

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПЛОЩАДНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ

© Коллектив авторов,
2021

**Е.А. Фофанова^{1,*}, Ю.Н. Павельева¹, О.А. Мельникова¹, Б.В. Белозёров¹,
Н.Ю. Коношонкина², Д.В. Бек²**

¹Научно-Технический Центр «Газпром нефти» (ООО «Газпромнефть НТЦ»), РФ,
Санкт-Петербург

²Научный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), РФ, Томск

Электронный адрес: fofanova.ea@gazpromneft-ntc.ru

Введение. В статье представлен новый подход к оценке геологической сложности месторождения — ее количественная оценка по площади, а также альтернативная методология оценки сложности в 1D.

Цель. Разработать численную метрику оценки геологической сложности месторождений, а также создать алгоритм построения карт сложности.

Материалы и методы. Сложность резервуара принято представлять одним числом, которое характеризует весь объект в среднем, что часто занижает существующую сложность на активе. В статье геологическая сложность описывается пятью группами: структурно-тектоническая, фациально-литологическая, фильтрационно-емкостные свойства, вторичные изменения и свойства флюида — как для 1D-оценки, так и для 2D- (в виде карты). Каждая группа состоит из набора геологических характеристик, общее число которых 13, по каждой из них авторами разработана методология построения карт сложности. Предложенная методология была апробирована на активах компании.

Результаты. Представленные примеры карт сложности по нескольким месторождениям показывают преимущество 2D-оценки в сравнении с 1D-оценкой. Проведенный анализ декомпозированной сложности (по отдельным группам) показал, что ключевые группы, на которые необходимо обратить внимание при принятии решений и ранжировании активов компании, связаны со структурно-тектоническими и фациально-литологическими характеристиками.

Заключение. Разработана методология комплексной оценки геологической сложности по площади, которая позволяет выявить наиболее «проблемные» участки, проводить анализ существующих источников неопределенностей, а также осуществлять ранжирование и скрининг активов компании при принятии стратегических решений.

Ключевые слова: сложность месторождения, геологическое строение, характеристики геологической сложности, метрика сложности, код сложности, карты сложности

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Фофанова Е.А., Павельева Ю.Н., Мельникова О.А., Белозёров Б.В., Коношонкина Н.Ю., Бек Д.В. Количественная оценка площадной геологической сложности. ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2021;6(4):54–61. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2021-6-4-54-61>

Статья поступила в редакцию 31.08.2021

Принята к публикации 11.10.2021

Опубликована 24.12.2021

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF AREAL GEOLOGICAL COMPLEXITY

**Ekaterina A. Fofanova^{1,*}, Yulia N. Paveleva¹, Oksana A. Melnikova¹, Boris V. Belozarov¹,
Natalia Y. Konoshonkina², Daria V. Bek²**

¹Gazpromneft STC LLC, RF, Saint Petersburg

²Tomsk Polytechnic University, RF, Tomsk

E-mail: fofanova.ea@gazpromneft-ntc.ru

Background. The article presents a new approach to assessing the geological complexity — quantitative assessment of areal complexity, as well as an alternative methodology for assessing complexity in 1D.

Aim. Developing a numerical metric for assessing the geological complexity and creating an algorithm for complexity maps construction.

Materials and methods. Generally, complexity describe the reservoir in one number, that often underestimates the real complexity of the deposit. Geological complexity, presented in the article consists of 5 groups: structural-tectonic, facies-lithological, permeability and porosity, secondary alteration and fluid properties, 13 characteristics describe the complexity space of these groups. Each of these characteristics could be presented not only in 1D but also in 2D. The proposed methodology was tested on the company's assets.

Results. The presented examples of complexity maps for several fields show the advantage of 2D complexity estimation in comparison with 1D. The analysis of decomposed complexity estimation (for individual groups) on the company's assets showed that the key groups of complexity are structural-tectonic, facies-lithological characteristics. Therefore, characteristics that describe these groups should be taken into account during the decision-making process and assets ranking.

Conclusion. A methodology of quantitative assessment of areal geological complexity has been developed. This areal assessment allows identify the most "problematic" areas, analyzing existing sources of uncertainty, and also ranking and screening company assets when making strategic decisions.

