

ОСОБЕННОСТИ ПОДХОДА К ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКЕ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЯСОВ РУСЛОФОРМИРОВАНИЯ НА СЕВЕРЕ ТАЗОВСКОГО ПОЛУОСТРОВА

© Коллектив авторов,
2024



**И.И. Алехин¹, А.С. Мещерякова^{1,2}, И.А. Переpletкин^{1,2,*}, М.Ю. Орешкова¹,
К.С. Тельнова¹**

¹Группа компаний «Газпром нефть», РФ, Санкт-Петербург

²Новосибирский государственный университет, РФ, Новосибирск

Электронный адрес: ProNeft@gazprom-neft.ru

Введение. В последние годы в процессе геолого-разведочных работ (ГРП) на нефть и газ фокус смещается в сторону уточнения геологического строения и ресурсного потенциала сложнопостроенных резервуаров континентального генезиса. Примером подобного рода объектов являются отложения тюменской свиты, коллекторы которых отличаются слабой выдержанностью, а также высокой степенью неоднородности.

Цель работы: показать результаты экспериментального подхода к вероятностной оценке ресурсного потенциала поясов руслоформирования с учетом концептуальных особенностей геологического строения.

Материалы и методы. В настоящей работе представлено описание методики оценки эффективных толщин, основанной на комплексном анализе геолого-геофизических данных, с акцентом на анализ пространственного строения тел на седиментационных слайсах с учетом их концептуального строения.

Результаты. В работе выполнен многовариантный расчет карт эффективных толщин в соответствии с разработанной методикой учета дифференциации русловых тел по разрезу, с привлечением параметра «объекто-слайсов». Также проведено сравнение полученных авторами результатов с оценкой эффективных толщин русел по морфометрическому анализу. Отмечается высокое сходжение прогнозных значений по двум разным методикам.

Заключение. Учет фациального районирования с привлечением детального анализа седиментационных слайсов в процессе оценки позволил получить корректный прогноз эффективного объема коллекторов, что позволяет более точно планировать потенциальные области поисково-оценочного бурения при формировании программы ГРП на участке.

Ключевые слова: многовариантные расчеты, юрские отложения, русловые фации, вероятностная оценка, Тазовский полуостров

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Алехин И.И., Мещерякова А.С., Переpletкин И.А., Орешкова М.Ю., Тельнова К.С. Особенности подхода к вероятностной оценке ресурсного потенциала поясов руслоформирования на севере Тазовского полуострова. ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2024;9(4):15–29. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-4-15-29>

Статья поступила в редакцию 10.07.2024

Принята к публикации 16.08.2024

Опубликована 27.12.2024

RESERVES PROBABILISTIC ASSESSMENT APPROACH FOR FLUVIAL UPPER-MIDDLE JURASSIC
DEPOSITS IN THE NORTHERN PART OF TAZOVSKY PENINSULA

**Ilya I. Alekhin¹, Anastasiia S. Meshcheryakova^{1,2}, Ivan A. Perepletkin^{1,2,*}, Mariia Yu. Oreshkova¹,
Kseniia S. Telnova¹**

¹Gazprom oil company group, RF, Saint Petersburg

²Novosibirsk State University, RF, Novosibirsk

E-mail: ProNeft@gazprom-neft.ru

Introduction. In recent years, oil & gas exploration process focus has shifted towards clarifying the geological structure & resource potential of complex reservoirs. An example of these object types is Tyumen formation characterized by weak consistency, as well as a high heterogeneity and contrast properties.

Aim. The aim is to develop an experimental approach of the resource potential probabilistic assessment of channel geobodies, considering the conceptual features.

Materials and methods. This paper describes a methodology for estimating effective thicknesses based on a comprehensive analysis of G&G data with an emphasis on the bodies' spatial structure analysis, considering the conceptual structure differentiation.

Results. Multivariate calculation of effective thickness maps was performed in accordance with the developed methodology for considering the channel bodies' differentiation. The results obtained were also compared with

the assessment of effective channel thicknesses by morphometric analysis, and a high convergence of forecast values was noted using two different methods.

Conclusion. Considering facies zoning with the involvement of sedimentation slices detailed analysis in the assessment process allowed us to obtain a correct effective volume forecast, in order to accurately plan perspective appraisal drilling.

Keywords: multi-realization calculations, Jurassic deposits, fluvial deposits, probabilistic assessment, Tazovsky peninsula

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

For citation: Alekhin I.I., Meshcheryakova A.S., Perepletkin I.A., Oreshkova M.Yu., Telnova K.S. Reserves probabilistic assessment approach for fluvial upper-middle Jurassic deposits in the northern part of Tazovsky peninsula. PRONEFT. Professionally about oil. 2024;9(4):15–29. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-4-15-29>

Manuscript received 10.07.2024

Accepted 16.08.2024

Published 27.12.2024

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в процессе геолого-разведочных работ (ГРП) на нефть и газ фокус смещается в сторону уточнения геологического строения и ресурсного потенциала сложно-построенных резервуаров континентального генезиса [1]. Примером подобного рода объектов являются среднеюрские отложения тюменской свиты [2].

Коллекторы тюменской свиты отличаются слабой выдержанностью по латерали и по вертикали, а также высокой степенью неоднородности. Это объясняется тем, что на процесс осадконакопления влияет комплекс факторов, таких как различная геометрия русел и их конфигурация, скорость течения, зернистость материала и т.д. В русловых отложениях имеет место неопределенность по геологическому

Мелкозернистые отложения переносятся на достаточно большие расстояния, а также, под влиянием поперечных течений, могут быть перенесены к противоположному берегу, в то время как наиболее крупнозернистые отложения подвержены лишь влиянию сильного течения, в областях выполаживания рельефа осаждаются. Как следствие, имеет место неоднородное осадконакопление на противоположных берегах, из-за чего определение опесчаненных и заглинизированных участков в пределах русловых долин затруднено. Таким образом, вышеперечисленный комплекс факторов приводит к крайне неравномерному распределению песчаных и глинистых отложений в пределах русла [4].

Концептуальные особенности осадконакопления русловых отложений тюменской свиты влекут за собой не только риски при прогнозировании коллектора и оценке ресурсного потенциала, но и при подборе параметров разработки. Это связано со сложностью прогноза фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) коллекторов, низкой продуктивностью, высоким риском отсутствия связи между добывающими и нагнетательными скважинами, неполным вовлечением запасов в разработку и, как следствие, высокой вероятностью получения нерентабельных значений накопленной добычи на скважину [5].

Изучение геологического строения и дальнейший процесс подготовки программы ГРП (в частности, поиск зон для поисково-разведочного бурения) на отложения данного генезиса достаточно проблематичны. Ввиду крайне высокой литологической изменчивости, уплотнение сетки скважин практически не снимает большинство геологических рисков. Следовательно, наиболее эффективный инструмент для прогноза свойств и перспектив — это динамическая интерпретация

ПРЕДЛАГАЕМАЯ МЕТОДИКА С ПОСТРОЕНИЕМ КАРТЫ ТРЕНДА ЧЕРЕЗ КАРТУ «ОБЪЕКТОВ-СЛАЙСОВ» ПОЗВОЛЯЕТ БОЛЕЕ ТОЧНО ВЫПОЛНЯТЬ ПРОГНОЗ ЭФФЕКТИВНОГО ОБЪЕМА КОЛЛЕКТОРОВ В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ.

строению на микроуровне, а именно преобладание песчаных или глинистых отложений [3]. Дополнительный фактор, влияющий на неоднородность геологического строения — это изменчивый рельеф на момент осадконакопления, что приводит к вариативности фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) в пределах одного и того же руслового тела. В стрежневой зоне, для которой характерна наибольшая скорость течения, происходит интенсивный размыв речного дна, в то время как в русловых отмелях, где отмечаются наименее интенсивные течения, происходит накопление руслового аллювия.

данных площадной 3D- сейсморазведки, по результатам которой появляется возможность геометризации и прогноза свойств русловых отложений.

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ТОЛЩИН ПОЯСОВ РУСЛОФОРМИРОВАНИЯ

Российскими и зарубежными специалистами разработано множество подходов [6], позволяющих прогнозировать возможные перспективы русловых отложений в зависимости от исходных данных. Объектом большинства исследований является создание детальных геологических моделей с учетом фациально-го зонирования и дифференциации свойств на основе динамической интерпретации сейсмических данных [7]. Стоит заметить, что первоочередная задача в рамках геологической оценки заключается в геометризации перспективных объектов. Разработаны методики с использованием комплексных сейсмических атрибутов, а также различные подходы с использованием технологий машинного обучения [8].

Одними из наиболее широко применяемых методов распознавания русловых палеосистем в последнее время является спектральная декомпозиция [9], в основе которой лежит разложение сейсмического сигнала на определенные диапазоны частот, и технология eXchroma, основанная на цветовом смешивании амплитудных срезов [10]. Сейсмическая инверсия также является одним из методов, который часто используется для прогноза коллекторов в отложениях тюменской свиты [11]. В работе [12] приведен один из случаев использования синхронной AVA-инверсии (AVA — Amplitude versus angle, зависимость амплитуды сигнала от угла наклона) с дальнейшим прогнозом эффективных толщин при помощи функции распределения Гаусса (функции распределения вероятности коллектора). Однако количественные показатели упругих свойств коллекторов и неколлекторов могут часто пересекаться, что влечёт за собой неопределенность прогноза свойств. Наличие кондиционной петроупругой модели также является обязательным условием для использования сейсмической инверсии [13]. Технологии машинного обучения внедряются в контексте геометризации и картирования тел, прогноза вероятности наличия русел и эффективных толщин. Например, сверточная нейронная сеть U-Net, используемая для сегментации графических изображений [14], может быть применена

для автоматического оконтуривания русловых изображений с дальнейшей ручной коррекцией. Основным преимуществом использования данной технологии является экономия времени на картирование русловых тел. Однако имеется недостаток — визуализация пересечения разных русел по площади, не характерная для морфологии современных речных систем [9].

