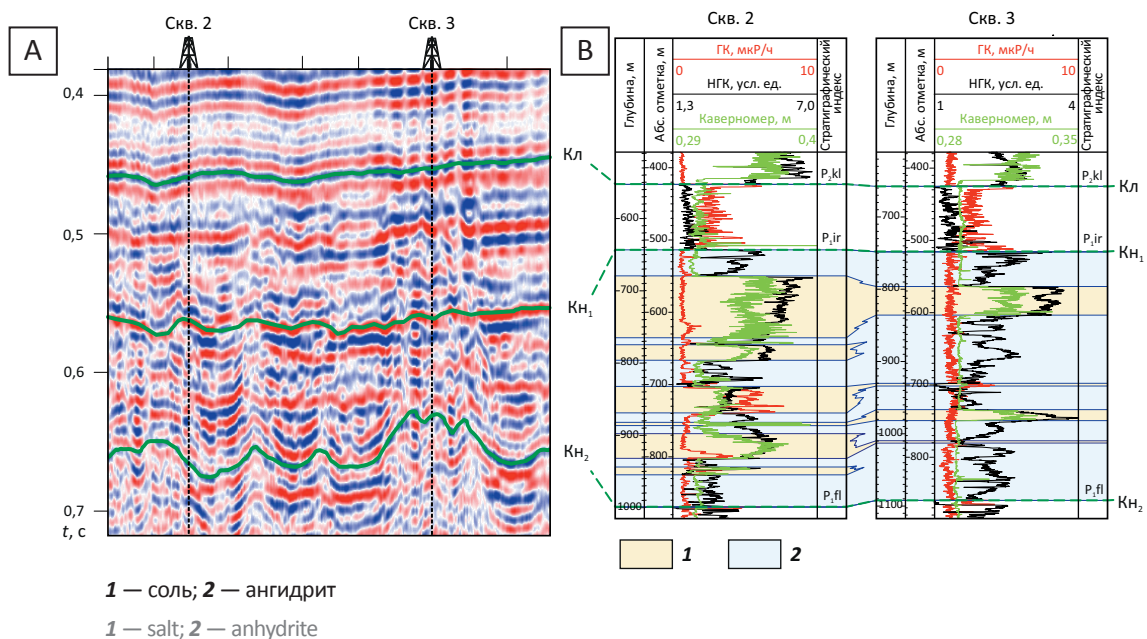


1 — rock salt; anhydrite (2, 3); 2 — deposited from the water of sedimentation basin, 3 — salted out from solutions injected into the bottom sediments from below; 4 — boundary between the anhydrite rocks of different origin

1 — rock salt; anhydrite (2, 3); 2 — deposited from the water of sedimentation basin, 3 — salted out from solutions injected into the bottom sediments from below; 4 — boundary between the anhydrite rocks of different origin

