



ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕРПОЛЯЦИИ МЕТОДОМ ОБРАТНО ВЗВЕШЕННЫХ РАССТОЯНИЙ С ЦЕЛЬЮ УЧЕТА ЛАТЕРАЛЬНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВСКРЫВАЕМОГО РАЗРЕЗА

И.Е. РОМАНЕНКО^{1,*}, П.В. ШПАКОВ¹, Н.А. ШАДЧНЕВ², В.В. ЖУК³, Н.К. КАЮРОВ³, Е.В. ШКУНОВ³

¹ ООО «НОВАТЭК НТЦ»

7, ул. Пожарных и спасателей, г. Тюмень 625031, Россия

² ПАО «НОВАТЭК»

90/2, Ленинский проспект, г. Москва 119415, Россия

³ ООО «ННТЦ»

4г, ул. Кутателадзе, г. Новосибирск 630090, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В сложных литофациальных условиях поставленные перед геонавигацией задачи требуют нового подхода к построению геологического разреза в процессе бурения. Метод должен обладать быстродействием, детальностью и возможностью гибкой настройки свойств разреза на основе поступающей в процессе бурения информации.

Цель. Применить алгоритм геологического моделирования с целью восстановления свойств разреза высокой латеральной изменчивости, обеспечивающий гибкую настройку влияния опорных скважин и требуемую скорость обновления в режиме реального времени.

Материалы и методы. За основу для решения поставленной задачи был принят математический метод обратного взвешенных расстояний (ОВР) — это тип детерминированного метода многомерной интерполяции, основанный на расчете значений в неизвестных точках с помощью средневзвешенного значения по известным точкам. Метод ОВР часто используется для интерполяции различных данных, включая температуру, концентрацию веществ и другие пространственно зависимые переменные. Применение метода позволило восстановить геологический разрез без противоречий с данными сейсмики. Итоговые материалы представлены в статье в сравнении с моделями, полученными в альтернативных специализированных программах 3D ГМ.

Результаты. Применен подход восстановления синтетического разреза вдоль фактического ствола скважины, удовлетворяющий потребностям задач геонавигации по быстродействию и детальности, а также позволяющий отразить геологическую картину, согласующуюся с априорными данными, такими как каротаж скважин окружения и сейсмические атрибуты района бурения.

Заключение. С целью нивелирования недостатков применения сеточных моделей и метода двумерного синтетического каротажа (ДСК) был применен алгоритм, позволяющий получать модель пласта вдоль интересующей горизонтальной скважины. Возможность тонкой настройки влияния опорной скважины на формирование разреза позволила учесть сейсмические данные при формировании результата моделирования. Продемонстрирована высокая сходимость моделей, построенных при помощи предложенного подхода и метода кригинга, показано приращение на реальных данных.

Ключевые слова: геонавигация, синтетический разрез, метод обратного взвешенных расстояний, моделирование геологического разреза

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Романенко И.Е., Шпаков П.В., Шадчнев Н.А., Жук В.В., Каюров Н.К., Шкунов Е.В. Геологическое моделирование в процессе бурения на основе интерполяции методом обратно взвешенных расстояний с целью учета латеральной изменчивости вскрываемого разреза. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(3):86—96. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-3-86-96> EDN: MECTLU

Статья поступила в редакцию 13.08.2025

Принята к публикации 11.09.2025

Опубликована 30.09.2025

* Автор, ответственный за переписку

GEOLOGICAL SIMULATION DURING THE DRILLING PROCESS BASED ON INTERPOLATION BY INVERSE DISTANCE WEIGHTING TO ACCOUNT FOR THE LATERAL VARIABILITY OF THE SECTION BEING DEVELOPED

ILYA.E. ROMANENKO^{1,*}, PAVEL V. SHPAKOV¹, NIKOLAY A. SHADCHNEV², VLADISLAV V. ZHUK³,
NIKITA K. KAIUROV³, EVGENIY V. SHKUNOV³

¹ ООО «NOVATEK NTC»

7, Pozharnykh i spasatelei St., Tyumen 625031, Russia

² PAO «NOVATEK»

90/2, Leninsky Prospekt, Moscow 119415, Russia

³ ООО «NNTC»

4g, Kutateladze St., Novosibirsk 630090, Russia

ABSTRACT

Background. In difficult lithological and facial conditions, the tasks of geological steering require improved approaches to constructing a geological section during drilling. The selected method should be prompt, detailed, and capable of flexible adjustment of the section properties based on information received during drilling.

Aim. To apply a geological simulation algorithm to reconstruct the properties of a section with a high lateral variability, enabling flexible adjustment of test wells and the required update rate in real time.

Methods. The problem was solved using the mathematical method of inverse distance weighting (IDW), i.e., a type of deterministic multivariate interpolation based on calculating values at unknown points using a weighted average of known points. The IDW method is effectively used to interpolate diverse data sets, including temperature, substance concentration, and other spatially dependent variables. This method was used to reconstruct the geological section under study without conflicting with seismic data. The results were compared with those obtained by alternative specialized 3D geophysical simulation programs.

Results. The approach of reconstructing a synthetic section along the actual wellbore was used. This approach meets the requirements of geological steering in terms of promptness and detail, providing a geological picture consistent with such a priori data as wellbore logs of the surrounding area and seismic attributes of the drilling area.

Conclusion. To mitigate the shortcomings of grid models and the DSC method, we used an algorithm to develop a reservoir model along the horizontal well of interest. The possibility of adjusting the influence of the test well during section formation allowed seismic data to be taken into account in the simulation process. High convergence of models constructed using the proposed approach and the kriging method is demonstrated, and their application to real data is demonstrated.