В пределах выделенных тел для прогноза эффективного объема может быть использован алгоритм «случайного леса» (Random Forest), основанный на переборе параметров в пределах решающих деревьев по оптимально подобранному сейсмическим атрибутам [15]. Стоит отдельно отметить методику для прогнозирования эффективных толщин русловых отложений на основе морфометрического анализа, основанную на определении эмпирических зависимостей между геометрическими характеристиками русел (ширина пояса руслоформирования, коэффициент извилистости, длина меандры, радиус кривизны меандры и др.) в зависимости от типа речной системы, разработанную Ольневой Т.В. и Жуковской Е.А. [16] и подробно изложенную в патенте [17]. На **рис. 1** показаны измеряемые морфометрические параметры, необходимые для анализа морфологии речной долины. Прогноз мощности зон развития русловых отложений и поиск соответствующих прогностических зависимостей являются важной составляющей при планировании геолого-разведочных работ, и основывается на применении знаний о современных русловых системах и принципах актуализма, позволяя использовать морфометрические параметры современных аналогов речных систем для палеорусловых долин.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассматриваемый участок работ находится на границе Ямало-Гыданского и Уренгойского фациальных районов (ФР). На этой территории возможен разрез переходного типа, т.к. точные границы ФР не определены. Район работ находится в области переходных прибрежно-морских и прибрежно-континентальных обстановок осадконакопления [19, 20].

Геолого-геофизическая изученность территории низкая. В границах рассматриваемой территории скважины, вскрывшие юрские отложения, отсутствуют, проведена сейсмическая съемка МОГТ 3D объемом 1000 км².

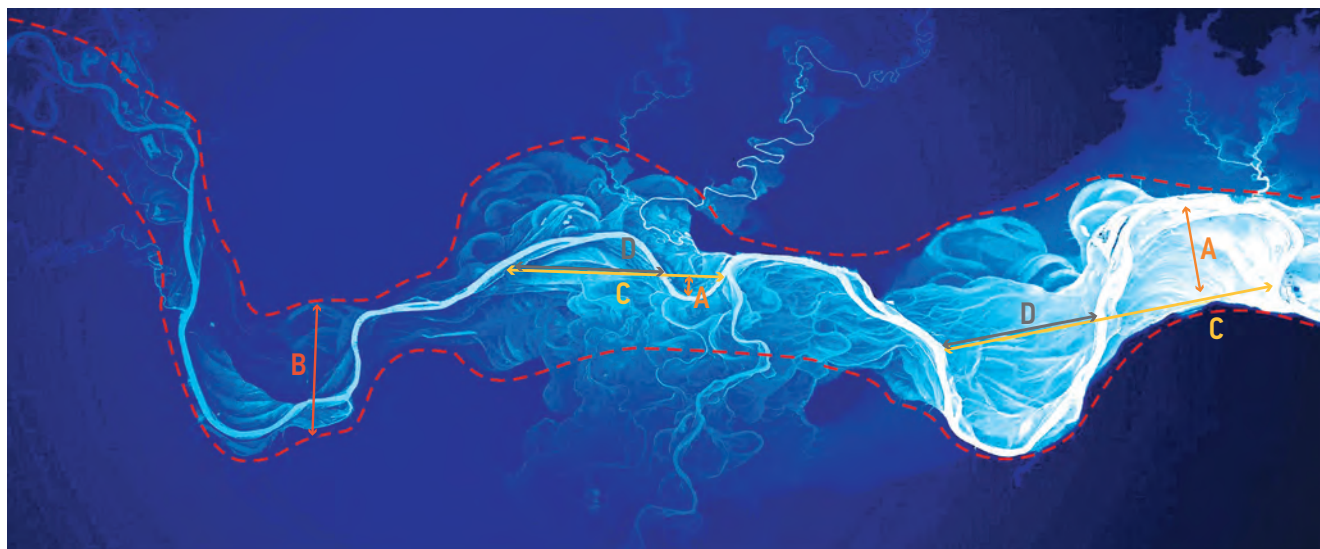


Рис. 1. Визуализация параметров речной системы (штат Орегон, США). А — амплитуда излучины; В — ширина пояса руслоформирования; С — длина излучины; D — полупериод излучины [18]

Fig. 1. River system parameters visualization (State of Oregon, USA). A — river bend amplitude, B — channel formation belt width, C — river bend length, D — river bend half-period [18]

МЕТОДИКА

Таким образом, ввиду особенностей осадконакопления тюменской свиты существует много неопределенностей, связанных, как с геометризацией потенциально перспективных объектов в объеме пласта, так и с прогнозированием коллектора [21]. В настоящей работе предлагается методика оценки эффективных толщин коллекторов, основанная на комплексном анализе геолого-геофизических данных с акцентом на анализ пространственного положения тел на седиментационных слайсах, с учетом концептуального строения русловых систем. Методика включает в себя 5 основных этапов.

1. Выделение русловых объектов (тел) на серии седиментационных слайсов и слайсов спектральной декомпозиции.
2. Построение дискретной карты, показывающей количество слайсов, на которых визуализируются объекты, выделенные в пределах пласта.
3. Суммирование созданных карт по всем объектам в пределах определенного пласта в карту «объекто-слайсов».
4. Построение карты тренда путем нормирования карты «объекто-слайсов» на значения распределения коэффициента песчаности согласно имеющемуся фациальному районированию.
5. Построение карты эффективных толщин с использованием тренда.

Дополнительно проведено сравнение полученных результатов с методикой, основанной на анализе морфометрических параметров

русловых тел, приведенной в работе [17].

Также приведены некоторые выводы о возможных сценариях и подходах к оценке нефтегазонасыщенных толщин.

ВЫДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ

На первом этапе в каждом из пластов выделены объекты (русловые тела, врезанные долины) на седиментационных слайсах. Всего рассмотрено 7 пластов для оценки.

Пласт Ю₆ представлен фациями приливно-отливного эстуария (концептуальная модель аналога приведена на **рис. 2**). Литологически пласт разделён на три части — Ю₆¹, Ю₆² и Ю₆³. В пределах всего интервала пласта выделяются дельтовые каналы (**рис. 3**).

Пласт Ю₅ предположительно глинистый в пределах участка работ. Контрастные аномалии на волновой картине, соответствующие различным седиментологическим элементам, отсутствуют. Перспективы нефтегазонасыщенности данного пласта в рамках данной работы не рассматриваются.

Пласт Ю₄ характеризуется наличием врезанных долин. Пласт делится на две части — Ю₄¹ и Ю₄² (**рис. 4, а**). Цифрами на рисунках подписаны номера выделенных объектов (отдельных русловых тел и границ русловых долин).

В работе [23] показан пример эволюции осадконакопления для врезанной долины (**рис. 5**). Похожая картина предполагается в пластах Ю₄¹ и Ю₄² (**рис. 4, б, в**). В пределах пласта Ю₄¹ отмечается переход от тонких извилистых шнурковых тел с наличием фрагментов

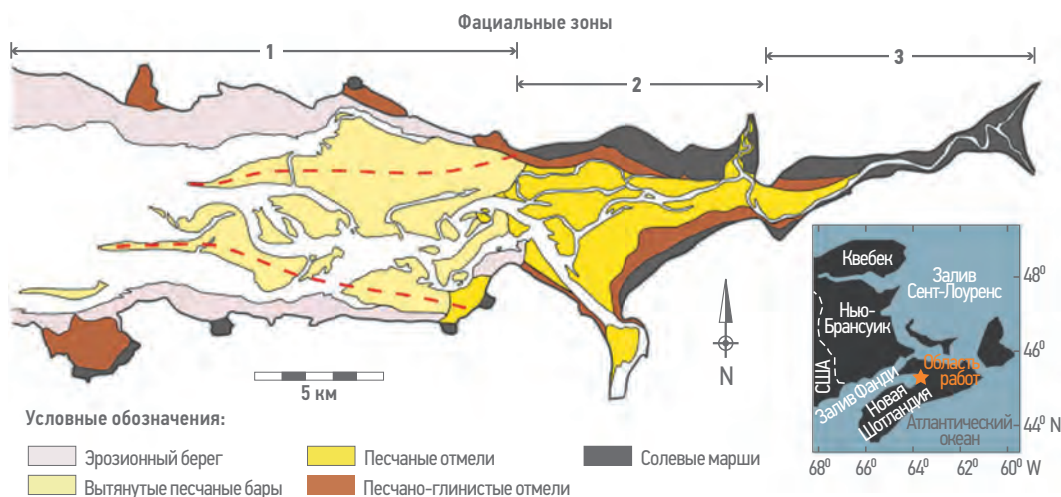


Рис. 2. Концептуальная модель приливного эстуария. Залив Фанди, Канада [22]

Fig. 2. Shoreface estuary conceptual model. Fundy Bay, Canada [22]