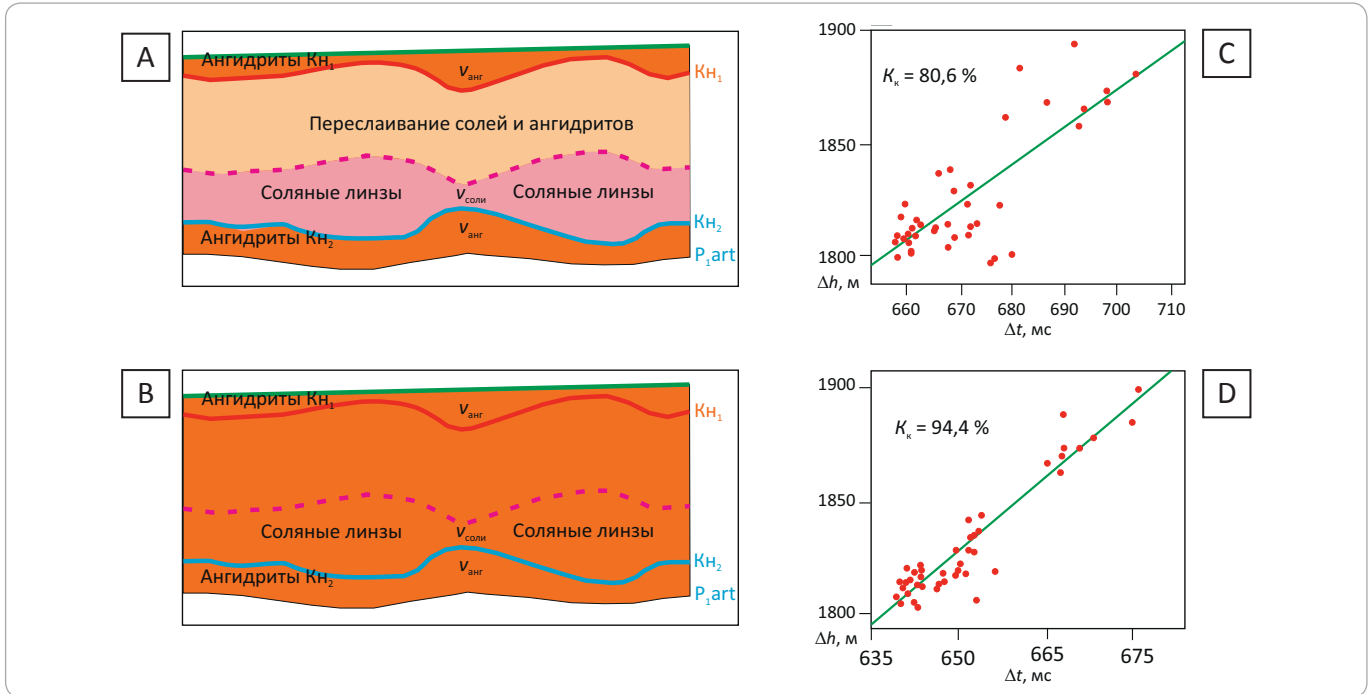
**Рис. 3.** Отображение неоднородностей интервала кунгурских отложений в волновом поле (А) и по данным геофизических исследований скважин (В)

**Fig. 3.** Inhomogeneities of the Kungurian interval manifested in the wavefield (A) and in accordance with well log data (B)



**Рис. 4.** Модели замещения интервала кунгурских отложений до (А) и после (В) применения метода замещения слоя и сравнение графиков зависимости  $\Delta h = f(\Delta t_{\text{Кл-У}})$ , использованных при структурных построениях до (С) и после (D) применения метода замещения слоя

**Fig. 4.** Models of the Kungurian interval substitution before (A) and after (B) application of the layer substitution method; and comparison of  $\Delta h = f(\Delta t_{\text{Кл-У}})$  diagrams used in structural imaging before (C) and after (D) application of the layer substitution method



Реально в модели замещения слоя задается отношение скоростей  $\Delta v_{\text{соли}} / \Delta v_{\text{анг}}$ . Исходя из диапазона скоростей, полученных по данным акустического каротажа и вертикального сейсмического профилирования в солях (4300–4700 м/с) и ангидритах (5800–6800 м/с), это отношение изменяется в пределах 0,6–0,8. Вычисления осуществляются итерационным способом, задается перебор отношения скоростей  $\Delta v_{\text{соли}} / \Delta v_{\text{анг}}$  с шагом 0,05 м/с (рис. 4).

5. Процедуру подбора параметров замещения осуществляют для каждого целевого горизонта индивидуально, что является отличием от классического способа замещения слоя на этапе обработки сейсмических данных. Выбирается вариант замещения, имеющий наибольший коэффициент корреляции между  $\Delta h$  (по скважинам) и  $\Delta t$  (по сейсмике) для целевого интервала (в данном примере интервал Кл–У). При вычислениях в качестве верхнего опорного горизонта используется ОГ Кл, залегающий выше интервала скоростных аномалий, а значение целевого ОГ У берется после соответствующей итерации замещения.

6. Полученные варианты  $\Delta t$  и  $t_0$  после процедуры замещения слоя могут быть применены для структурных построений или использованы для построения куба 3D, соответствующего среде после замещения аномального слоя путем сжатия-растяжения соответствующих временных интервалов с целью дальнейшего анализа полученных результатов. При этом следует отметить, что необходимо применять

способы пошагового введения поправок для последующих процедур динамической интерпретации.