Keywords: geological steering, synthetic section, inverse distance weighting, geological section simulation

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Funding: the study received no external funding.

For citation: Romanenko I.E., Shpakov P.V., Shadchnev N.A., Zhuk V.V., Kaiurov N.K., Shkunov E.V. Geological simulation during the drilling process based on interpolation by inverse distance weighting to account for the lateral variability of the section being developed. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(3):86—96. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-3-86-96> EDN: [MECTLU](#)

Manuscript received 13 August 2025

Accepted 11 September 2025

Published 30 September 2025

* Corresponding author

При разработке нефтяных и газовых месторождений активно применяется бурение горизонтальных скважин (ГС) со средней длиной горизонтальных участков скважин, предназначенных для вскрытия продуктивных пластов, от 500 до 2000 м. Как правило, сейсмогеологические модели, которые используются для первоначального планирования траекторий ГС, не обладают достаточной точностью, которая бы позволила пробурить ГС без корректировок профиля в процессе бурения. Это обусловлено относительно низким разрешением трехмерных геологических моделей, целью которых является в первую очередь оценка геологических ресурсов и запасов с последующим формированием гидродинамической модели для планирования системы разработки.

С целью максимизации дебита из пробуренной скважины и полноты вскрытия нефте- или газонасыщенного коллектора применяется геонавигация. Процесс геонавигации заключается в анализе данных геофизических исследований скважин (ГИС), поступающих в процессе бурения, определении относительного положения скважины в геологическом разрезе и корректировке профиля скважины.

Одним из основных и распространенных методов геонавигации является метод двумерного синтетического каротажа (ДСК). Разрез наполняется свойствами одной опорной скважины. На основании этих свойств снимаются синтетические каротажы для сопоставления с фактическими данными и настройки структурных изменений. Метод хорошо работает в случае, если свойства пласта однородны по простиранию.

Процесс освоения месторождения неизменно приводит к тому, что геологические задачи на проводку скважин усложняются. Осваиваются более рискованные области месторождения. Бурение ведется на периферии месторождения, на пласты

с существенной латеральной изменчивостью, в обособленных линзах-ловушках, где задачей может быть поставлено вовлечение нескольких потенциально перспективных геологических тел. В описанных выше условиях применение метода ДСК затрудняет геологическое представление о разрезе и понимание положения скважины в стратиграфии.

Использование метода ДСК ввиду построения модели только по одной опорной скважине влечет за собой следующие значимые проблемы:

- отсутствие целостного представления о разрезе при бурении в отложениях с постепенной латеральной изменчивостью;
- настройка синтетического каротажа на фактический может привести к ошибочным выводам о залегании пласта;
- сложности с определением момента изменения одной опорной скважины на другую в процессе геонавигации.

Несмотря на обозначенные проблемы, метод ДСК имеет наибольшее распространение и реализован в подавляющем большинстве программных продуктов для геонавигации по причине высокой скорости работы, что является важным фактором в связи с оперативным характером работ по геонавигации.

Ограничения метода ДСК могут быть сняты путем использования полноценных трехмерных геологических моделей, построенных с участием всех скважин, вскрывших необходимый пласт. Но, в свою очередь, такая методика имеет следующие ограничения:

- значительная трудоемкость первоначального создания расчетных алгоритмов для построения модели;
- низкая скорость непосредственного расчета модели необходимой детализации;
- низкая дискретность получаемого синтетического каротажа ввиду применения сетки для моделирования;

• необходимость компетенций как в сейсмогеологическом моделировании, так и в бурении и интерпретации данных ГИС.

С целью нивелирования недостатков метода ДСК авторами статьи был применен алгоритм, позволяющий производить моделирование геологического разреза в пласте вдоль интересующей траектории горизонтальной скважины на основе геолого-геофизических данных опорных скважин, расположенных в районе бурения ГС. Преимущества подхода:

- предложенное решение основано на использовании свойств нескольких опорных скважин;
- обеспечено быстрое обновление модели для работы в реальном времени за счет того, что расчет поля значений ведется только в координатах разреза текущей скважины;

• программная реализация метода дает высокую детализацию синтетических каротажей, сопоставимую с данными реального времени;

• реализована настройка влияния скважины на формирование свойств получаемой модели, что дает возможность учитывать сейсмические атрибуты.

Описание алгоритма

Для решения поставленной задачи был использован метод обратно взвешенных расстояний (ОВР) — тип детерминированного метода многомерной интерполяции, основанный на расчете значений в неизвестных точках с помощью средневзвешенного значения по известным точкам. Предлагается искать значения поля $G(x, y, h)$ с помощью интерполяции обратно взвешенных расстояний (ОВР) [4]:

$$G(x, y, h) = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^N w_i G_i(x_i, y_i, h_i)}{\sum_{i=1}^N w_i}, & \text{если } d(x, y, h, x_i, y_i, h_i) \neq 0 \text{ для всех } i \\ G_i(x_i, y_i, h_i), & \text{если } d(x, y, h, x_i, y_i, h_i) = 0 \text{ для всех } i \end{cases}, \quad (1)$$

где $G_i(x_i, y_i, h_i)$ — значения свойства опорных скважин, $d(x, y, h, x_i, y_i, h_i)$ — расстояние от исследуемой точки до опорной скважины, x, y — координаты горизонтальной скважины, x_i, y_i — координаты опорных скважин, h и h_i высоты на одинаковых уровнях между опорными скважинами и интервалом пласта (рис. 1), w_i — вес, определяемый следующим образом:

$$w_i = \frac{1}{d(x, y, h, x_i, y_i, h_i)^p}, \quad (2)$$

где p — степень влияния расстояния до опорных скважин.