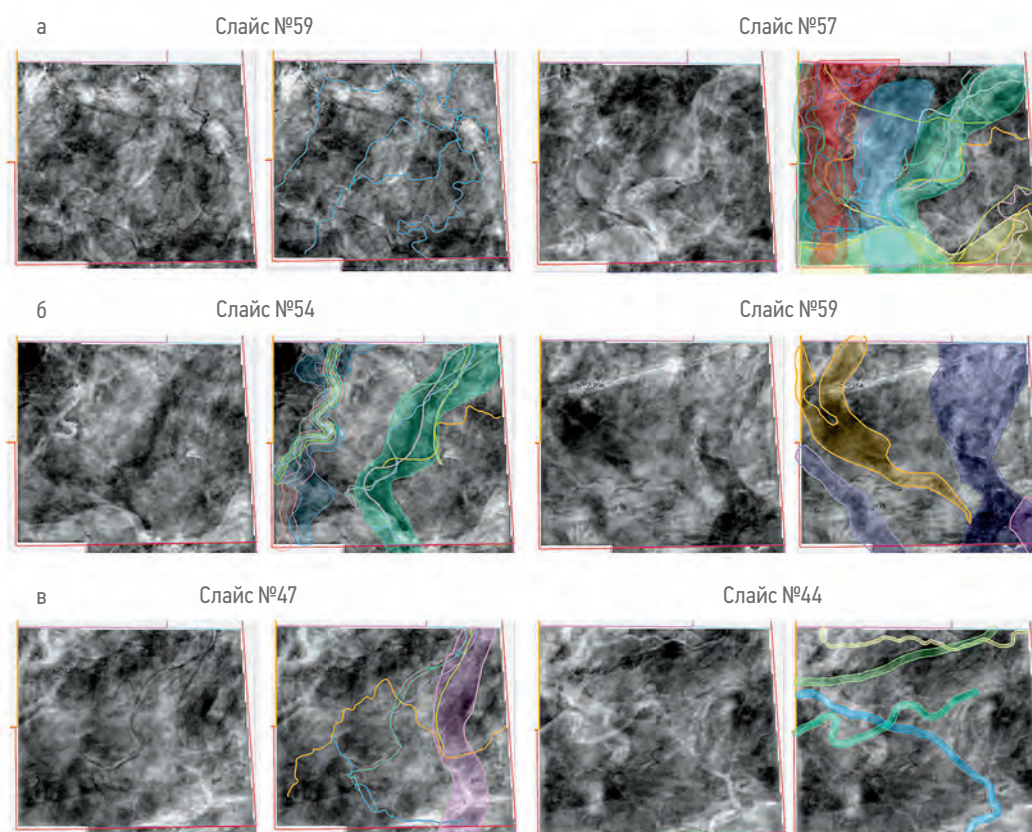


Рис. 3. Примеры выделения объектов в пределах пластов: а) J_6^3 , б) J_6^2 , в) J_6^1 . Составлено авторами

Fig. 3. An example of objects' detection within a) J_6^3 formation, J_6^2 formation, c) J_6^1 formation. Created by the authors

единичных меандр в нижней части пласта (1) к русловой долине, в пределах которой также отмечены крупные русла (2–3). В дальнейшем происходит переход к категории врезанной долины (4) с крупными меандрами. В завершение фиксируется переход к более спрямленным руслам (5). В верхней части пласта J_6^2 выделены единичные шнурковые тела (6); объекты подобного типа фиксируются и в нижней части пласта J_6^1 (7). Далее

в пределах пласта J_6^1 наблюдается врезанная долина (8), в пределах которой выделяются спрямленные русла (8-1 — 8-2), и затем цикл повторяется: образуются тонкие меандрирующие тела в пределах врезанной долины (9) с дальнейшим их спрямлением (10-1 — 10-2) и повторным затоплением врезанной долины (11). Пласты J_6^2 и J_6^3 представлены дельтовыми отложениями с единичными поясами

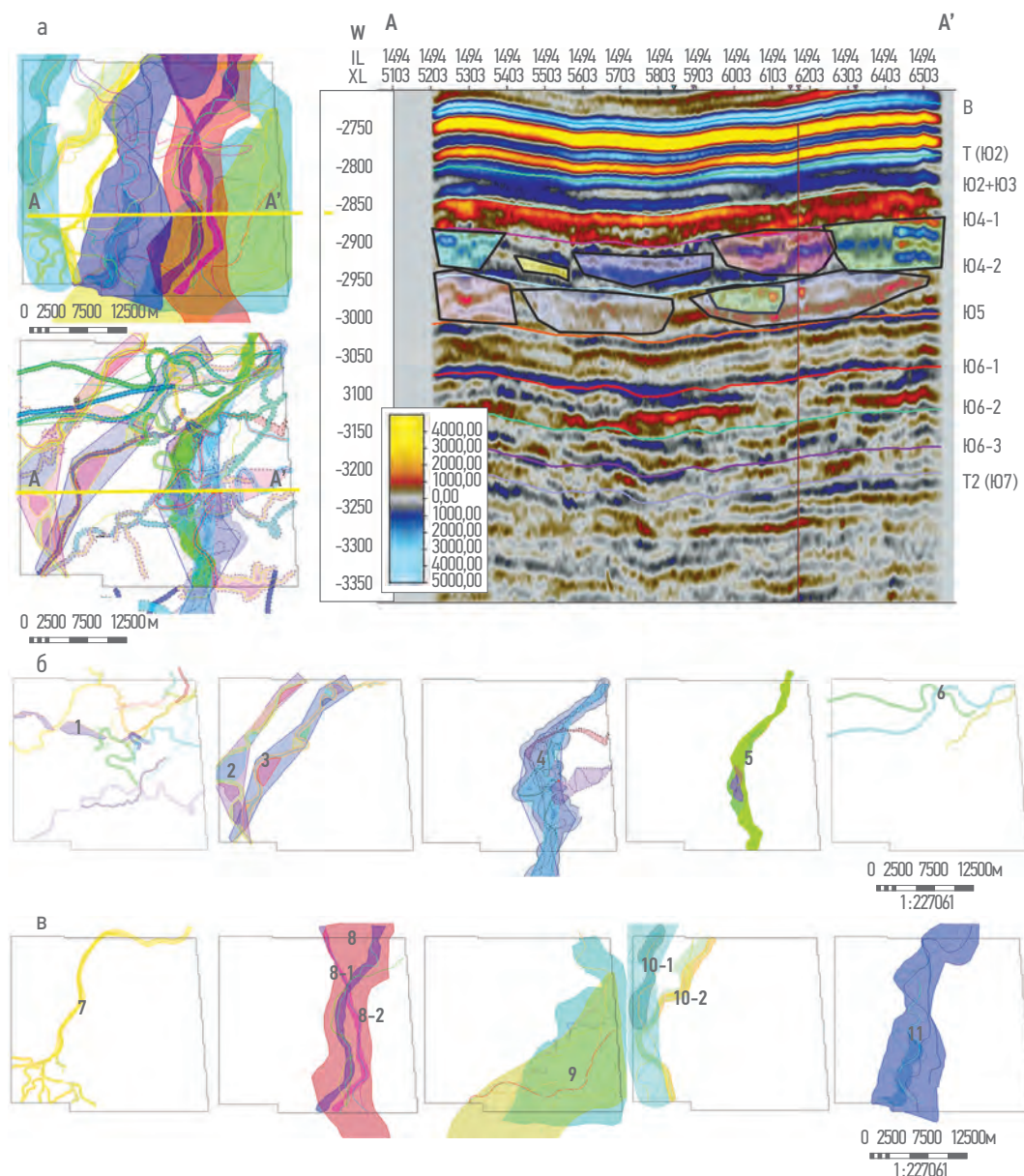


Рис. 4. Выделение объектов (русловых тел и врезанных долин) в пластах Ю₄¹ и Ю₄²: а) карты совмещенных контуров (слева), выделение объектов на сейсмическом разрезе (справа); контуры объектов, выделенных на седиментационных слайсах в пределах б) пласта Ю₄², в) пласта Ю₄¹. Составлено авторами

Fig. 4. Detected perspective objects within J₄¹ and J₄² formations: a) integrated map of objects' contours (left), objects' detection of seismic line (right); Contours of objects detected on sedimentary slices within b) J₄² and c) J₄¹ formations. Created by the authors

меандрирования. В пределах интервала двух пластов (рис. 6) выделено 4 системы русловых объектов, видимые в разных временных интервалах. Отмечается повторяемость цикла в отношении изменения направления большей части выделяемых русел: часть объектов, ярко проявленных на срезе 9 (пласт Ю₃) вновь появляются на срезе 6, относящемся уже к пласту Ю₂. На срезе 7 видна группа из четырех русловых тел, которая в свою очередь перекрывается объектами, частично повторяющими положение лет, ранее выделенных в нижней части пласта Ю₃ (срез 11).

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОГО ОБЪЕМА

На первом этапе происходит систематизация выделенных объектов по количеству прослеживаемых слайсов в пределах пласта (или нескольких пластов в отдельных случаях). По сейсмической картине (RGB-срезам) выделены полигоны палеоканалов, врезанных долин и меандр. Информация о наличии объекта на том или ином слайсе внутри пласта занесена в таблицу (табл. 1). Цветные ячейки соответствуют наличию объекта (системы объектов) на определенном слайсе.

На каждый слайс, где прослеживается объект, генерируется карта со значением «1» в границе снятого полигона. Получив на первом этапе для каждой системы объектов и для каждого слайса карты со значением «1», далее эти карты суммируются между собой (рис. 7). Данная карта отражает проекцию количества объектов, выделенных в пределах пласта на всех слайсах.