В описанной технологии замещения слоя имеется ряд допущений; в частности, скорости в интервале солей приняты постоянными. Невозможность создания полноценной скоростной модели в солях обусловлена объективными причинами:

- невозможностью точно определить отметки кровли и подошвы солей в связи с отсутствием по ряду скважин данных геофизических исследований в интервале кунгура;
- очень неравномерным распределением скважин на площади исследования;
- сложным геологическим строением данного интервала (до четырех пластов солей с непредсказуемым изменением их толщины);
- неопределенностями, связанными с корреляцией ОГ Кн<sub>1</sub> и Кн<sub>2</sub>, приуроченных соответственно к кровле и подошве сульфатно-галогенной толщи.

Структурные построения, полученные с применением метода замещения слоя на площадях Бобровско-Покровского вала, подтвердили высокую эффективность метода. В пределах Новомалаховского лицензионного узла на структурных планах ОГ нижнего карбона и верхнего девона, полученных в результате переинтерпретации данных 3D-сейсморазведки с использованием метода замещения слоя, было закартировано локальное поднятие. В частности,

## GEOPHYSICAL SURVEYS

Рис. 5. Структурные карты до (А, С) и после (В, D) применения метода замещения слоя  
 Fig. 5. Depth maps before (A, C) and after (B, D) application of the layer substitution method