Keywords: geological complexity, geological structure, characteristics of geological complexity, complexity metric, complexity code, complexity map

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

For citation: Fofanova E.A., Paveleva Yu.N., Melnikova O.A., Belozarov B.V., Konoshonkina N.Y., Bek D.V. Quantitative assessment of areal geological complexity. PRONEFT. Professionally about oil. 2021;6(4):54–61. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2021-6-4-54-61>

Manuscript received 31.08.2021

Accepted 11.10.2021

Published 24.12.2021

ВВЕДЕНИЕ

При оценке существующих неопределенностей на месторождении необходимо знать весь объем текущей информации о данном месторождении, а также его геологические особенности. При наличии этих данных оценка неопределенностей и рисков будет опираться на их источники (чем меньше данных, тем ниже изученность и выше неопределенность; чем сложнее геологическое строение объекта, тем выше неопределенность). Таким образом, анализ геологической изученности и сложности позволяет выполнить оценку неопределенностей с высокой степенью достоверности. Однако если объем информации можно численно оценить, используя изученность месторождения или информационную энтропию [12], то численная метрика, которая описывала бы геологические особенности месторождения, влияющие на определение подсчетных параметров месторождений, на сегодня в открытых источниках не представлена. В данной работе представлена методология оценки геологической сложности месторождения по площади, которую предлагается использовать в качестве метрики, описывающей геологические особенности месторождения при оценке неопределенностей.

Термин «сложность» встречается во многих областях исследований: в экономике [2], биологии [13], урбанизации [5], геонавигации [1], бурении скважин [9], геологии [3, 7, 8, 10, 14]. Для всех данных областей метрика оценки схожа, сложность описывается несколькими параметрами, каждый из которых характеризуется уровнем сложности (в основном от 1 до 5–10), где 1 соответствует минимальной сложности, а наивысшее число — максимальной. Геология не стала исключением. Сложность в области геологии часто встречается в литературных источниках и описывается с помощью индекса сложности коллектора (наиболее известно ее английское название: reservoir complexity index — RCI)

[3, 7, 8, 10, 14]. Индекс сложности коллектора выражается в виде одного значения, которое содержит весь комплекс геологических характеристик, влияющих именно на сложность разработки месторождения [7]. Стоит отметить, что данное число отражает среднюю сложность объекта в целом, не выделяя при этом отдельные особенности геологических характеристик. Для использования RCI на определенных группах месторождений авторы создают функциональную зависимость между RCI и коэффициентом извлечения нефти (КИН). Очевидно, что данные зависимости имеют схожий математический вид, однако количество параметров, характеризующих индекс сложности, и коэффициенты, получаемые в уравнениях, отличаются в каждой работе и являются статистическими характеристиками, которые не имеют геологической основы.

МЕТРИКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ

В настоящей работе под геологической сложностью понимается характеристика объекта, представляющая собой совокупность параметров, отражающую неоднородность геологических особенностей по латерали и вертикали и геологические особенности, вызывающие неоднозначность определения подсчетных параметров и оценки коэффициента извлечения нефти.

Пространство геологической сложности описывается пятью группами: структурно-тектоническая, фациально-литологическая, фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС), вторичные изменения, свойства флюидов (PVT). Каждая из данных групп, в свою очередь, состоит из характеристик, которые рассматриваются в пределах анализируемого объекта. Суммарное количество характеристик геологической сложности — 13, их количество в каждой группе различно и изменяется от одного до шести (табл. 1–3).

Метрика геологической сложности описывается уровнями сложности от 1 до 5, где 1 — наименьшая сложность, 5 — максимальная сложность. Для верхнеуровневой сравнительной оценки активов компании между собой был введен код сложности. Данный код представляет собой пятизначное число, где каждая цифра соответствует максимальной сложности в группе, порядок у цифр кода всегда соответствует закреплённой последовательности групп сложности: структурно-тектоническая, фациально-литологическая, ФЕС, вторичные изменения, PVT.

Как было отмечено выше, RCI — это одно число, которое описывает сложность коллектора, данное число принимается одинаковым на всю площадь месторождения и не отражает неоднородности, которые присутствуют в пласте по латерали. В рассматриваемой методологии по каждой из тринадцати характеристик геологической сложности строится 2D-карта данной характеристики, которая и описывает ее латеральную изменчивость. В качестве примера в статье представлены карты по следующим характеристикам: песчанистость, выклинивание пласта, про-

Таблица 1. Метрика сложности для характеристик структурно-тектонической группы
Table 1. Complexity metric for structural-tectonic group

Характеристика геологической сложности	Уровни сложности характеристик геологической сложности				
	1	2	3	4	5
Количество разломов	Разломы отсутствуют	От 1 до 2	От 3 до 4	От 5 до 7	От 8 и более
Количество различных направлений разломов (угол между направлениями более 10 градусов)	Разломы отсутствуют	1	2	3	> 3
Смещение разломов	Разломы отсутствуют	< 0,3-н	(0,3–0,7)-н	Сдвиг	> 0,7-н
Проницаемость разломов	Разломы отсутствуют	Разломы без изменения проницаемости	Разломы с изменениями проницаемости (слабопроницаемый)	–	Непроницаемые разломы
Наличие диапир или другого рода интрузий	Нет	–	–	–	Есть
Падение пласта	Простые широкие антиклинальные или моноклинальные структуры (10° < углы падения < 60°)	–	Асимметричные и в пространственно нерегулярные структуры (5° < углы падения < 75°)	–	Структуры сложной складчатости или очень плоские структуры (углы падения < 5° или > 75°)