На втором этапе проводится нормировка карты «объекто-слайсов» на значения распределения коэффициента песчаности (Net-to-gross, NTG). Диапазон значений NTG сформирован на основе анализа ближайших месторождений-аналогов и дифференцирован по фациям. Данная нормированная карта служит в качестве тренда для построения карт NTG.

Принцип нормировки использован следующий подход. Находятся минимальные и максимальные значения NTG с распределения, а также значения с суммарной карты «объекто-слайсов» (рис. 8). Карта нормируется при помощи нахождения коэффициентов А и В при решении системы уравнений (1):

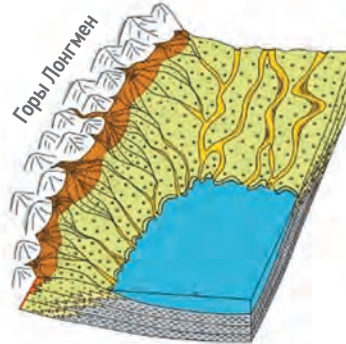
$$\begin{cases} \text{NTG}_{\min} = A x_{\min} + B \\ \text{NTG}_{\max} = A x_{\max} + B \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $\text{NTG}_{\min}$ и $\text{NTG}_{\max}$ — минимальное и максимальное значения с распределения NTG, $x_{\min}$ и $x_{\max}$ — соответственно минимальное и максимальное значения числа «объекто-слайсов» с карты, полученной на предыдущем этапе, А и В — угловой коэффициент и свободный член в уравнении прямой, построенной по крайним точкам диапазонов значений карты «объекто-слайсов» и NTG. Далее производится сложение карт по всем объектам в пределах пласта в единую, тем самым образуя карту тренда для дальнейшего картопостроения. Принцип получения карты тренда на примере одного из пластов показан на рис. 9.

Третий шаг — построение карты NTG. Тренд, полученный ранее, используется при картопостроении путем использования процесса collocated co-kriging с высоким коэффициентом корреляции ($R^2=0,8-0,9$). Значения распределены по нормальному закону со средним выбранным случайно из принятого распределения NTG по аналогам (распределение по залежам). Минимальные и максимальные значения на карте также снимаются с принятого распределения NTG по месторождениям-аналогам. Ранги вариограмм приняты исходя из геометрии тел, а также исходя из поперечных размеров объектов в соответствующих пластах в пределах ближайших более изученных месторождений-аналогов.

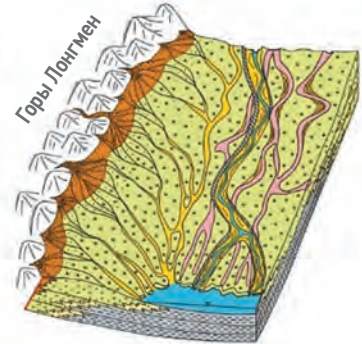
а

- Ранняя стадия цикла падения уровня моря (тракт FSST)
- Основными фациями являются аллювиальные конусы выноса (отложения на коротком расстоянии от источника) и извилистые реки (отложения на протяженном расстоянии от источника)



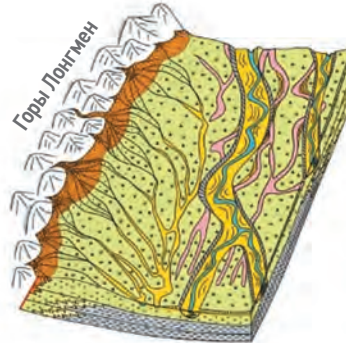
б

- Поздняя стадия цикла падения уровня моря (тракт FSST)
- Преобладающий механизм осадконакопления — врезание осадочного материала и эрозия
- Узкие и маломощные тела
- Образование врезанных долин



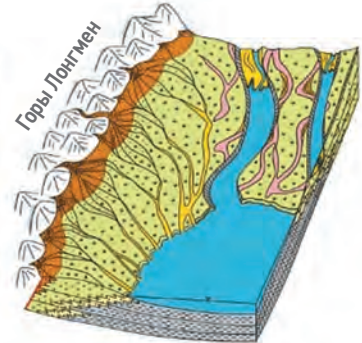
с

- Стадия низкого уровня стояния моря (тракт LST)
- Преобладающий механизм осадконакопления — врезание осадочного материала и эрозия
- Русла становятся шире и глубже
- Унаследованные врезанные долины



д

- Начальная стадия трансгрессии (тракт TST)
- Унаследованные врезанные долины заполняются тонкодисперсным осадочным материалом



Условные обозначения:

- | | | |
|----------------------------|-------------------------|------------------|
| Аллювиальные конусы выноса | Озера | Основные каналы |
| Затопляемая равнина | Озерные отложения | Прирусловые бары |
| Дельта | Вытянутые песчаные бары | Старица |

Рис. 5. Пример эволюции осадконакопления для врезанной долины [23]
Fig. 5. Sedimentation evolution example of incised valley [23]

Скорректированная карта NTG являлась основой при построении карты эффективных толщин путем перемножения её с картой общих толщин пласта. На рис. 10 приведены карты эффективных толщин для минимального (слева), базового (посередине) и максимального (справа) сценариев для одного из пластов.

ПРОГНОЗ НАСЫЩЕНИЯ И ПРОДУКТИВНЫХ ТОЛЩИН

В работе предлагается использовать несколько сценариев при анализе продуктивных толщин. Один из способов подразумевает два варианта: наличие

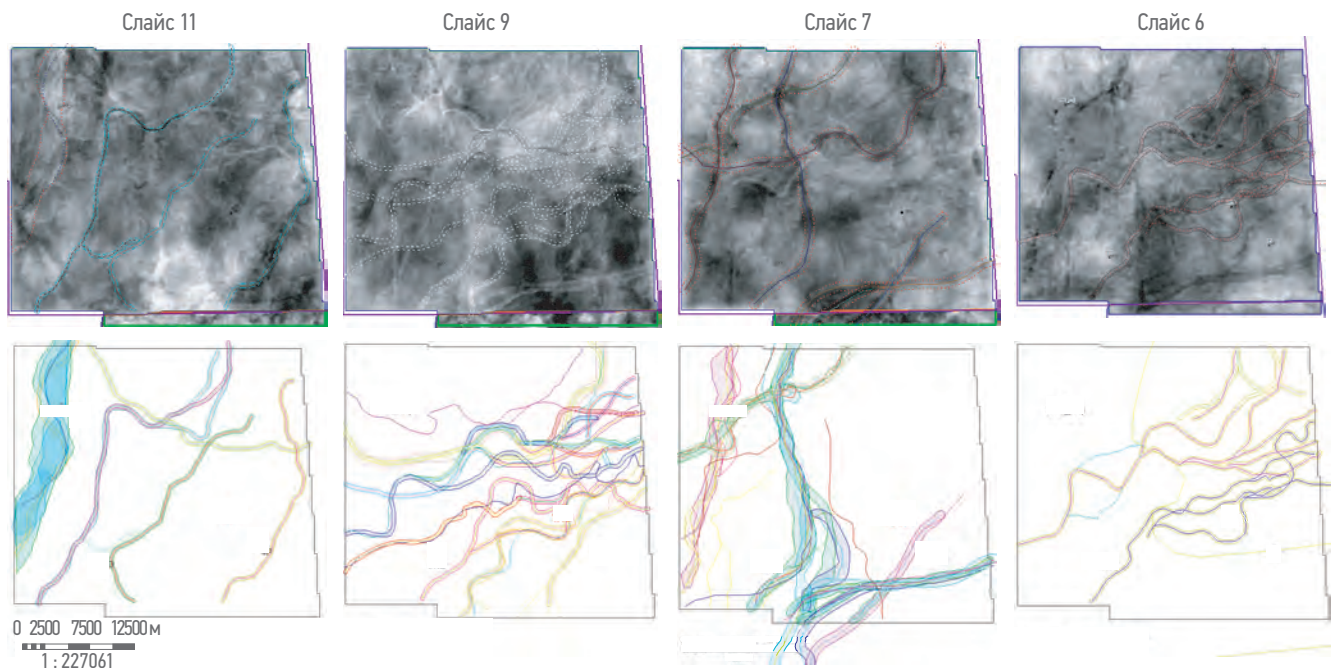


Рис. 6. Пример выделения объектов в пределах пластов Ю₂ и Ю₃ на седиментационных слайсах. Составлено авторами
Fig. 6. An example of objects detection of sedimentary slices within J₂ and J₃ formations. Created by the authors

объектов насыщенных полностью УВ и полностью водонасыщенных русловых систем. Вероятность наличия «продукта» определялась через параметр геологических рисков (gCoS), который определялся по формуле (2), где каждый множитель соответствует вероятности наличия

пяти факторов — нефтегазоматеринской толщи (P_{НГМП}), миграции (P_м), коллектору (P_к), ловушке (P_л) и сохранности залежи (P_с) [24].

$$gCoS = P_{НГМП} \cdot P_k \cdot P_l \cdot P_m \cdot P_s. \quad (2)$$

Таблица 1. Объем распространения объектов (русла, врезанные долины и т.д.) на основе серии седиментационных слайсов в пределах разреза одного из пластов. Составлено авторами

Table 1. Perspective objects (river bends, incised valleys) distribution based on sedimentation slices series. An example on one of formations. Created by the authors

№ объекта	Слайс						
	6	7	8	9	10	11	12
Ю ₂ — 1							
Ю ₃ — 2-1							
Ю ₃ — 2-2							
Ю ₃ — 2-3							
Ю ₃ — 2-4							
Ю ₃ — 2-5							
Ю ₃ — 3-1							
Ю ₃ — 3-2							
Ю ₃ — 3-3							
Ю ₃ — 3-4							
Ю ₃ — 4-1							
Ю ₃ — 4-2							
Ю ₃ — 5-3							

Для анализируемых пластов диапазон gCoS изменяется от 0,41 до 0,61. В каждой из реализаций происходит случайное распределение объектов на «перспективные» и «неперспективные» с оцененной вероятностью. Для «неперспективных» объектов выполняется их зануление на карте, а в областях, где выделены «перспективные» объекты, присваивается значение, равное эффективным толщинам. Используемая методика первоначально разработана и детально описана в статье [25].