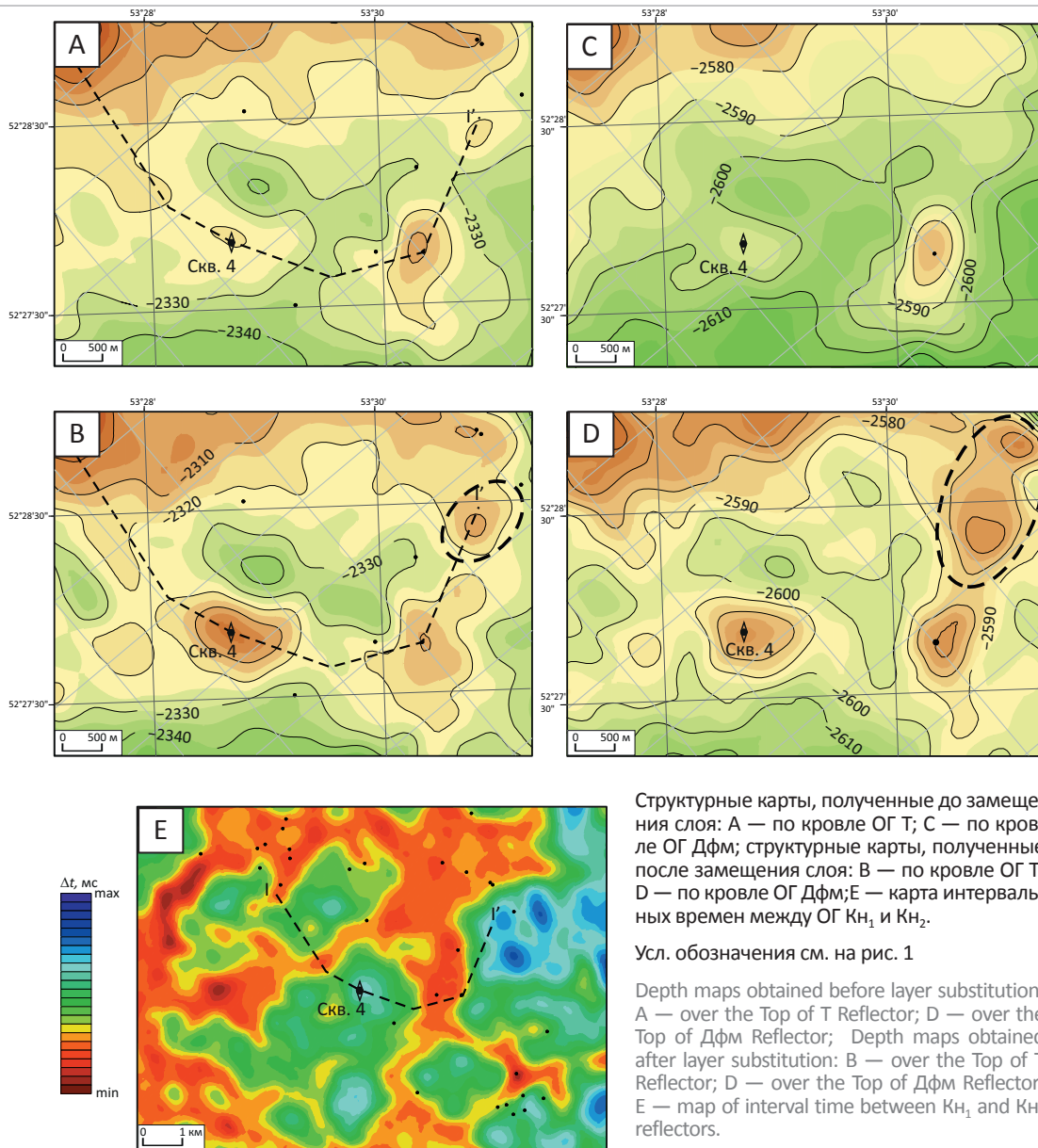