Таблица 2. Метрика сложности для характеристик фациально-литологической группы
Table 2. Complexity metric for facies-lithological group

Характеристика геологической сложности	Уровни сложности характеристик геологической сложности				
	1	2	3	4	5
Латеральная неоднородность	Береговая линия / шельф Дельта волнового типа Предфронтальная зона пляжа / шельф ЭРГ Барьерный остров / лагуны Смешанная эоловая / себха Береговая равнина / шеньер	Лопастный подводного конуса выноса Глинистый склон / бассейн Подводный конус выноса Намывной вал канала подводного конуса выноса Подводящий озерный конус выноса	Приливно-отливная отмель Канал подводного конуса выноса Приозерная дельта Дельта Дельта смешанного типа Дельта озерно-речного типа Дельта конуса выноса Морской дельтовый конус выноса Подводный каньон Эстуарий Смешанная эоловая / речная Аллювиальный конус выноса Прибрежная равнина	Разветвленная река Дельта приливно-отливного типа Река с прямым / анастомозирующим руслом	Меандрирующая река Ледниково-речные отложения Дельта речного типа
Количество фаций	1	2	3	4	5
Расчлененность	1	от 2 до 4	5	от 6 до 9	> 10
Песчанистость (NTG)	0,8–1	0,6–0,8	0,4–0,6	0,2–0,4	0,2 > NTG > 0

Таблица 3. Метрика сложности для характеристик групп: вторичные изменения, ФЕС, PVT
Table 3. Complexity metric for secondary alteration, porosity and permeability and PVT

Характеристика геологической сложности	Группа геологической сложности	Уровни сложности характеристик геологической сложности				
		1	2	3	4	5
Наличие вторичных изменений	Вторичные изменения	Вторичные изменения не влияют на ФЕС	–	–	–	Вторичные изменения влияют на ФЕС
Отношение kv/kh	ФЕС	0,8–1	0,4–0,8	0,2–0,4	0,1–0,2	< 0,1
Изменение свойств нефти по вертикали или латерали	PVT	Отсутствует	–	–	–	Присутствует

нищаемость разломов. Все карты построены на реальных активах компании, по ним была получена обратная связь от геологов для оценки учета всех особенностей каждого объекта. При работе с многопластовыми месторождениями предлагается оценивать сложность каждого из пластов, а результирующую карту строить как сумму по средневзвешенным на эффективные толщины значениям, если в один объект разработки входит несколько пластов.

ПЕСЧАНИСТОСТЬ (NTG)

Метрикой сложности для характеристики «песчаности» (NTG) является численное значение среднего отношения эффективной толщины пласта к общей, прослеживаемой во всех скважинах. Чем ниже песчаность, тем выше сложность в определении коллекторских свойств на месторождении. Также стоит отметить, что помимо коллектора на картах также встречается зона неколлектора ($NTG = 0$), в данном случае авторами предлагается выделять данную зону отдельно как неколлектор (на картах отображается числом 6). При этом наличие неколлектора на карте не увеличивает сложность по данной характеристике, зона неколлектора выделяется для того, чтобы ошибочно не принять ее за потенциальную зону наличия запасов на объекте.

Распространение значения сложности по песчаности в межскважинном пространстве осуществляется интерполяцией значений от скважин с возможностью учета сейсмического тренда, методом совместного кокригинга [4, 11]. В случае отсутствия сейсмического тренда для интерполяции используется метод универсального кригинга с заданными параметрами вариограмм для каждой макрофациальной зоны [4]. На рис. 1 можно выделить характерные увеличения значений сложности, которые отражают пространственное распространение коллекторских свойств исследуемого объекта. Красные области на карте соответствуют минимальным значениям песчаности пласта, зеленые — максимальным, серые зоны соответствуют локальным зонам отсутствия коллектора.

ВЫКЛИНИВАНИЕ ПЛАСТА

Метрикой сложности по данной характеристике является пространственное расположение предполагаемых линий выклинивания пласта.

Для расчета сложности используются контуры выклинивания. Интерполяция значений сложности по выклиниванию происходит между контурами выклинивания: от P90

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЗВОЛЯЕТ ВЫПОЛНЯТЬ АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ, РАНЖИРОВАТЬ ВЛИЯНИЕ КАЖДОГО ФАКТОРА И ОЦЕНИВАТЬ РИСКИ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ.