Для нахождения расстояния $d(x, y, h, x_i, y_i, h_i)$ необходимо провести нормализацию глубин опорных

скважин и интервала вдоль пласта к отрезку $[0, 1]$ в тех координатах (x, y) , в которых происходит поиск значения поля. Нормализованные глубины разделяются на равные отрезки для сохранения корреляции между данными (рис. 2), после определяется расстояние $d(x, y, h, x_i, y_i, h_i)$.

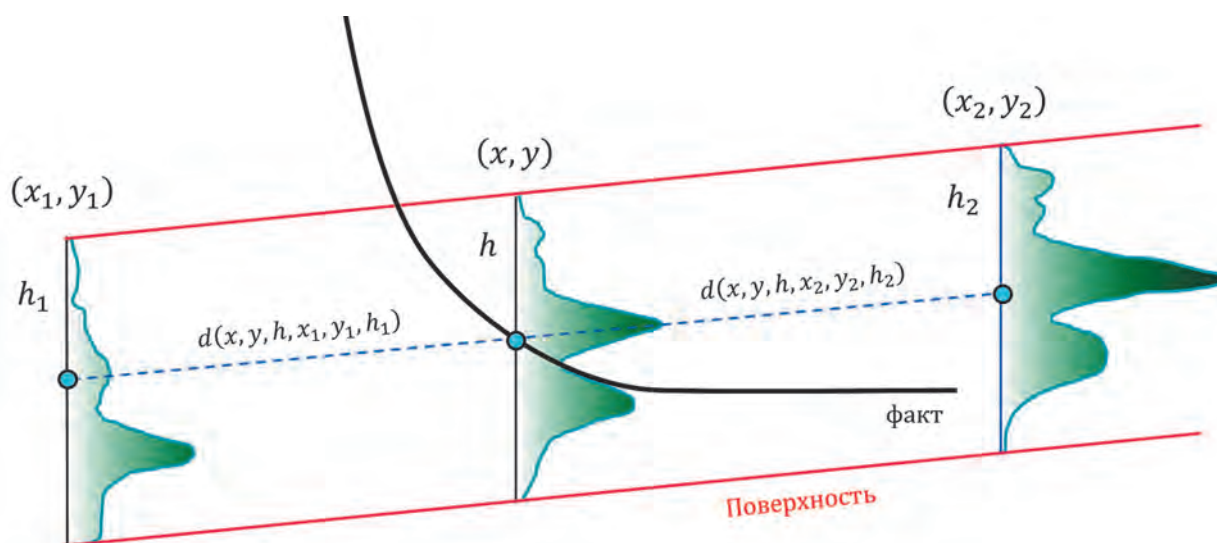


Рис. 1. Входные параметры

Fig. 1. Input parameters

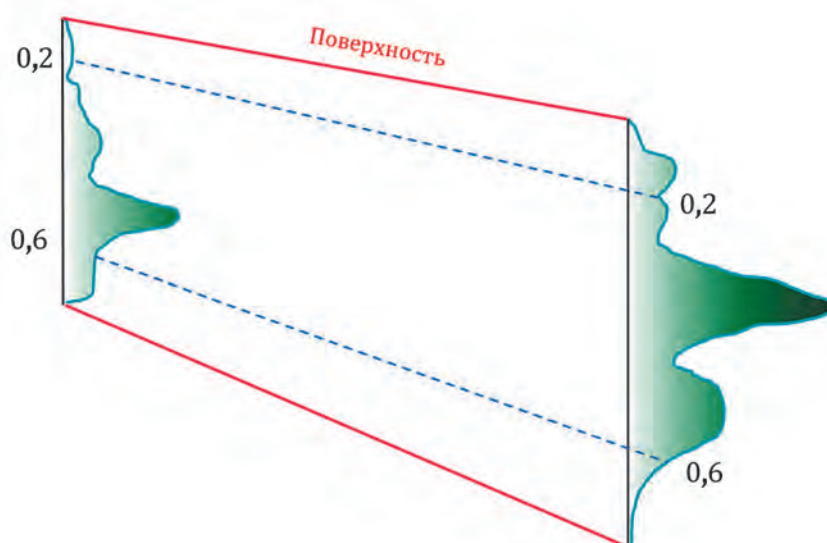


Рис. 2. Разделение глубин на равные отрезки
Fig. 2. Dividing depths into equal segments

Необходимо отметить, что поле $G(x, y, h)$ может быть представлено как функция координат (x, y, h) , таким образом, реализуется свободная сетка. Следовательно, поле может быть сгенерировано без привязки к сетке, а значит, можно находить значения поля не во всей области, а только вдоль интересующего разреза (апсидальной плоскости горизонтальной скважины), при этом данные опорных скважин, участвующих в моделировании, будут учтены [2].

Для сравнения результатов построения разреза по предложенной методике в одном из пакетов для геологического моделирования была построена сеточная модель. Для распространения поля гамма-активности (данных гамма-каротажа (ГК)) был применен метод кригинга [2]. В качестве входных данных для обеих моделей были заданы каротажные данные по 3 вертикальным скважинам. На рисунке 3а приведен разрез, полученный по описываемой методике, на рисунке 3б — разрез, полученный методом кригинга. Синтетический каротаж, полученный вдоль траектории выбранной скважины, по обоим моделям имеет высокую сходимость. Стоит отметить, что кривая, полученная из разреза, имеет непрерывный характер в отличие от кривой из сеточной модели.