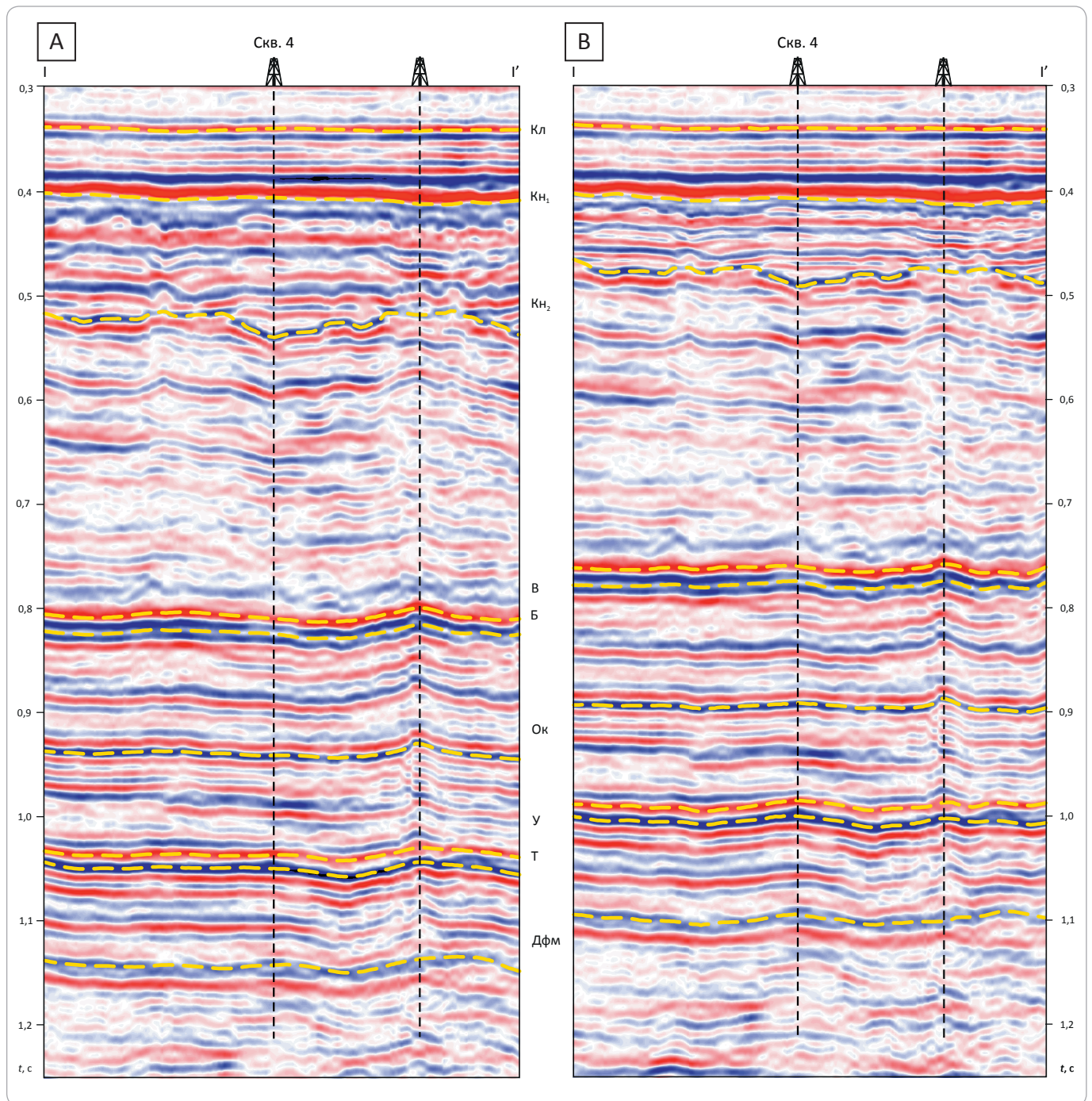