(пессимистичный сценарий выклинивания пласта) к P50 (базовая оценка) и от P50 к P10 (оптимистичный сценарий выклинивания пласта). Значение сложности на границе

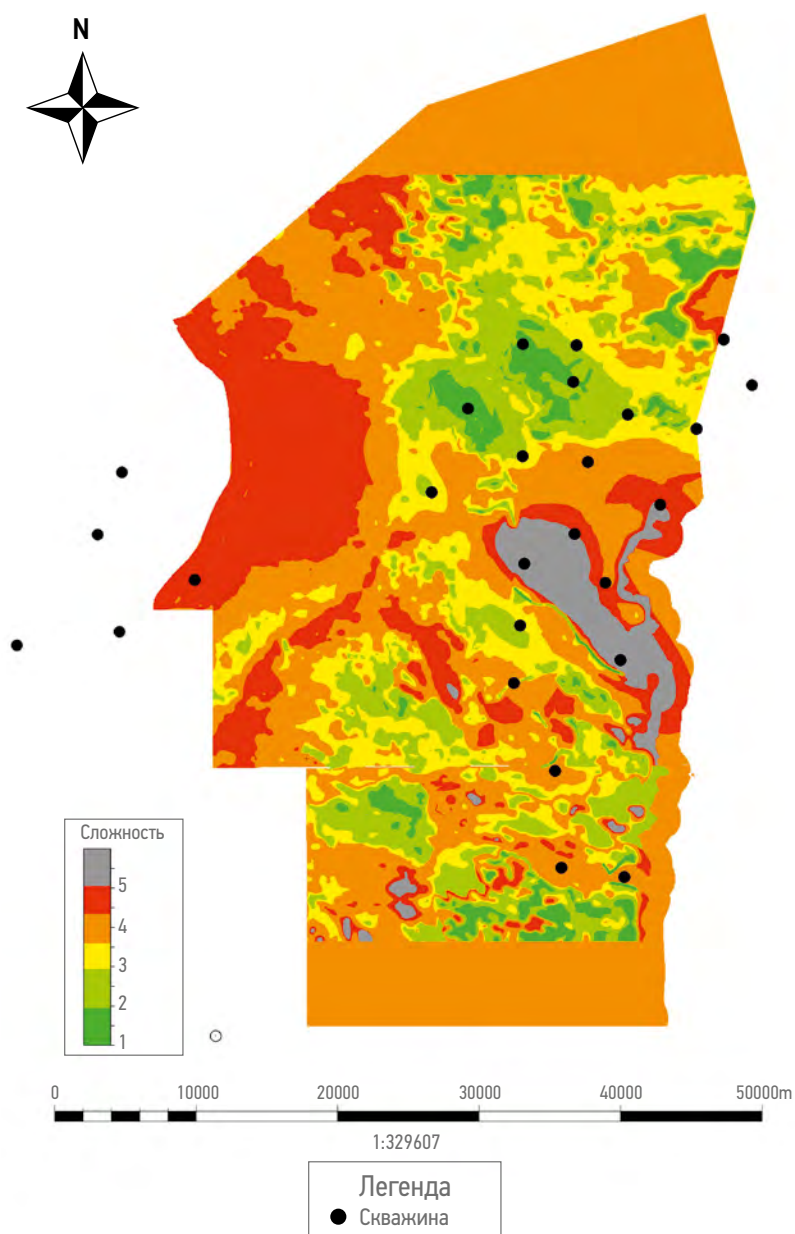


Рис. 1. Карта сложности по характеристике «песчаность». Составлено авторами
Fig. 1. NTG complexity map. Made by authors

и внутри контура P90 равно 1 (минимальная сложность). Значение сложности на границе контура P50 равно 3, в пределах точностей численного метода и интерполяции. Значение сложности на границе контура P10 равно 5 (максимальная сложность).

Для интерполяции значений используется алгоритм численного решения (методом конечных разностей) уравнения Лапласа с заданными граничными (краевыми) условиями Дирихле [6]. Решения уравнения Лапласа (гармонические функции) в общем смысле плавные, т. е. они не могут иметь локальных максимумов или минимумов во внутренних точках (только достигают максимум или минимум на границе).

На **рис. 2** отображается граница стратиграфического выклинивания пласта, прослеживаемая на всей площади, и подтверждается на основе скважинных данных. Сюда граница подтверждается отсутствием пласта в скважинах.