На **рис. 11** показана визуализация русловых систем по двум сценариям для одной из реализаций. Красным цветом отмечены «неперспективные» русловые тела, синим — «перспективные». На карте продуктивных толщин видно, что «перспективные» объекты падают в зоны развития эффективных толщин, в то время как «неперспективные» объекты попадают в нулевые значения.

Также рассмотрен структурно-литологический сценарий, при котором в пределах выделенных тел предполагается наличие флюидоконтакта. Поскольку рассматриваемый участок приурочен к отрицательной структуре, при данном сценарии невозможно однозначно оценить перспективы, так

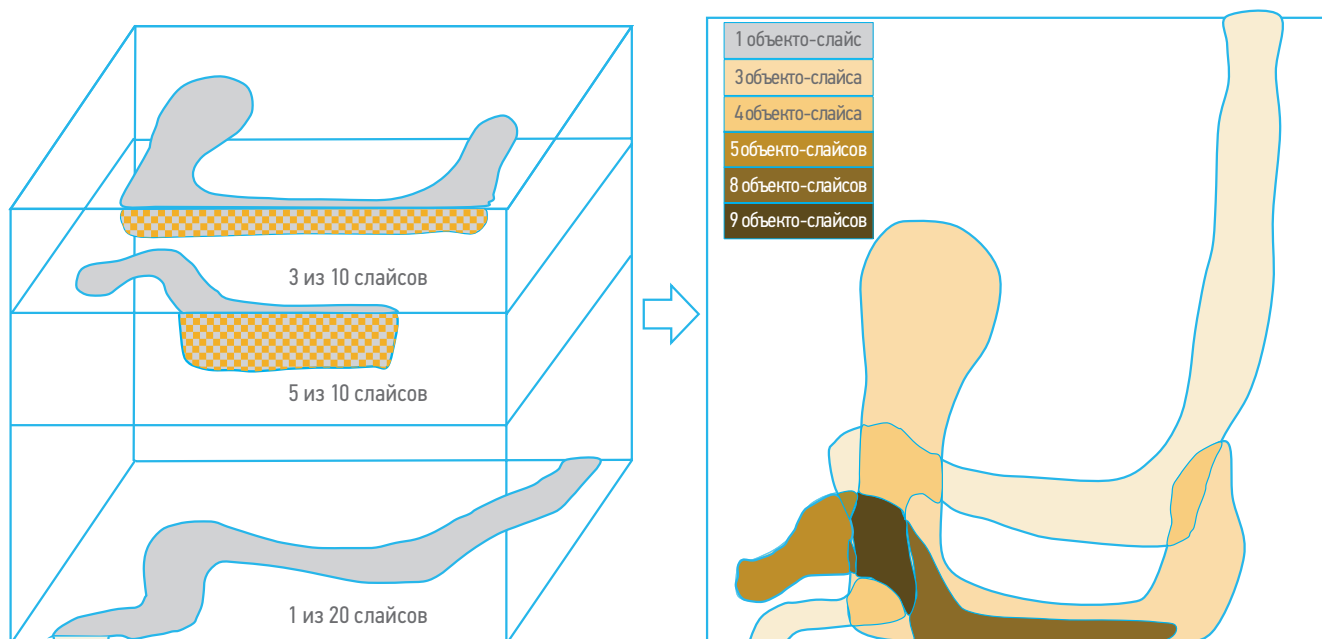


Рис. 7. Принцип построения карты «объекто-слайсов». Составлено авторами
Fig. 7. "Object-slice" parameter map construction principle. Created by the authors

как большинство из прослеженных русловых тел выходят за границы участка работ, и их сложно проследить из-за отсутствия данных 3D-сейсморазведки. В таком случае карта продуктивных толщин может быть оценена путем перемножения финальной карты эффективных толщин на коэффициент заполнения, распределение значений которого можно использовать с ближайших аналогов.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ С ПРОГНОЗОМ ЭФФЕКТИВНЫХ ТОЛЩИН НА ОСНОВЕ MORFOMETRICHESKOGO АНАЛИЗА

Для двух русловых объектов разной конфигурации выполнено сравнение оцененных эффективных толщин по методике, описанной в настоящей работе, с прогнозными значениями эффективных толщин на основе данных морфометрического анализа [17].

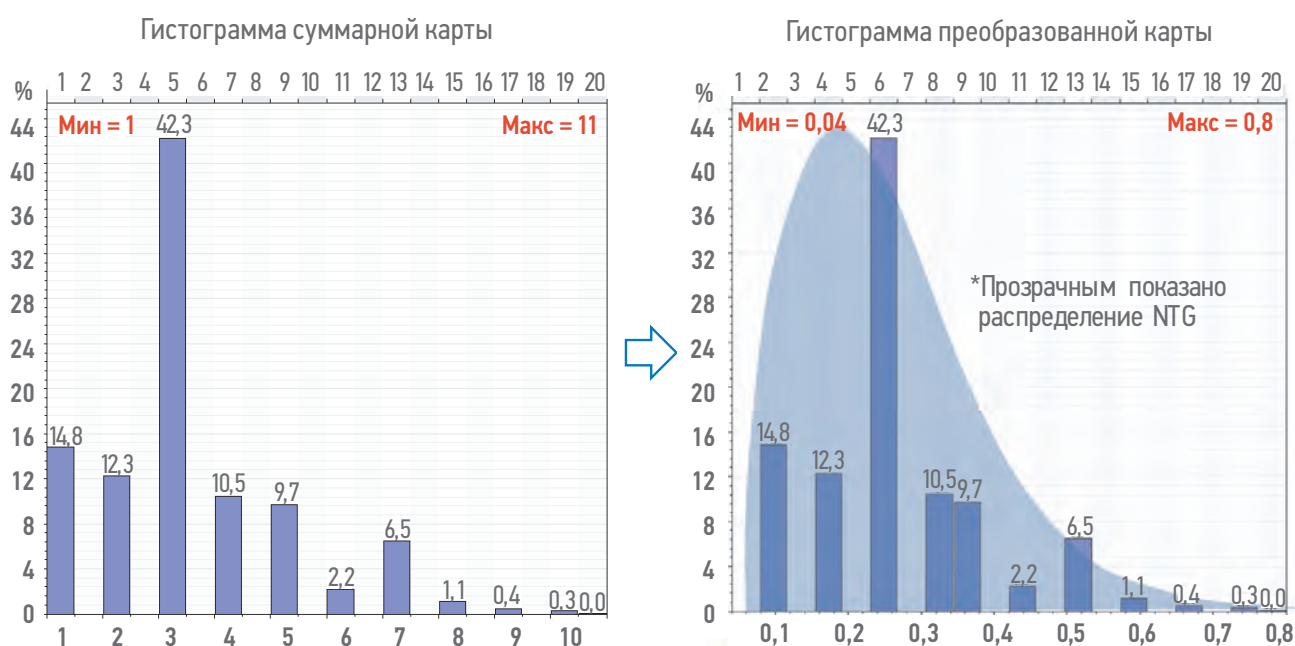


Рис. 8. Гистограммы распределения значений с суммарной карты «объекто-слайсов» и нормированной карты на значения NTG. Составлено авторами

Fig.8. Histograms of distribution of values from the "object-slice" map and NTG normalized map. Created by the authors