Таблица. Расхождение проектных и фактических отметок  
 Table. Difference between project and actual depth levels

Горизонт	Абсолютная отметка, м		Невязка, м
	сейсморазведка	бурение	
Скв. 4			
Бобриковский горизонт (C <sub>1</sub> bb) без метода замещения слоя	-2295	-2282,7	12,3
Бобриковский горизонт (C <sub>1</sub> bb) с методом замещения слоя	-2278,4	-2282,7	-4,3
Турнейский ярус (C <sub>1</sub> t) без метода замещения слоя	-2317,5	-2306,9	10,7
Турнейский ярус (C <sub>1</sub> t) с методом замещения слоя	-2304,3	-2306,9	-2,6
Среднефаменский ярус (D <sub>3</sub> fm <sub>2</sub> ) без метода замещения слоя	-2594,2	-2572,2	22
Среднефаменский ярус (D <sub>3</sub> fm <sub>2</sub> ) с методом замещения слоя	-2570,5	-2572,2	-1,7

Рис. 6. Вид волнового поля по линии I-I' до (А) и после (В) введения временных поправок  
 Fig. 6. Wavefield pattern along I-I' Line before (A) and after (B) time corrections



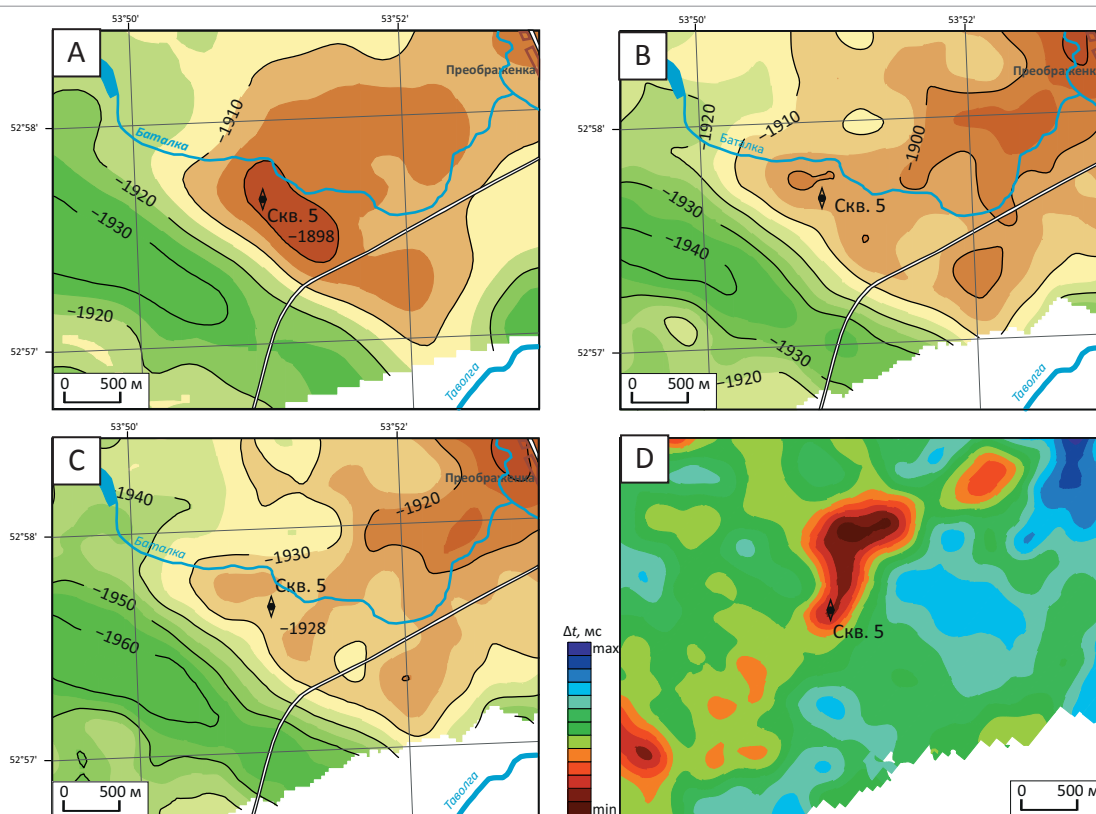
на структурной карте по кровле ОГ Дфм выделен перспективный объект, которому на структурных планах, полученных ранее по стандартной методике построений, соответствовал лишь структурный нос (рис. 5). В 2018 г. в свде локального поднятия была пробурена продуктивная поисково-оценочная скважина, с высокой точностью подтвердившая гипсометрическое положение проектных горизонтов (таблица).

Искажение волнового поля связано с локальным раздувом кунгурской толщи, сложенной преиму-

щественно низкоскоростными отложениями солей. Низкоскоростная аномалия в толще кунгура вызвала локальное увеличение времени регистрации отражений от нижележащих горизонтов, что привело к нивелированию поднятия (рис. 6). Применение метода замещения слоя (внесение временных поправок в каждую трассу сейсмического разреза) позволило сформировать геометрию ОГ, более оптимальную по сходимости времен и глубин целевых горизонтов. На выявленном таким образом локальном подня-

## GEOPHYSICAL SURVEYS

**Рис. 7.** Влияние низкоскоростной аномалии на результаты бурения скв. 5  
**Fig. 7.** Influence of low-velocity anomaly on the results of drilling Well 5



Структурные карты по кровле ОГ Т: А — без применения метода замещения слоя, В — с применением метода замещения слоя, С — составленная с учетом данных бурения скв. 5; D — карта интервальных времен между ОГ  $K_{н1}$  и  $K_{н2}$ .

Усл. обозначения см. на рис. 1

Depth maps over T Reflector Top: A — with no use of layer substitution method, B — with the use of layer substitution method, C — corrected using the data from the Well 5; D — map of interval time between  $K_{н1}$  and  $K_{н2}$  reflectors.

For other Legend items see Fig. 1

тии открыты промышленные залежи нефти в пяти из шести прогнозировавшихся пластов турне и фамена. Скважина-«первооткрывательница» запущена в работу с дебитом свыше 100 т/сут. Таким образом, залежи нефти на данном месторождении удалось обнаружить только благодаря применению метода замещения слоя; при стандартном подходе к картопостроению объект был бы пропущен. Полученные результаты являются основанием для продолжения поискового бурения в пределах участка. По мнению авторов статьи, перспективным является объект, закартированный северо-восточнее пробуренной скв. 4 (см. рис. 5).