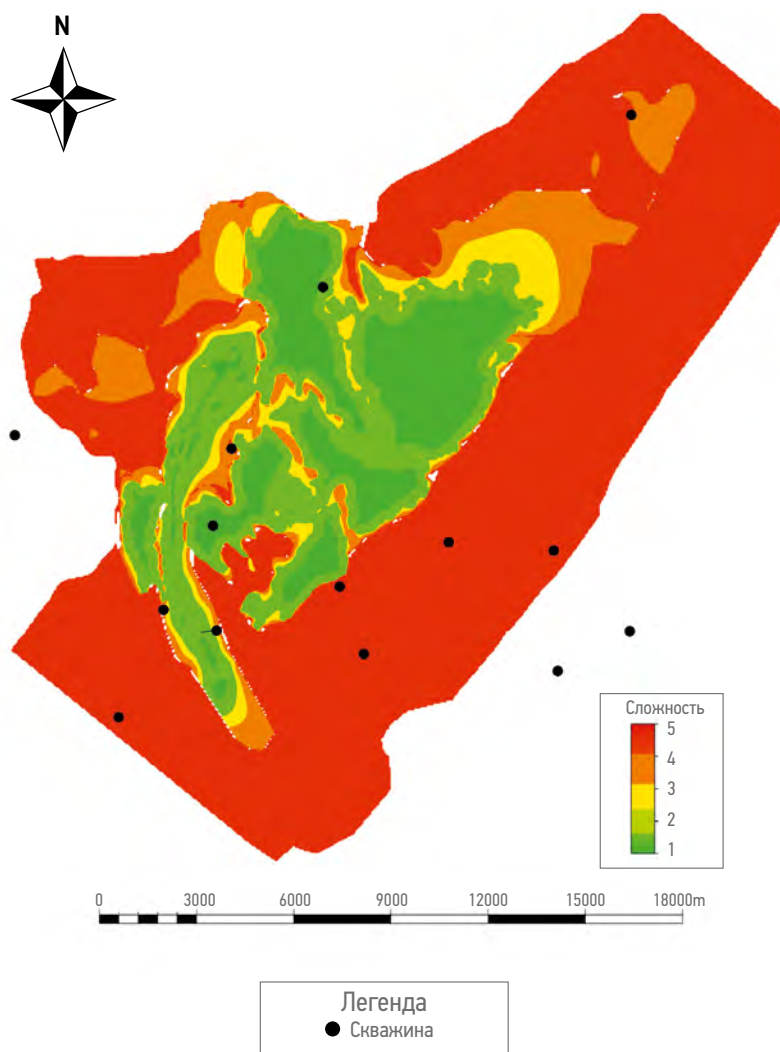


Рис. 2. Карта сложности по характеристике выклинивание пласта.

Составлено авторами

Fig. 2. Dip of the reservoir complexity map. Made by authors

ПРОНИЦАЕМОСТЬ РАЗЛОМА

В методологии разломы разделяются на четыре группы по характеристике проницаемости (**табл. 1**).

Экстраполяция от разломов производится в зависимости от расстояний между точкой и каждым разломом. Если точка находится на более далеком расстоянии, чем радиус отступа R (R — параметр может быть задан пользователем, по умолчанию — 500 м), который задается от всех разломов, то ей присваивается минимальное значение, равное 1 экстраполируемой величины. Если точка находится на расстоянии ближе, чем радиус отступа к одному из разломов, то для нее вычисляется экстраполированное значение между значением интерполируемого атрибута на разломе и минимальным значением методом линейной экстраполяции.

На карте (**рис. 3**) можно выделить структурные блоки, образованные непроницаемыми разломами, оценить плотность и ориентацию разломов в целом в пределах изучаемого участка.

Можно отметить различную тектоническую активность северной и южной части изучаемого участка: северная — относительно спокойная, в южной наблюдается большое количество разломов. Разломы имеют разную ориентацию, что говорит о разных направлениях стресса и возможной реактивации разломов.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ НА АКТИВАХ КОМПАНИИ

В первую очередь оценка геологической сложности — это инструмент работы геолога, например, комбинация геологической изученности и сложности отражает ключевые неопределенности. Кроме того, анализ декомпозированной сложности, т. е. по отдельным геологическим группам (структурно-тектоническая, фациально-литологическая и пр.), показывает, какие из них формируют основные неопределенности (т. к. имеют максимальную сложность), и позволяет адресно подобрать доисследования для более точной оценки параметров.

Однако численная метрика геологической сложности является не менее эффективным инструментом при стратегическом анализе и планировании. Так, на примере статистики характеристик сложности 25 крупных активов компании «Газпром нефть», представленной на **рис. 4**, видно, что ключевые

зоны сложности, на которые следует обратить внимание, связаны со структурно-тектоническими и фациально-литологическими характеристиками. Соответственно, при планировании повышения компетенций или приеме в штат новых сотрудников стоит учитывать, какие профессиональные компетенции нужно усиливать в командах, работающих на крупных активах (через обучение или привлечение сотрудников с адресными знаниями).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлена методология оценки геологической сложности месторождения как 1D, так и 2D (по площади). Разработанная методология позволяет проводить анализ существующих источников неопределенностей, а также осуществлять ранжирование и скрининг активов компании при принятии стратегических решений. Разработка метрики сложности — это лишь один из шагов, который позволит численно анализировать вопросы и решать задачи, которые раньше являлись эмпирическими знаниями. Не менее важным шагом в этом направлении является накопление статистики по геологическим объектам для создания базы, ретроспективный анализ которой позволит верифицировать аналитические разработки и настроить их на соответствие реальным данным.