Для более корректного и детального сравнения синтетических кривых на построенном разрезе была выбрана точка, через которую была проведена синтетическая вертикальная скважина, в которой получено вертикальное распространение прогнозных геолого-геофизических свойств по двум моделям.

При сравнении была отмечена устойчивая корреляция между прогнозными геофизическими свойствами поля в межскважинном пространстве (рис. 4).

Еще один пример сравнения построений наглядно показывает хорошую сходимость результатов и детальность построений при использовании предложенного метода в сравнении с реализацией в программе геологического моделирования (рис. 5). На рисунке 5а приведен разрез, полученный методом кригинга, на рисунке 5б — разрез, полученный по используемой методике.

Апробация

Программная реализация метода позволила строить разрезы высокой дискретности и протестировать алгоритм на реальных данных.

В качестве примера рассмотрим скважину с горизонтальным участком длиной около 1500 м. Выбранная скважина имеет латеральное изменение свойств, что приводит к хорошей корреляции с опорной скважиной только в первой половине скважины, а далее латеральные фациальные изменения разреза вынуждают перейти на опорную скважину № 2. Для сравнения произведены настройки геонавигационных моделей с использованием метода ДСК с переходом от одной к другой опорной скважине (рис. 6а) и настройка, использующая модель, построенную по описанном выше алгоритму по двум опорным скважинам, которые расположены в районе бурения ГС (рис. 6б). В обоих случаях для моделирования использовались данные гамма-каротажа.

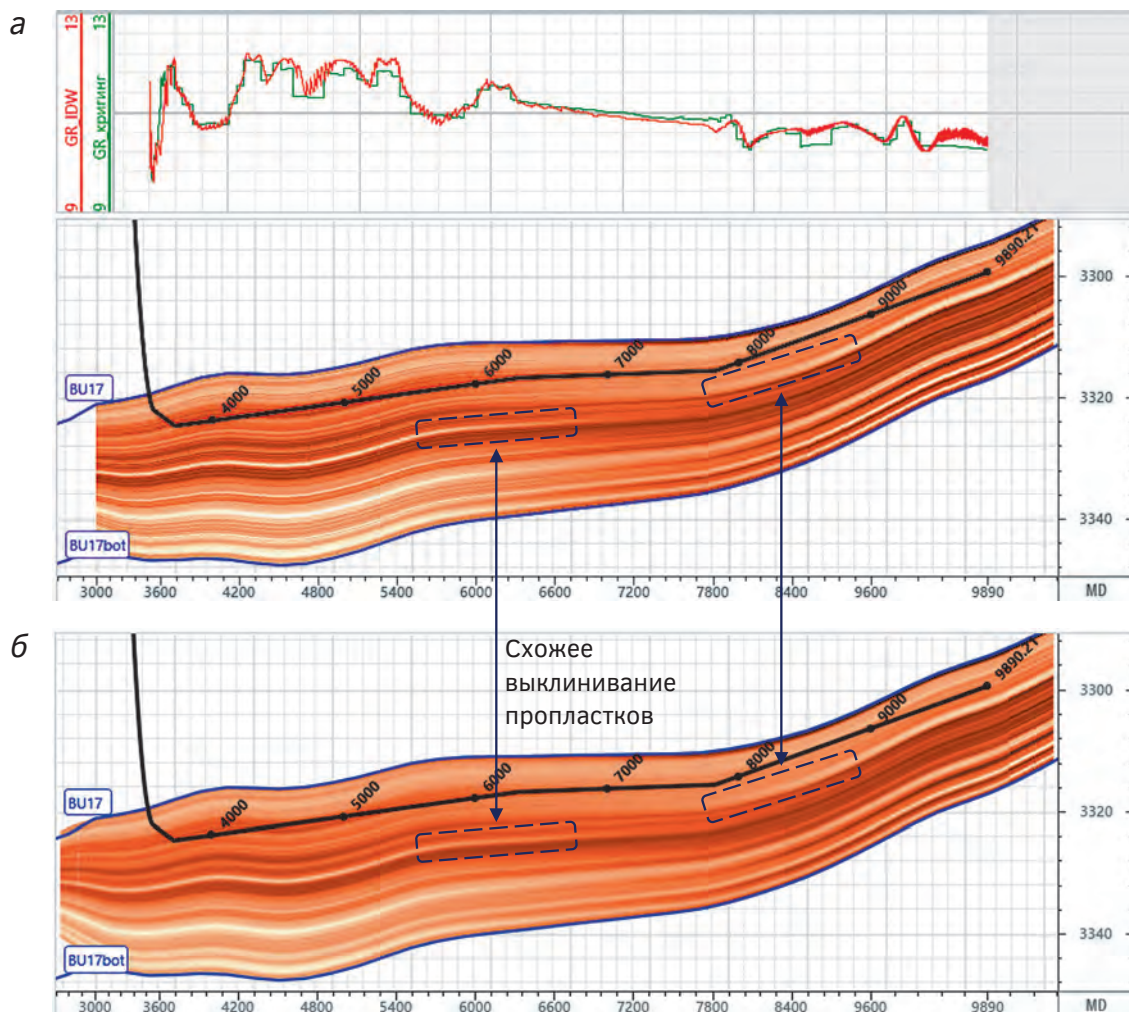


Рис. 3. Модель поля гамма-активности: а — используемый алгоритм; б — сеточная модель — метод кригинга
 Fig. 3. Model of the gamma activity field: a — the algorithm used; б — grid model — the kriging method

Рассматриваемая ГС имеет синусоидальный профиль и пересекает разрез пласта от кровли до подошвы и обратно. Исходя из анализа фактических данных ГК можно отметить, что во вскрытом разрезе отмечается резкая латеральная изменчивость, так как показания ГК в первой и второй половинах горизонтального участка разнятся. Наблюдается хорошая корреляция синтетического и фактического каротажа примерно до середины ГС при бурении вниз (глубина 3100 м). При бурении вверх корреляция с фактическим каротажем отсутствует, имеет место латеральное изменение свойств, и, только изменив опорную скважину, удастся получить приемлемое сопоставление свойств во второй части разреза.