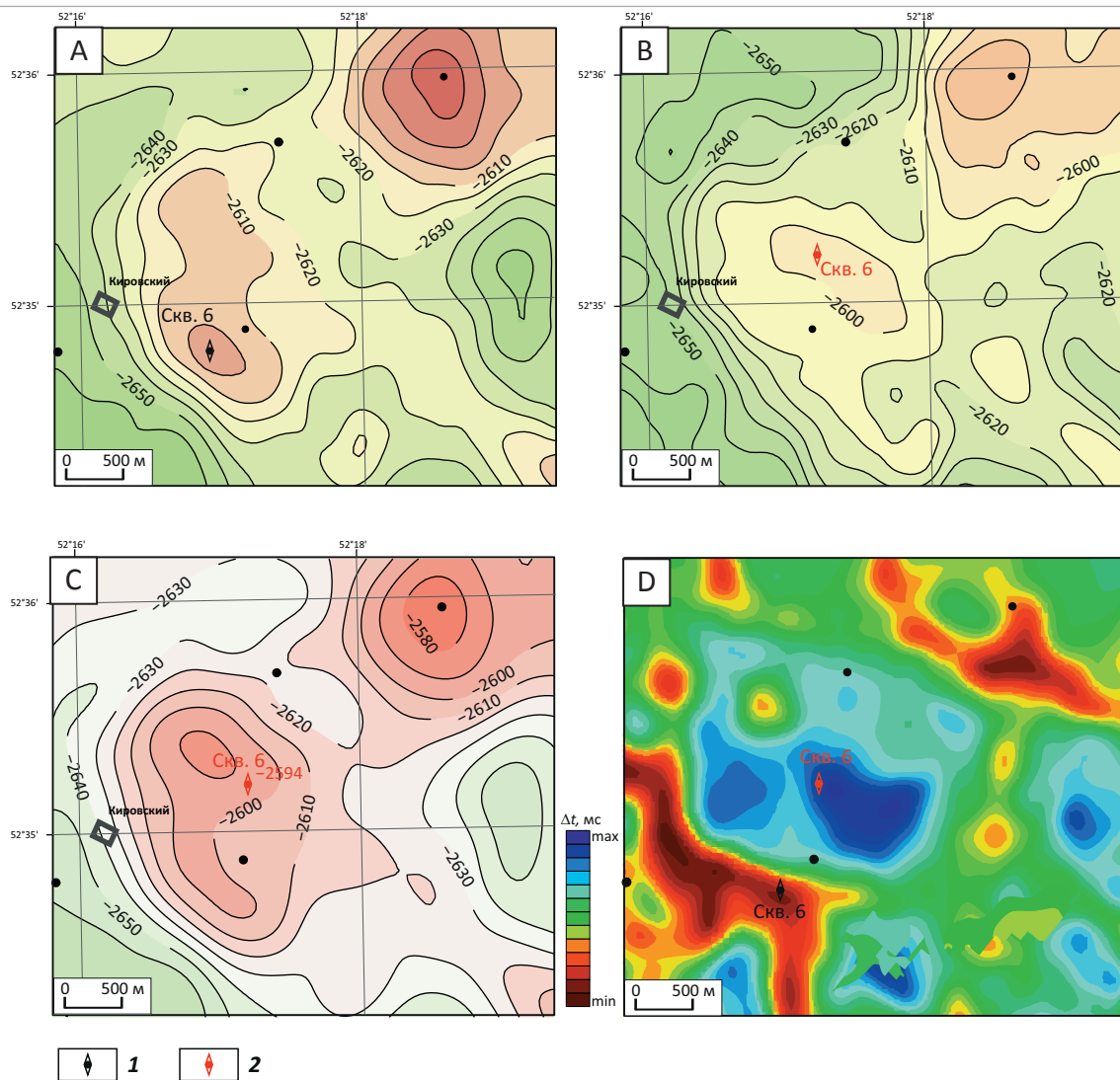
За несколько лет анализа скоростных неоднородностей в бортовых зонах Муханово-Ероховского прогиба накоплен определенный объем статистических данных по применению метода замещения слоя. В поисковой скв. 5, пробуренной в своде малоамплитудного локального поднятия, расхождение прогнозных отметок с фактическими составило около 30 м

(рис. 7). Причиной неподтверждения существования структуры стало наличие локального сокращения мощности кунгурской толщи — локальной высокоскоростной аномалии, которая вызвала затягивание волнового поля и формирование ложного временного поднятия по нижележащим отражениям. При проведении картопостроения с применением метода замещения слоя (без учета пробуренной скважины) на структурном плане данное поднятие не выявлено.