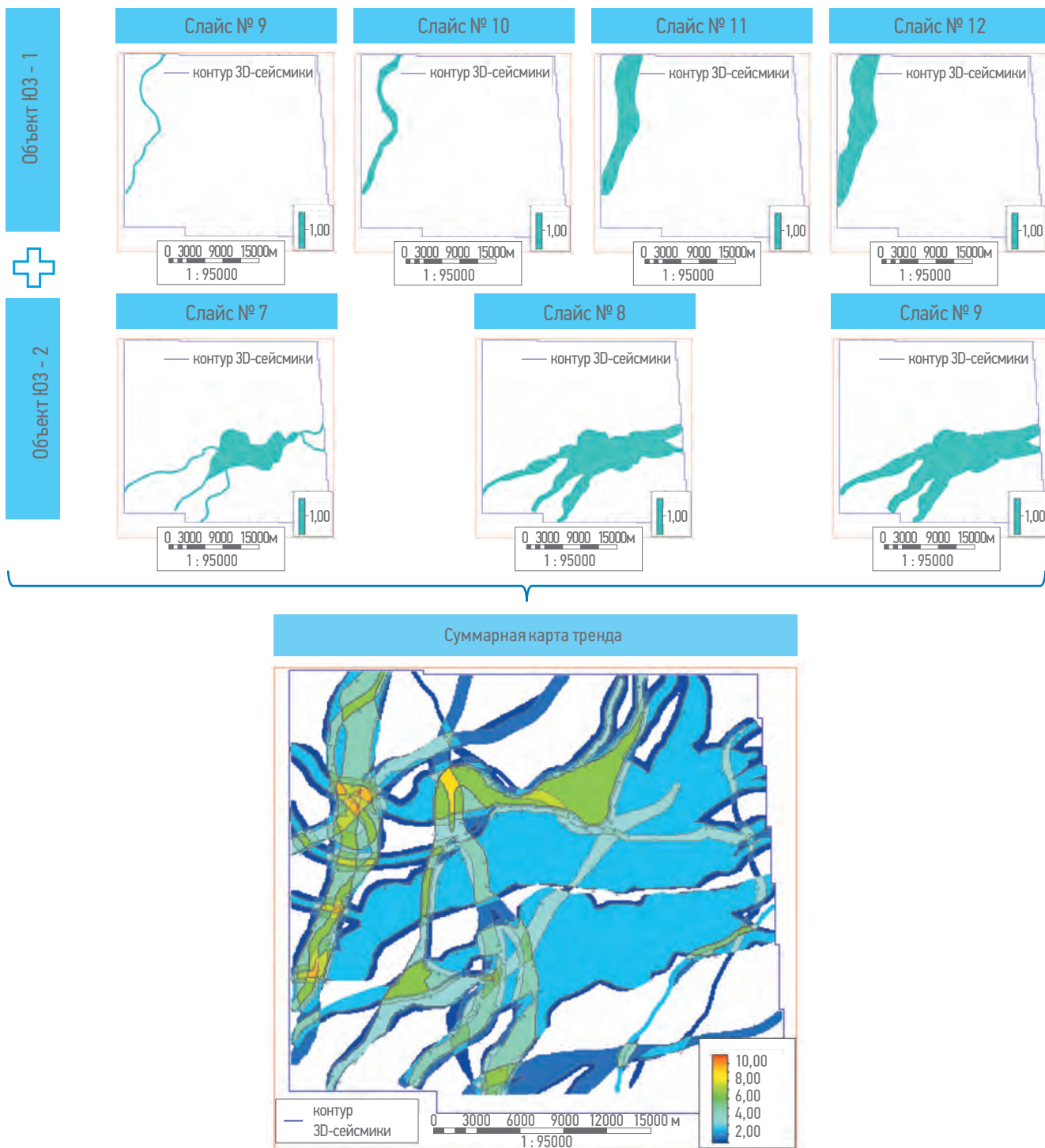


Рис. 9. Последовательность действий при получении карты тренда. Составлено авторами
Fig. 9. Trend map construction principle. Created by the authors

Первый объект расположен в пласте Ю₄¹ (рис. 12, а). Оценены параметры меандрирующего русла: ширина пояса руслоформирования (В), длина излучины (С), радиус кривизны (R). По результатам картирования пояса руслоформирования (меандрирования) его ширина оценивается средним значением в 3200 метров. На основании зависимости В/W (где В — ширина пояса меандрирования

(м), W — ширина русла (м)) для меандрирующих речных систем ширина прогнозируемого русла оценивается в 560 метров. Опираясь на закономерность (З) [26] для расчета ширины пояса меандрирования (В) по общей глубине пояса меандрирования, можно решить обратную задачу, а именно вычислить предполагаемую толщину песчаных тел (объектов).

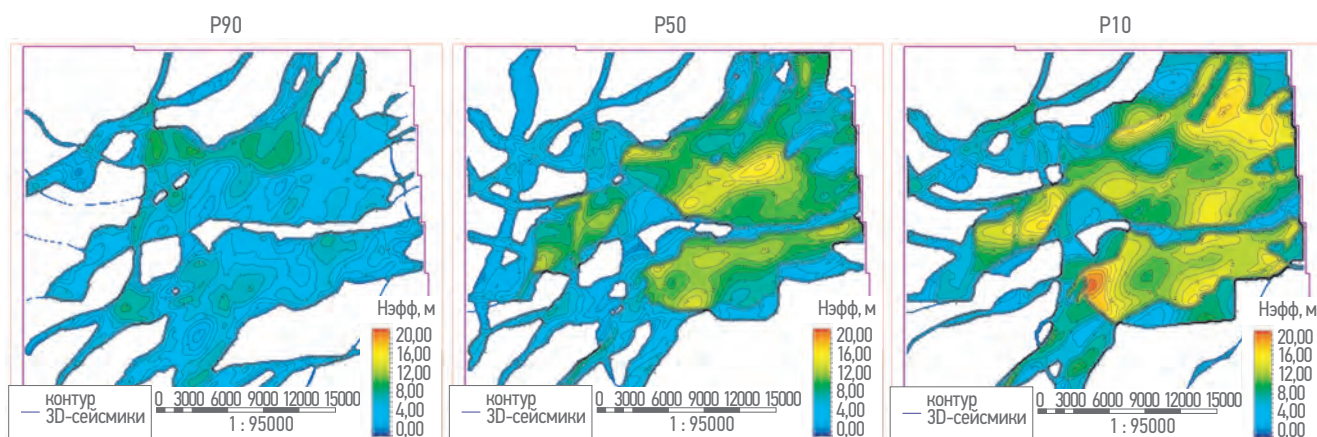


Рис. 10. Примеры карт эффективных толщин для одного из пластов. Составлено авторами
Fig. 10. Net thickness maps examples for one of the layers. Created by the authors

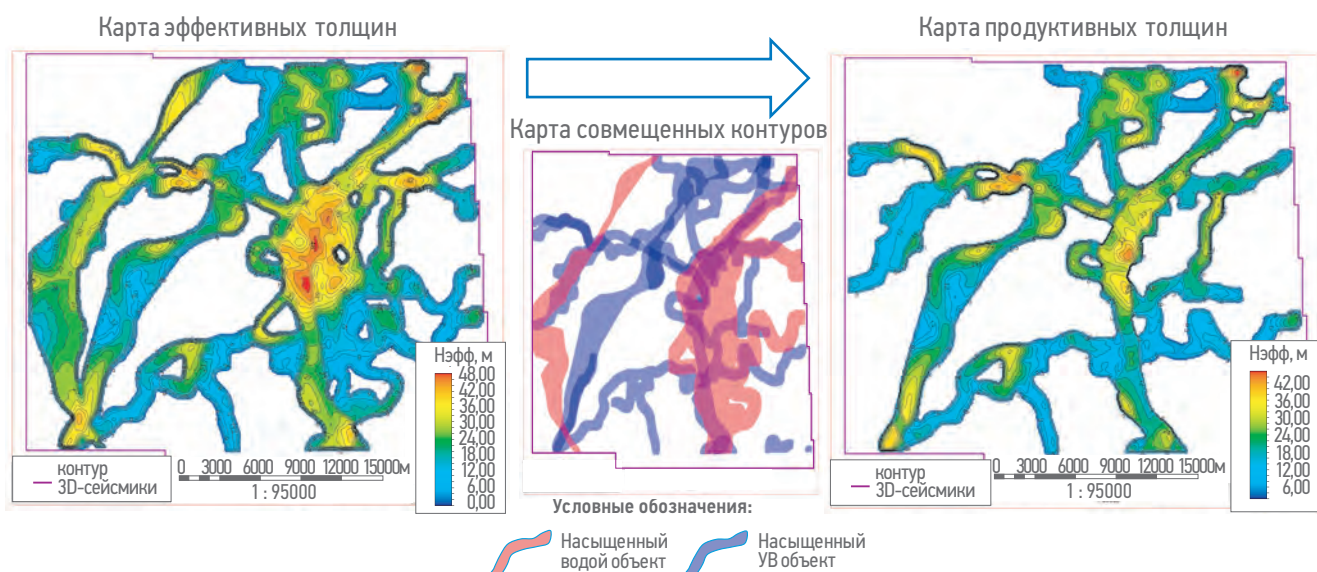


Рис. 11. Принцип получения карт продуктивных толщин на примере одного из пластов. Составлено авторами
Fig. 11. Net pay thickness maps construction principle for one of the layers. Created by the authors

$$B(Wm) = 64,6 h^{1,53}, \quad (3)$$

где h — средняя мощность в пределах пояса меандрирования.

$$\text{Отсюда } h = \sqrt[1,53]{\frac{3200}{64,6}} = 12,8 \text{ м.}$$

Из зависимостей, установленных Г. Хэм [27], следует, что колебания максимальных глубин на участке излучины более значительны, чем средних по сечению и составляет 18 %. Это может служить оценкой погрешности определения расчетной толщины русловых тел: $h = 12,8 \pm 2$ м.

На карте продуктивных толщин, построенной по результатам использованной методики вероятностной оценки, значение эффективных толщин в пределах данной русловой

системы в случае P_{50} составляет 11,47 м.

На основании сравнения значений, полученных по двум методикам, отмечается непротиворечивость использованных подходов к оценке.

Второй объект расположен в пласте Ю₃ (рис. 12, б). Оцененные морфометрические характеристики: коэффициент извилистости: 1,38, ширина пояса меандрирования — 3500 м. Мощность русловых отложений по формуле (3) составляет приблизительно 13,6 м.

По результатам расчетов авторской методики, эффективная мощность в пределах данного объекта в варианте P_{50} оценена в 13,8 м. Полученное значение совпадает со значением, рассчитанным по результатам морфометрического анализа.