Список литературы

1. Головченко МА, Кудашов КВ, Филимонов ВП, Рахимов ТР. Методика определения индекса сложности и геонавигации скважин (GDI) и их классификация // 3-я научно-практическая конференция «Горизонтальные скважины 2019». EAGE. — 2019. — 4 с.
2. Hidalgo C.A., Hausmann R. The building blocks of economic complexity // PNAS. — Vol. 106. — 2009. — 6 p.
3. Jia L., John A., Kumar N., Bialas R., Lanson T.P., Jing X.D. Novel benchmark and analogue method to evaluate heavy oil projects // SPE-184101-MS. — 2016. — 12 p.
4. Kovalevskiy E. Geological modeling on the base of geostatistics. Course Note // Student lecture Tour, RUSSIA& CIS. — 2011–2012. — 122 p.
5. Lobo J., Helbing D., Kühnert Ch., West G.B. Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities // PNAS. — Vol. 104. — 2007. — 33 p.
6. McDonough J.M. Lectures on computational numerical analysis of partial differential equations. Chapter 2: Numerical Solution of Elliptic Equations // Departments of Mechanical Engineering and Mathematics. University of Kentucky. — 2008. — 169 p.
7. Наугольнов МВ, Большаков МС, Мейнарденс Р. Новый подход по оценке индекса сложности разработки месторождений Западной Сибири // SPE — 187780-RU. — 2017. — 17 с.
8. Nishikori N., Sugai K., Normann C., Onstein A., Melberg O. An integrated workflow for gas injection EOR and a successful application to a heterogeneous sandstone reservoir in the southern North Sea // IPTC 12025. — 2008. — 14 p.

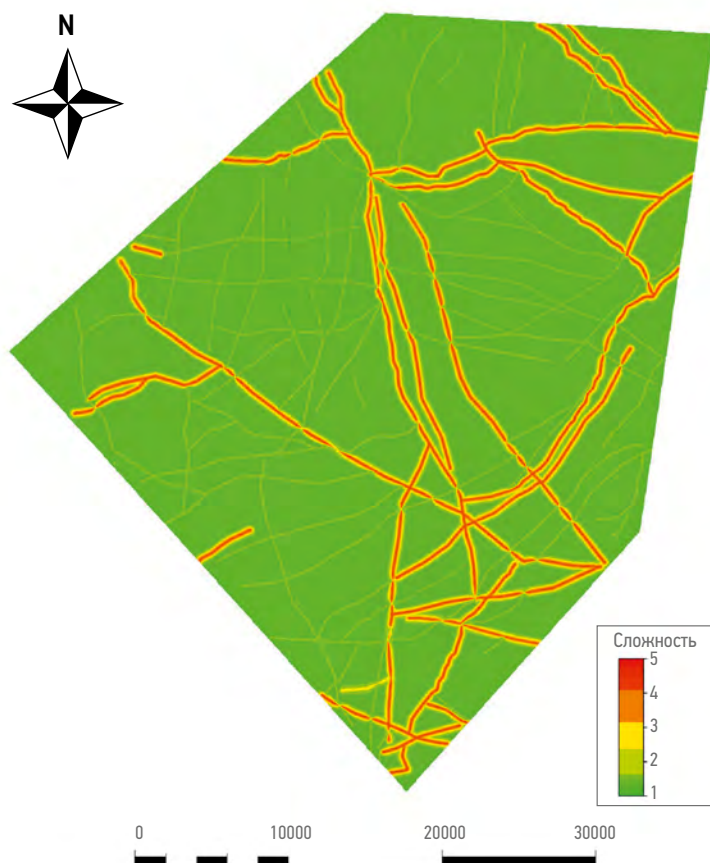


Рис. 3. Карта сложности по характеристике проницаемость разломов. Составлено авторами