Как можно увидеть на представленных выше примерах, использование модели, отражающей пространственную изменчивость пласта,

позволяет получить плавное изменение свойств в заданной оператором стратиграфии, добиться хорошей корреляции разреза на всей протяженности разреза без резкой точки перехода и уверенно восстановить структурные изменения.

Стоит отметить, что использованный метод отвечает высоким требованиям к быстродействию при проведении работ по геонавигации, расчет одной итерации модели занимает 5—10 секунд. В то время как расчет секторной модели в пакетах для трехмерного геологического моделирования может занимать до 5 минут.

Рассмотрим другой пример, показывающий восстановление свойств с использованием предложенного подхода, способного повлиять на принятие решения во время бурения и уверенно восстановить структурные изменения в сложных геологических условиях, где имеет место

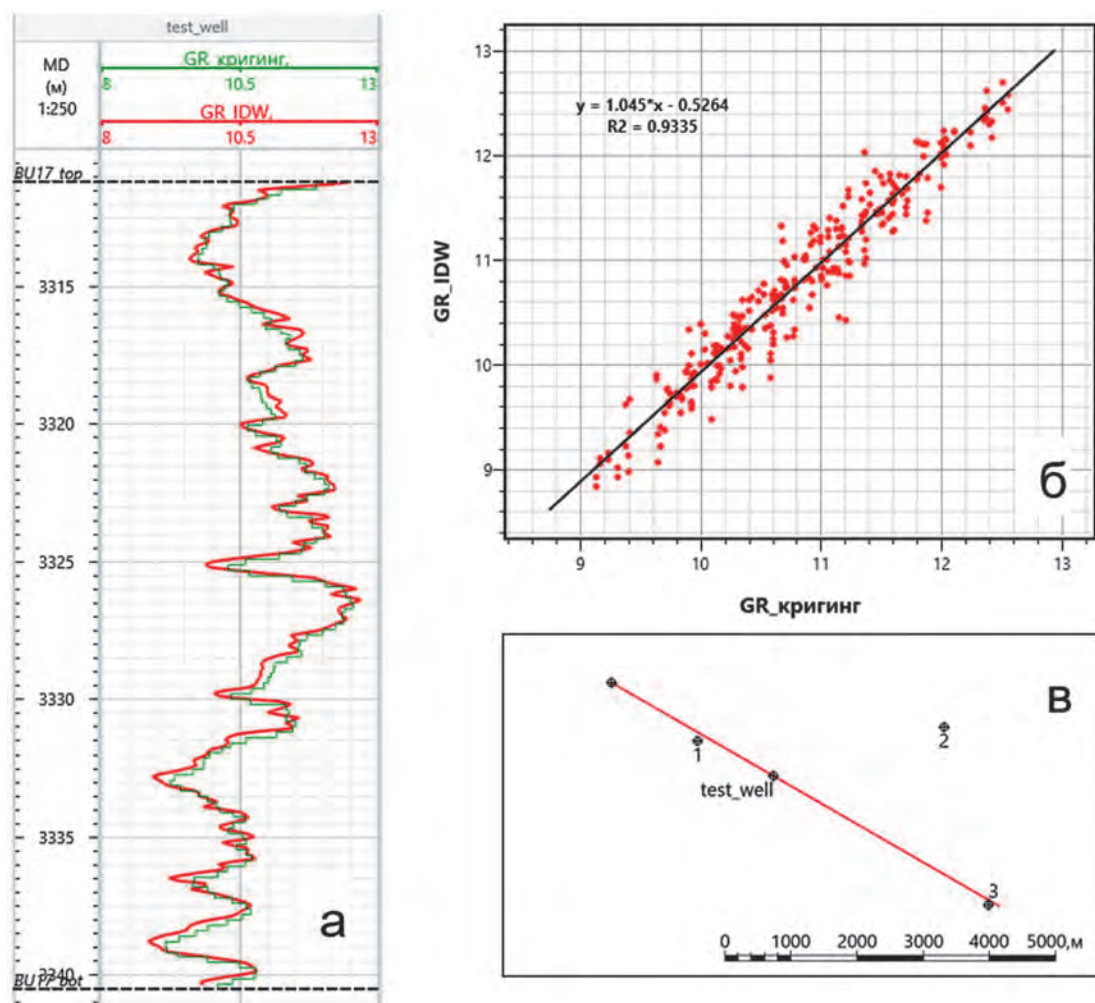


Рис. 4. Сопоставление синтетических кривых на искусственной вертикальной скважине: а — сопоставление синтетических данных ГК по глубине; б — корреляция между синтетическими данными ГК; в — пространственное положение синтетической скважины

Fig. 4. Comparison of synthetic curves on an artificial vertical well: а — comparison of synthetic GC data by depth; б — correlation between synthetic GC data; в — spatial position of the synthetic well