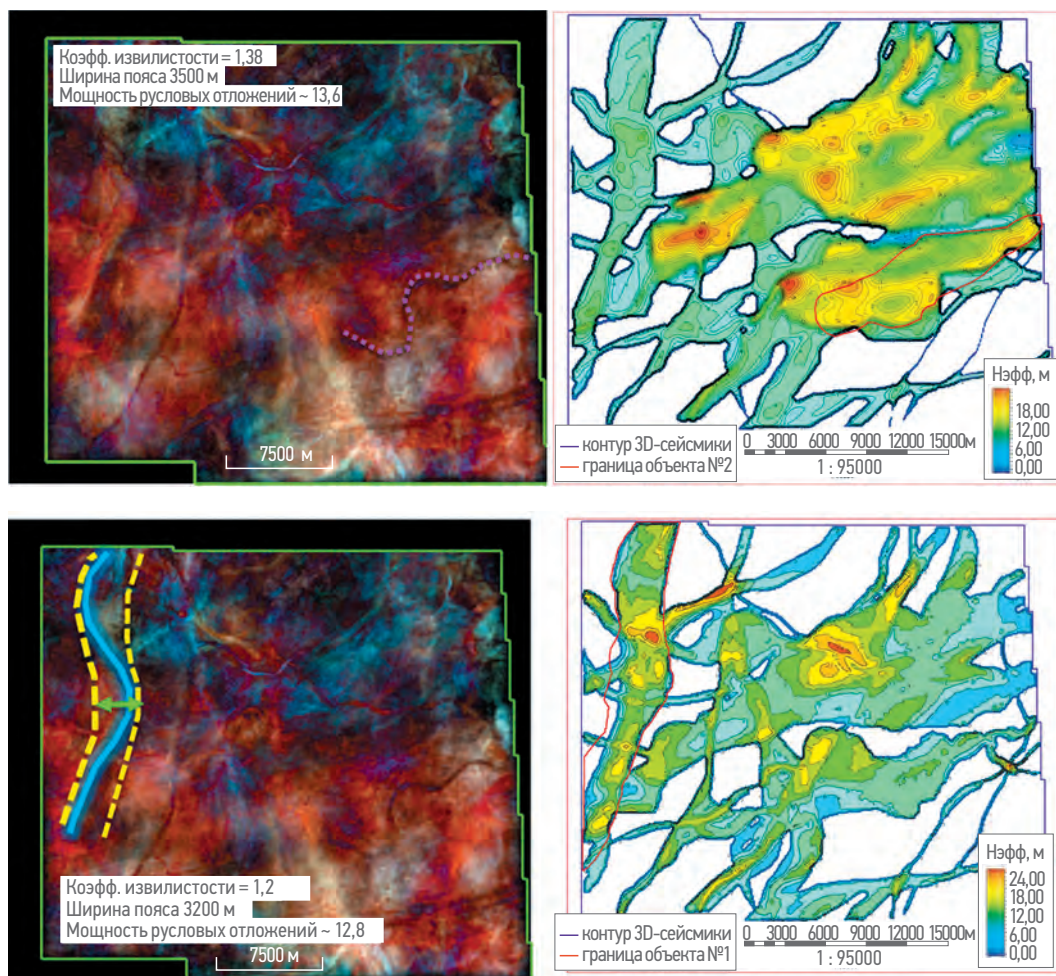


Рис. 12. Сравнение значений эффективных толщин, полученных по результатам морфометрического анализа (слева) и карты нефтегазонасыщенных толщин (справа) для двух разных объектов: А) в пласте J_4^1 , Б) в пласте J_3 . Составлено авторами

Fig. 12. Net thickness values comparison between those obtained from the results of morphometric analysis (left) and constructed using the described approach (right) for two different objects: А) J_4^1 formation, Б) J_3 formation. Compiled by the authors

ВЫВОДЫ

По результатам работы проведен многовариантный расчет карт эффективных толщин в соответствии с разработанной методикой учета дифференциации русловых тел по разрезу с привлечением параметра «объекто-слайсов».

Также проведено сравнение полученных результатов с оценкой эффективных толщин русел по морфометрическому анализу, где отмечается высокое сходжение

прогнозных значений по двум разным методикам.

Таким образом, можно сделать вывод, что учет фациального районирования с привлечением детального анализа седиментационных слайсов в процессе оценки позволяет получить корректный прогноз суммарного эффективного объема коллекторов в пределах каждого объекта и более точно планировать потенциальные зоны под поисково-оценочное бурение при формировании программы ГРП на участке.

Список литературы

1. Морозов В.Ю., Сапьяник В.В. Актуальные проблемы освоения нефтегазового потенциала Западной Сибири // Геология нефти и газа. — 2018. — № 3. — С. 27–36.
2. Плиткина Ю.А. и др. Опыт разработки низкопроницаемых коллекторов тюменской свиты Краснотенинского месторождения в АО «РН-Няганьнефтегаз» // Нефтяная провинция. — 2019. — № 2(18). — С. 72–100.
3. Иванчик А.В., Шулик С.И., Ханимов И.А. Прогноз коллекторов в аллювиальных фациях тюменской свиты на основе данных сейсморазведки МОГТ 3D // Нефтяное хозяйство. — 2022. — Вып. 5. — С. 65–68.
4. Schumm S. Patterns of Alluvial Rivers // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 1985, № 13(5). 10 p.

5. Шмаков В.Д. Уточнение структуры ресурсной базы и перспективы прироста запасов нефти Назымской группы месторождений // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2023. — № 6(378). — С. 18–24.
6. Фёдорова М.Д. и др. Тюменская свита: методология создания концептуальных геологических моделей // Oil & Gas Journal Russia. — 2016. — № 11. — С. 60–63.
7. Бронскова Е.И. Комплексный анализ геологического строения Апрельского месторождения для эффективности доразведки и разработки залежей в тюменской свите // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2016. — № 8. — С. 36–44.
8. Кирзельева О.Я. и др. Палеорусла и палеореки в сейсмических данных (на примере продуктивного пласта Ю3-4 тюменской свиты одного из месторождений Западной Сибири) // Нефть, газ, новации. — 2021. — № 4. — С. 14–21.
9. Алексеева П.А. и др. Прогноз свойств отложений тюменской свиты с учётом фациального районирования территории // Сборник научных трудов конференции ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»: Пермь. — 2023. — С. 6–14.
10. Буторин А.В. Изучение детального строения ачимовского нефтегазоносного комплекса на основе спектральной декомпозиции сейсмического волнового поля: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2016. — 141 с.
11. Буторин А.В. и др. Оценка потенциала тюменской свиты в пределах Ноябрьского региона Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. — 2015. — № 12. — С. 41–43.
12. Орешникова М.Ю., Ольнева Т.В. Анализ подходов к идентификации палеорусловых систем по сейсмическим данным и прогноз эффективной мощности коллектора (по объектам тюменской свиты Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна) // Материалы 25-й научно-практической конференции «Геомодель-2023». Геленджик. — 2023. — 5 с.
13. Полюх Н.А., Данцова К.И., Хафизов С.Ф. Концептуальное моделирование и оценка ресурсной базы сложнопостроенных полифациальных систем палеорусел на примере одного из пластов тюменской свиты // Нефтяное хозяйство. — 2023. — Вып. 5. — С. 57–62.
14. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation / International Conference on Medical Image Computing and Computer-assisted Intervention. 2015, pp. 234–241.
15. Rodriguez-Galiano V., Sanchez-Castillo M., Chica-Olmo M. Machine Learning Predictive Models for Mineral Prospectivity: An Evaluation of Neural Networks, Random Forest, Regression Trees and Support Vector Machines. Ore Geology Reviews. 2015, no. 71, pp. 804–818.
16. Ольнева Т.В. и др. Диагностика морфогенетических типов палеоканалов на основе параметризации сейсмообразов // Геофизика. — 2022. — Вып. 2. — С. 17–25.
17. Патент № 2672766 С1 Российская Федерация, МПК G01V 1/28, G01V 9/00. Способ прогнозирования морфометрических параметров русловых тел (палеоканалов): № 2018104929: заявл. 08.02.2018: опубл. 19.11.2018 / Т.В. Ольнева, Е.А. Жуковская; заявитель ООО «Газпромнефть НТЦ».
18. Coe D. 4K rivers: an ongoing series of airbrant river and delta systems from North America. [Electronic source.] URL: doncoecarto.com
19. Канторович А.Э., Канторович В.А., Рыжкова С.В. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика. — 2013. — № 54. — С. 972–1012.
20. Решение 6-го межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири. Новосибирск, 2003.
21. Викторова Е.М., Жигулина Д.И., Киселев П.Ю., Климов В.Ю. Подходы к оценке неструктурных ловушек в условиях ограниченности данных на примере тюменской свиты // ПРОнефть. Профессионально о нефти. — 2021. — № 6(3). — С. 43–51.
22. Dalrymple R.W., Makino Y., Zaitlin B.A. Temporal and spatial patterns of rhythmic deposition on mud flats in the macrotidal, Cobequid Bay–Salmon River estuary, Bay of Fundy, Canada // Clastic Tidal Sedimentology. Canadian Society of Petroleum Geologists. 1991. Memoir. vol. 16, pp. 137–160.
23. Liu J.-L., Ji Y.-L., Wang T.-Y., Huang F.-X., Yu H.-Y., Li W.-S. Sequence architecture and sedimentary characteristics of a Middle Jurassic incised valley, Western Sichuan depression, China. Petroleum Science. 2018, vol. 15, pp. 250–251.
24. Руководство по формированию концептуальной основы крупных проектов ГРП. Санкт-Петербург: ПАО «Газпром нефть», 2022. — 103 с.
25. Алехин И.И., Переплеткин И.А., Мещерякова А.С., Савченко П.Д., Музраева Б.Ю., Мингазова Д.И., Викторова Е.М., Толмачев Е.О. Разработка интегрированного технического подхода к вероятностной оценке ресурсной базы и учету геологических рисков для ачимовских отложений при низкой степени изученности // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. — 2024. — № 9(3). — С. 6–16. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-3-6-16>
26. Collinson J.D. Alluvial sediments // Sedimentary Environment and facies. New York: Elsevier, 1978. 435 p.
27. Ольнева Т.В., Орешникова М.Ю. Некоторые числовые зависимости и примеры прогноза параметров элементов русловых систем // Материалы 25-й юбилейной научно-практической конференции по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель-2023». Геленджик. — 2023. — 5 с.