Fig. 3. Faults permeability complexity map. Made by authors

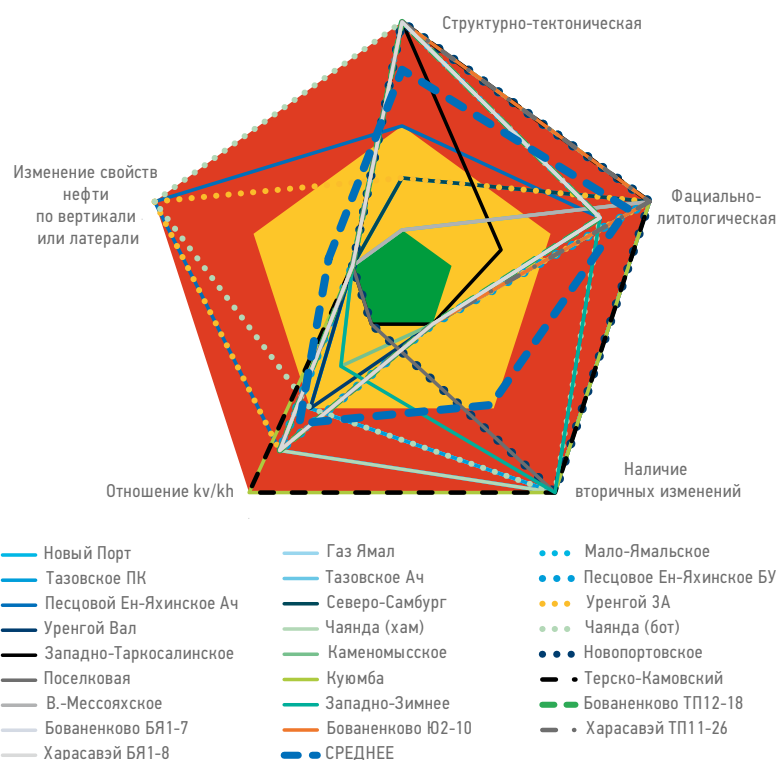


Рис. 4. Лепестковая диаграмма геологической сложности 25 активов компании. Зеленая область — низкие значения сложности, желтая — средние, красная зона — высокие. Составлено авторами

Fig. 4. A radar diagram of the geological complexity (25 company's assets). Green — low complexity values, yellow — medium, red — high. Made by the authors

9. Nzeda B.G., Schamp J.H., Schmitt Th. Development of well complexity index to Improve risk and cost assessments of oil and gas wells // IADC/SPE 167932. — 2014. — 14 p.
10. Ranjan R., Rizal M., Soni S., Masoudi R. Reservoir benchmarking to unlock further development of Malaysian oil fields // SPE-196443-MS. — 2019. — 11 p.
11. Samson M., Deutsch C. Collocated Cokriging // Retrieved from: <https://geostatisticslessons.com/lessons/collocatedcokriging>. — 2020. — 11 p.
12. Wellmann J.F., Regenauer-Lieb K. Uncertainties have a meaning: Information entropy as a quality measure for 3D geological models // Tectonophysics. — Vol. 526–529. — 2012. — 10 p.
13. West G.B., Brown J.H., Enquist B.J. A general model for the origin of allometric scaling laws in biology // Science. — Vol. 276. — 1997. — 6 p.
14. Wickens L.M., Kelly R. Rapid Assessment of Potential Recovery Factor: A New Correlation Demonstrated on UK and USA Fields // SPE 134450. — 2010. — 6 p.

References

1. Golovchenko M.A., Kudashov K.V., Filimonov V.P., Rakhimov T.R. Determination the geosteering difficulty index (GDI) and well classification. "Horizontal Wells 2019", EAGE. 2019, 4 p.
2. Hidalgo C.A., Hausmann R. The building blocks of economic complexity. *PNAS*. 2009, vol. 106, 6 p.
3. Jia L., John A., Kumar N., Bialas R., Lanson T.P., Jing X.D. Novel benchmark and analogue method to evaluate heavy oil projects. *SPE-184101-MS*. 2016, 12 p.
4. Kovalevskiy E. Geological modeling on the base of geostatistics. Course Note. *Student lecture Tour, RUSSIA & CIS*. 2011–2012, 122 p.
5. Lobo J., Helbing D., Kühnert Ch., West G.B. Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. *PNAS*. 2007, vol. 104, 33 p.
6. McDonough J.M. *Lectures on computational numerical analysis of partial differential equations*. Chapter 2: Numerical Solution of Elliptic Equations. Departments of Mechanical Engineering and Mathematics. University of Kentucky, 2008, 169 p.
7. Naugol'nov M.V., Bol'shakov M.S., Meinarends R. New approach to estimate reservoir complexity index for West Siberian fields (In Russ.). *SPE — 187780-RU*. 2017, 17 p.
8. Nishikori N., Sugai K., Normann C., Onstein A., Melberg O. An integrated workflow for gas injection EOR and a successful application to a heterogeneous sandstone reservoir in the southern North Sea. *ITPC 12025*. 2008, 14 p.
9. Nzeda B.G., Schamp J.H., Schmitt Th. Development of well complexity index to Improve risk and cost assessments of oil and gas wells. *IADC/SPE 167932*. 2014, 14 p.
10. Ranjan R., Rizal M., Soni S., Masoudi R. Reservoir benchmarking to unlock further development of Malaysian oil fields. *SPE-196443-MS*. 2019, 11 p.
11. Samson M., Deutsch C. *Collocated Cokriging*. Retrieved from: <https://geostatisticslessons.com/lessons/collocatedcokriging>. 2020, 11 p.
12. Wellmann J.F., Regenauer-Lieb K. Uncertainties have a meaning: Information entropy as a quality measure for 3D geological models. *Tectonophysics*. 2012, vol. 526–529, 10 p.
13. West G.B., Brown J.H., Enquist B.J. A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science*. 1997, vol. 276, 6 p.
14. Wickens L.M., Kelly R. Rapid Assessment of Potential Recovery Factor: A New Correlation Demonstrated on UK and USA Fields. *SPE 134450*. 2010, 6 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Е.А. Фофанова — провела анализ и обобщение данных литературы, разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

О.А. Мельникова — подготовила графические материалы, разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ю.Н. Павельева — подготовила иллюстрационные материалы по картам сложности, разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Б.В. Белозёров — разработал концепцию статьи, редактирование статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи.