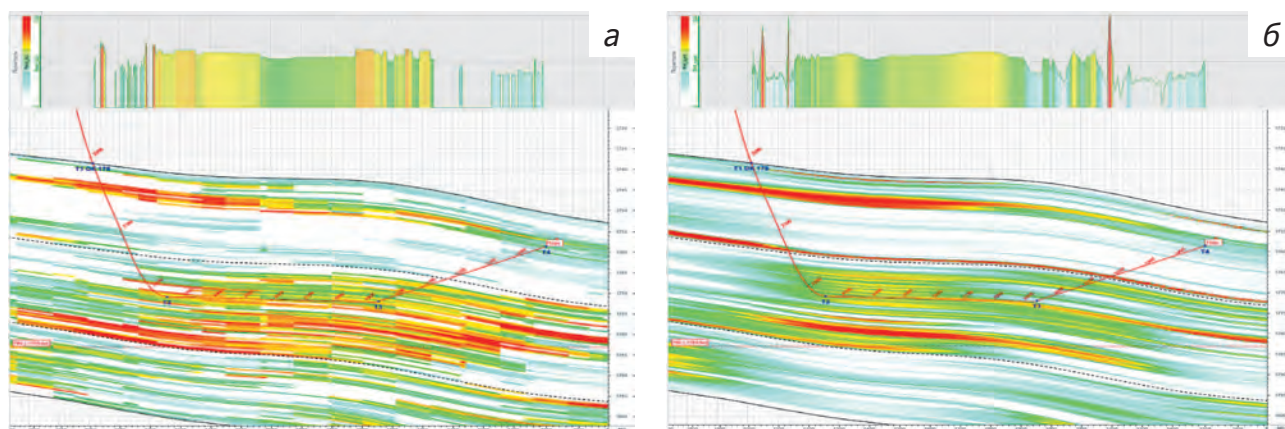


Рис. 5. Модель поля пористости: а — разрез, полученный методом кригинга; б — разрез, полученный по используемой методике

Fig. 5. Model of the porosity field: а — section obtained by the kriging method, б — section obtained by the method used

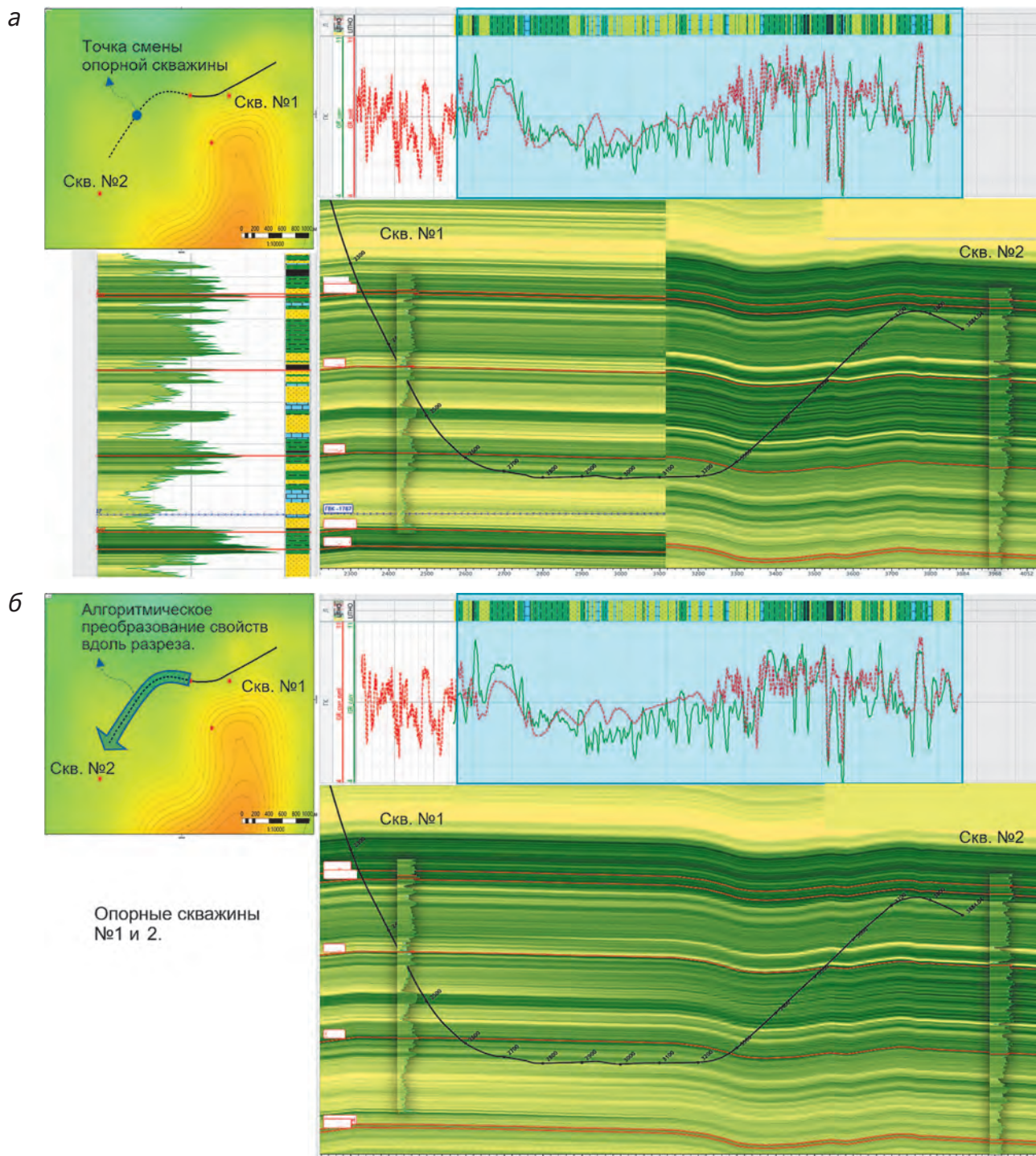


Рис. 6. Сопоставление моделей геонавигации: а — ДСК; б — используемый алгоритм
Fig. 6. Comparison of geosteering models: а — DSC; б — the algorithm used

выклинивание линз и существенная изменчивость пласта. Во время бурения было принято решение о вскрытии разреза ниже по стратиграфии, что позволило вовлечь в разработку коллекторы нижней линзы (рис. 7).