References

1. Morozov V.Yu., Sap'yanik V.V. Actual problems of oil and gas development potential in Western Siberia. *Geology of Oil and Gas*. 2018, no. 3, pp. 27–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.31087/0016-7894-2018-3-27-36>.
2. Plitkina Yu.A. et al. Experience in the development of low-permeability reservoirs of the Tyumen formation of the Krasnoleninsky field in JSC RN-Nyagannelegaz. *Network scientific publication «Oil Province»*. 2019, no. 2(18), pp. 72–100. (In Russ.)
3. Ivanchik A.V., Shulik S.I., Khakimov I.A. Fluvial reservoirs forecast within the Tyumen formation based 3D seismic. *Oil industry*. 2022, issue 5, pp. 65–68. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2023-5-57-61>.
4. Schumm S. Patterns of Alluvial Rivers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 1985, no. 13(5). 10 p.
5. Shmakov V.D. Clarification of the resource base and prospects for the oil reserves growth potential within the Nazym group of fields. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2023, no. 6(378), pp. 18–24. (In Russ.)
6. Fedorova M.D. et al. Tyumen formation: methodology for creating conceptual geological models. *Oil & Gas Journal Russia*. 2016, no. 11(110), pp. 60–63. (In Russ.)
7. Bronskova E.I. Aprel'skoye field geological structure complex analysis in terms of Tyumen formation additional exploration & development effectiveness. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2016, no. 8, pp. 36–44. (In Russ.)
8. Kirzeleva O.Ya. et al. Paleo-rivers in seismic data (on the example of J3-J4 formations in Western Siberia). *Oil, gas, innovations*. 2021, no. 4, pp. 14–21. (In Russ.)
9. Alekseeva P.A. et al. *Tyumen formation properties deposits forecast taking into account the facies zonation*. LUKOIL Engineering LLC conference: Perm. 2023, pp. 6–14. (In Russ.)
10. Butorin A.V. *Achimov complex detailed structure study based on the spectral decomposition data* / PhD Thesis. Saint Petersburg: VSEGEI. 2016. 141 p. (In Russ.)

11. Butorin A.V. et al. Tyumen formation potential assessment within the Noyabrsk region of Western Siberia. *Oil industry*. 2015, no. 12, pp. 41–43. (In Russ.)
12. Oreshkova M.Yu., Olneva T.V. *Analysis of approaches to the identification of fluvial systems based on seismic data and forecast of effective reservoir capacity (for Tyumen formation within Western Siberia)* // 25th conference on exploration and development of oil & gas fields "Geomodel-2023". Gelendzhik, 2023. 5 p. (In Russ.)
13. Polyukh N.A., Dantsova K.I., Khafizov S.F. Conceptual modeling and assessment of the resource base of complex polyfacial systems of paleo-rivers on the example of Tyumen formation. *Oil industry*. 2023, issue 5, pp. 57–62. (In Russ.)
14. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: *Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation* / International Conference on Medical Image Computing and Computer-assisted Intervention. 2015, pp. 234–241.
15. Rodriguez-Galiano V., Sanchez-Castillo M., Chica-Olmo M. Machine Learning Predictive Models for Mineral Prospectivity: An Evaluation of Neural Networks, Random Forest, Regression Trees and Support Vector Machines. *Ore Geology Reviews*. 2015, no. 71, pp. 804–818.
16. Olneva T.V. et al. Diagnostics of morphogenetic types of paleo-channels based on parametrization of seismic images. *Geophysics*. 2022, issue 2, pp. 17–25. (In Russ.)
17. Patent No. 2672766 C1 Russian Federation, IPC G01V 1/28, G01V 9/00. Method of forecasting morphometric parameters of channel bodies (paleo-channels): No. 2018104929: application 08.02.2018: publ. 19.11.2018 / T.V. Olneva, E.A. Zhukovskaya; applicant LLC Gazpromneft STC. (In Russ.)
18. Coe D. *4K rivers: an ongoing series of airbrant river and delta systems from North America*. [Electronic source]. URL: don-coecarto.com
19. Kontorovich A.E., Kontorovich V.A., Ryzhkova S.V. Paleogeography of the West Siberian sedimentary basin in the Jurassic period. *Geology and Geophysics*. 2013, no. 54, pp. 972–1012. (In Russ.)
20. *Decision of the 6th interdepartmental stratigraphic meeting on the review and adoption of refined stratigraphic schemes of Mesozoic deposits of Western Siberia*. Novosibirsk, 2003. (In Russ.)
21. Viktorova E.M., Zhigulina D.I., Kiselev P.Yu., Klimov V.Yu. Non-structural traps assessment approaches in the conditions of limited data on the example of the Tyumen formation. *PROnft. Professionally about oil*. 2021, no. 6(3), pp. 43–51. (In Russ.)
22. Dalrymple R.W., Makino Y., Zaitlin B.A. Temporal and spatial patterns of rhythmic deposition on mud flats in the macrotidal, Cobequid Bay–Salmon River estuary, Bay of Fundy, Canada. *Clastic Tidal Sedimentology. Canadian Society of Petroleum Geologists*. 1991, Memoir. Vol. 16, pp. 137–160.
23. Liu J.-L., Ji Y.-L., Wang T.-Y., Huang F.-X., Yu H.-Y., Li W.-S. Sequence architecture and sedimentary characteristics of a Middle Jurassic incised valley, Western Sichuan depression, China. *Petroleum Science*. 2018, vol. 15, pp. 250–251.
24. *Guidelines for the formation of a conceptual framework for large-scale exploration projects*. Saint Petersburg: Gazprom Neft PJSC, 2022. 103 p.
25. Alekhin I.I., Perepletkin I.A., Meshcheryakova A.S., Savchenko P.D., Muzraeva B.Yu., Mingazova D.I., Viktorova E.M., Tolmachev E.O. Reserves probabilistic assessment approach involving quantitative geological risks accounting for Achimov deposits with low exploration maturity. *PROnft. Professionally about oil*. 2024, no. 9(3), pp. 6–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-3-6-16>
26. Collinson J.D. *Alluvial sediments. Sedimentary Environment and facies*. New York: Elsevier, 1978. 435 p.
27. Olneva T.V., Oreshkova M.Yu. *Some numerical dependencies and examples of forecasting parameters of channel system elements*. 25th conference on exploration and development of oil & gas fields "Geomodel-2023". Gelendzhik, 2023. 5 p. (In Russ.)

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

И.И. Алехин — разработка методики, расчет прогнозных толщин, подготовка графического материала.

А.С. Мещерякова — седиментологический анализ, выделение перспективных объектов, анализ литературных источников.

И.А. Переpletкин — разработка методики, подготовка текста и рисунков, анализ литературных источников.

М.Ю. Орешкова — проведение морфометрического анализа, подготовка текста и рисунков.

К.С. Тельнова — разработка методики, экспертное сопровождение работы.

Ilya I. Alekhin — developed the article concept, realized thicknesses calculation.

Anastasiia S. Meshcheryakova — prepared sedimentological analysis, detected perspective objects, literature review

Ivan A. Perepletkin — developed the article concept, realized thicknesses calculation, prepared text and figures, literature review.

Mariia Yu. Oreshkova — prepared morphometric analysis, prepared text and figures, literature review

Kseniia S. Telnova — developed the article concept, expert supervision.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Илья Игоревич Алехин — руководитель направления, Группа компаний «Газпром нефть»

Анастасия Сергеевна Мещерякова — инженер, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Ilya I. Alekhin — Head of Division, Gazprom Neft company group

Anastasia S. Meshcheryakova — Engineer, Novosibirsk National Research State University

Иван Алексеевич Переплеткин* — инженер,
Новосибирский национальный исследователь-
ский государственный университет
630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2.
e-mail: ProNeft@gazprom-neft.ru
Тел.: +79526706820
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3753-2660>
AuthorID: 962435
SPIN-код: 1246-0648
Scopus: 57205282863

Мария Юрьевна Орешкова — ведущий специа-
лист, Группа компаний «Газпром нефть»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9643-0253>
Scopus Author ID: 57245109800
ResearcherID: ACS-1207-2022

Ксения Сергеевна Тельнова — руководитель
направления, Группа компаний «Газпром нефть»

Ivan A. Perepletkin* — Engineer, Novosibirsk
National Research State University
2, Pirogova st., 630090, Russia, Novosibirsk.
e-mail: ProNeft@gazprom-neft.ru
Tel.: +79526706820
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3753-2660>
AuthorID: 962435
SPIN code: 1246-0648
Scopus: 57205282863

Maria Yu. Oreshkova — Leading specialist,
Gazprom нефt company group
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9643-0253>
Scopus Author ID: 57245109800
ResearcherID: ACS-1207-2022

Ksenia S. Telnova — Head of Department,
Gazprom нефt company group

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author