Н.Ю. Коношонкина — разработала дизайны эксперимента по построению карт сложности, подготовила иллюстрационные материалы для статьи, провела валидацию описания представляемых примеров и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ekaterina A. Fofanova — analyzed and summarized the literature review, developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Oksana A. Melnikova — prepared graphic materials, developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Yuliya N. Paveleva — prepared illustration materials (complexity maps), developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Boris V. Belozarov — developed the article concept, edited the article, approved the final version of the article.

Natalia Y. Konoshonkina — developed designs for the experiment (complexity maps), prepared illustration materials for the article, and validated the description of the presented examples and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Д.В. Бек — разработала дизайны эксперимента по построению карт сложности, подготовила иллюстрационные материалы для статьи, провела валидацию описания представляемых примеров и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Daria V. Bek — developed designs for the experiment (complexity maps), prepared illustration materials for the article, and validated the description of the presented examples and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Екатерина Андреевна Фофанова* — руководитель направления, ООО «Газпромнефть НТЦ» 190000, Россия, Санкт-Петербург, Набережная реки Мойки, д. 75–79, литер Д. e-mail: fofanova.ea@gazpromneft-ntc.ru Scopus Author ID: 56524266700 SPIN-код: 6382-4453

Ekaterina A. Fofanova* — Discipline leader, expertise center, Gazpromneft STC LLC 75–79 liter D Moika River emb., 190000, Saint Petersburg, Russia. e-mail: fofanova.ea@gazpromneft-ntc.ru Scopus Author ID: 56524266700 SPIN-код: 6382-4453

Оксана Александровна Мельникова — руководитель центра, ООО «Газпромнефть НТЦ» 190000, Россия, Санкт-Петербург, Набережная реки Мойки, д. 75–79, литер Д. e-mail: melnikova.oa@gazpromneft-ntc.ru Scopus Author ID: 57191921287

Oksana A. Melnikova — Head of expertise center, Gazpromneft STC LLC 75–79 liter D Moika River emb., 190000, Saint Petersburg, Russia. e-mail: melnikova.oa@gazpromneft-ntc.ru Scopus Author ID: 57191921287

Юлия Николаевна Павельева — главный специалист, ООО «Газпромнефть НТЦ» 190000, Россия, Санкт-Петербург, Набережная реки Мойки, д. 75–79, литер Д. e-mail: paveleva.yun@gazpromneft-ntc.ru Scopus Author ID: 57218596631

Yuliya N. Paveleva — Chief specialist, expertise center, Gazpromneft STC LLC 75–79 liter D Moika River emb., 190000, Saint Petersburg, Russia. e-mail: paveleva.yun@gazpromneft-ntc.ru Scopus Author ID: 57218596631

Борис Владимирович Белозёров — директор по развитию функции «Геологоразведочные работы», ООО «Газпромнефть НТЦ» 190000, Россия, Санкт-Петербург, Набережная реки Мойки, д. 75–79, литер Д. e-mail: belozerov.bv@gazpromneft-ntc.ru SPIN-код: 2140-7638 Scopus Author ID: 56369397300

Boris B. Belozerov — Director of geological exploration function development, Gazpromneft STC LLC 75–79 liter D Moika River emb., 190000, Saint Petersburg, Russia. e-mail: belozerov.bv@gazpromneft-ntc.ru SPIN-code: 2140-7638 Scopus Author ID: 56369397300

Наталья Юрьевна Коношонкина — инженер-исследователь, ТПУ 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, д. 30. e-mail: konoshonkinany@hw.tpu.ru Scopus Author ID: 57218440147

Natalia Y. Konoshonkina — Engineer, Tomsk Polytechnic university 30 Lenin ave., 634050, Tomsk, Russia. e-mail: konoshonkinany@hw.tpu.ru Scopus Author ID: 57218440147

Дарья Викторовна Бек — инженер, ТПУ 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, д. 30. e-mail: bekdv@hw.tpu.ru

Daria V. Bek — Engineer, Tomsk Polytechnic university 30 Lenin ave., 634050, Tomsk, Russia. e-mail: bekdv@hw.tpu.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author