Рассмотрим еще один интересный пример проводки ГС через локализованные каналы руслового комплекса (рис. 8).

После потери коллектора на глубине 2700 м дальнейшее бурение велось в глинах до глубины

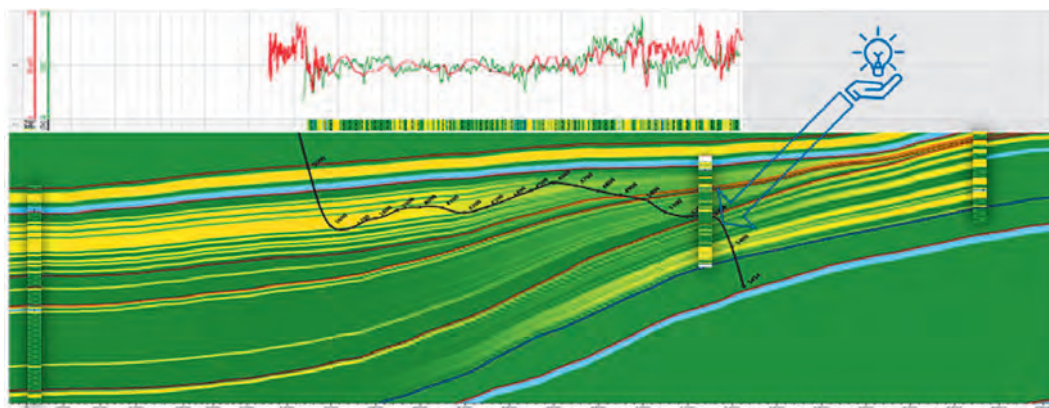


Рис. 7. Пример восстановления свойств разреза в условиях линзового строения дельтового комплекса
Fig. 7. An example of restoration of the properties of a section under conditions of the lens structure of a delta complex

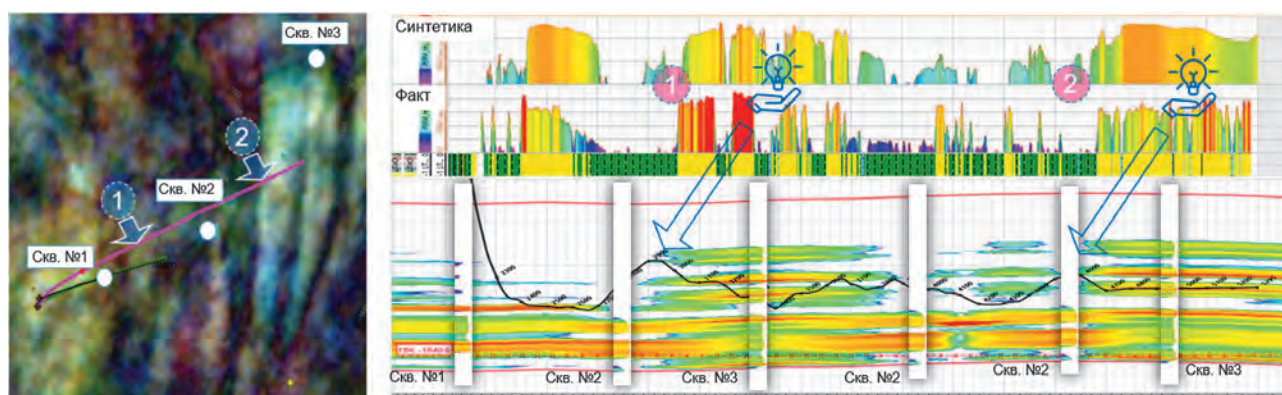


Рис. 8. Пример восстановления свойств разреза в условиях локализованных каналов руслового комплекса
Fig. 8. Example of restoration of section properties in conditions of localized channels of the channel complex

2900 м. Несмотря на потерю эффективной проходки, бурение продолжено. Решение было основано на данных сейсмического атрибута спектральной декомпозиции, на котором прослеживались перспективные объекты аккреционного комплекса. Использование скважин окружения, проходящих через русловые тела и скважин, не попавших в перспективные зоны, позволило восстановить ожидаемый разрез с прогнозом свойств.

В точке № 2 скважины было принято решение об удлинении с целью вовлечения перспективных объектов. Это позволило приобщить в разработку песчаное тело, вскрытое вертикальной скважиной № 3. Учет свойств и положения русловых объектов позволил восстановить достоверный разрез и свойства пласта.

Заключение

Для повышения эффективности геонавигации при бурении ГС в разрезах с постепенной

латеральной изменчивостью необходимо учитывать данные всех опорных скважин в районе бурения. С целью нивелирования недостатков применения сеточных моделей и метода ДСК был применен алгоритм моделирования, позволяющий получать модель пласта вдоль интересующей ГС. Возможность тонкой настройки влияния опорной скважины на формирование разреза позволила учесть сейсмические данные при формировании результата моделирования. На реальных данных продемонстрирована высокая сходимость моделей, построенных при помощи описанного алгоритма и метода кригинга.