Иная картина наблюдалась при обосновании бурения поисковой скв. 6. При построениях без использования метода замещения слоя оптимальным выглядело одно местоположение. Согласно построениям по методике замещения слоя свод структуры сместился и оптимальной стала другая точка, расположенная севернее (рис. 8). Выбор был сделан в пользу построений с применением метода замещения слоя. Результаты бурения подтвердили прогнозную оценку глубины по методу замещения слоя с точностью до 1 м. Накопленная добыча нефти по скважине



**Рис. 8.** Влияние высокоскоростной аномалии на результаты бурения скв. 6  
**Fig. 8.** Influence of high-velocity anomaly on the results of drilling Well 6



Структурные карты по кровле ОГ Т: А — без применения метода замещения слоя, В — с применением метода замещения слоя; С — составленная с учетом данных бурения скв. 5; D — карта интервальных времен между ОГ Кн<sub>1</sub> и Кн<sub>2</sub>, мс.

**Проектное местоположение скв. 6 (1, 2): 1** — до замещения слоя, **2** — после замещения слоя.  
 Остальные усл. обозначения см. на рис. 1

Depth maps over T Reflector Top: A — with no use of layer substitution method, B — with the use of layer substitution method; C — corrected using the data from the Well 5; D — map of interval time between Kn<sub>1</sub> and Kn<sub>2</sub> reflectors, ms.

**Planned location of Well 6 (1, 2): 1** — before layer substitution, **2** — after layer substitution.

For other Legend items see Fig. 1

из пласта Т<sub>1</sub> составляет 36 тыс. т, текущий дебит — 16 т/сут.

Таким образом, локальные скоростные неоднородности кунгурского интервала разреза являются основной причиной искажений волнового поля и, как следствие, получения недостоверных структурных планов нижележащих ОГ. Метод замещения слоя на этапе интерпретации позволяет минимизировать влияние скоростных аномалий в перми на геомет-

рию нижележащих ОГ карбона и девона за счет введения рассчитанных статических поправок в каждую трассу сейсмического разреза.

Разработанная методика является универсальной, ее можно применять в других нефтегазоносных регионах, где развиты соляные толщи или имеются доказанные скоростные аномалии с возможностью геометризации их кровли и подошвы по данным сейсморазведки 3D.

**Литература**

1. Козырев В.С., Жуков А.П., Коротков И.П., Жуков А.А., Шнеерсон М.Б. Учет неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке. Современные технологии. – М. : Недра, 2003. – 227 с.
2. Александров А.А., Левит А.Н., Семакин Б.В. Локальные неоднородности соляных толщ в сейсморазведке. – М. : Наука, 1978. – 80 с.

**References**

1. Kozyrev V.S., Zhukov A.P., Korotkov I.P., Zhukov A.A., Shneerson M.B. Accounting for near-surface inhomogeneity in seismic exploration. Modern technologies [Uchet neodnorodnostei verkhnei chasti razreza v seismorazvedke. Sovremennye tekhnologii]. Moscow: Nedra; 2003. 227 p.
2. Aleksandrov A.A., Levit A.N., Semakin B.V. Seismic exploration: local inhomogeneities in salt formations [Lokal'nye neodnorodnosti solyanykh tolshch v seismorazvedke]. Moscow: Nauka; 1978. 80 p.

# КЛЮЧЕВОЕ СОБЫТИЕ ОТРАСЛИ: в центре внимания, в центре Москвы

НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
НЕФТЕГАЗОВЫЙ  
ФОРУМ

14–15 апреля 2020

Москва, ЦВК «Экспоцентр»

[www.oilandgasforum.ru](http://www.oilandgasforum.ru)

20-я международная выставка

**НЕФТЕГАЗ–2020**



13–16 апреля 2020

Москва, ЦВК «Экспоцентр»

[www.neftegaz-expo.ru](http://www.neftegaz-expo.ru)

НА ПРАВАХ РЕКЛАМЫ

12+

Реклама