Сочетание примененного подхода с возможностями модуля геонавигации программного комплекса Darcy [3] позволило создать удобный инструмент для решения задач геонавигации, учитывающий все особенности пространственного распределения свойств в геологическом разрезе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дэвис Дж.С.. Статистический анализ данных в геологии. Под ред. Родионов Д.А. М.: Недра, 1990. 319 с.
2. Исмагилов Н.С., Мухамадеев Д.С. Применение трехмерных спектральных моделей для геологического сопровождения бурения. Нефтяное хозяйство. 2018. № 7. С. 70—73. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-7-70-73. EDN: XTUIUP.
3. Каюров Н.К. и др. Программная реализация для проведения интегрированных расчетов при сопровождении бурения. Нефть. Газ. Новации. 2021. № 4. С. 44—47.
4. Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference. 1968. С. 517—524.

REFERENCES

1. Davis J.S. Statistical analysis of data in geology. Ed. Rodionov D.A. Moscow: Nedra, 1990. 319 p. (In Russ.).
2. Ismagilov N.S., Mukhamadeev D.S. Application of three-dimensional spectral models for geological support of drilling. Oil industry. 2018. No. 7. P. 70—73 (In Russ.). DOI: 10.24887/0028-2448-2018-7-70-73. EDN XTUIUP
3. Kayurov N.K., et al. Software implementation for integrated calculations during drilling support. Oil. Gas. Innovations. 2021. No. 4. P. 44—47 (In Russ.).
4. Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference. 1968. P. 517—524.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Романенко И.Е. — разработал и применил концепцию, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Шпаков П.В. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Шадчнев Н.А. — внес ключевые правки и предложения, указал приоритетные цели и задачи статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Жук В.В. — реализовал предложенный подход в программном обеспечении, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Каюров Н.К. — подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Шкунов Е.В. — подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Romanenko I.E. — developed and applied the concept, prepared the text of the article, gave final approval to the published version of the article. Agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Shpakov P.V. — developed the concept and prepared the text of the article, gave final approval to the published version of the article. Agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Shadchnev N.A. — made key edits and suggestions, indicated the priority goals and objectives of the article, gave final approval to the published version of the article. Agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Zhuk V.V. — embodied the proposed approach in software and prepared the text of the article, gave final approval to the published version of the article. Agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Kayurov N.K. — prepared the text of the article, gave final approval to the published version of the article. Agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Shkunov E.V. — prepared the text of the article, gave final approval to the published version of the article. Agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Романенко Илья Евгеньевич* — главный специалист отдела геонавигации ООО «НОВАТЭК НТЦ». 7, ул. Пожарных и спасателей, г. Тюмень 625031, Россия
e-mail: Ilya.Romanenko@novatek.ru
SPIN-код: 6083-7563
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4115-4684>

Жук Владислав Витальевич — геофизик ООО «ННТЦ». 4г, ул. Кутателадзе, г. Новосибирск 630090, Россия
e-mail: vzhuk@nntc.pro
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8976-107X>

Шкунов Евгений Викторович — руководитель геологического отдела, ООО «ННТЦ». 4г, ул. Кутателадзе, г. Новосибирск 630090, Россия
e-mail: eshkunov@nntc.pro
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8686-0938>

Шпаков Павел Владимирович — главный технолог проекта, Департамент геологии и разработки, ООО «НОВАТЭК НТЦ». 7, ул. Пожарных и спасателей, г. Тюмень 625031, Россия
e-mail: Pavel.Shpakov@novatek.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7596-0679>

Шадчнев Николай Александрович — начальник управления, Департамент разработки месторождений ПАО «НОВАТЭК». Ленинский проспект, 90/2, Москва, 119415
e-mail: nikolay.shadchnev@novatek.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8429-9619>

Каюров Никита Константинович — технический директор, ООО «ННТЦ». 4г, ул. Кутателадзе, г. Новосибирск 630090, Россия
e-mail: nkayurov@nntc.pro
SPIN-код: 7233-1448
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8527-2802>

Ilya E. Romanenko* — Chief Specialist of the Geonavigation Department of NOVATEK NTC LLC 7, Pozharnykh i spasateley str., Tyumen 625031, Russia
e-mail: Ilya.Romanenko@novatek.ru
SPIN-code: 6083-7563
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4115-4684>

Vladislav V. Zhuk — geophysicist, NNTC LLC. 4g, Kutateladze St., Novosibirsk 630090, Russia
e-mail: vzhuk@nntc.pro
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8976-107X>

Evgeniy V. Shkunov — Head of Geological Department, NNTC LLC. 4g, Kutateladze St., Novosibirsk 630090, Russia
e-mail: eshkunov@nntc.pro
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8686-0938>

Pavel V. Shpakov — Chief Project Technologist, Department of Geology and Development, NOVATEK NTC. 7, Pozharnykh i spasateley str., Tyumen 625031, Russia
e-mail: Pavel.Shpakov@novatek.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7596-0679>

Nikolay A. Shadchnev — Head of Department, Field Development Department, NOVATEK. 90/2 Leninsky Prospekt, Moscow, 119415
e-mail: nikolay.shadchnev@novatek.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8429-9619>

Nikita K. Kayurov — Technical Director, NNTC LLC. 4g, Kutateladze St., Novosibirsk 630090, Russia
e-mail: nkayurov@nntc.pro
SPIN-code: 7233-1448
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8527-2802>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author