

Анатолий Михайлович НИКАШКИН¹
Алексей Александрович КЛИМОВ²

УДК 550.7.02

**ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОМЕРНОЙ
ДЕТЕРМИНИРОВАННО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ
ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ КОРРЕЛЯЦИИ
ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ СТРОЕНИЯ ГОРИЗОНТА АС11
ЗАПАДНО-КАМЫНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

¹ кандидат геолого-минералогических наук,
Тюменское отделение СургутНИПИнефть

² заместитель начальника комплекса
Тюменского отделения СургутНИПИнефть
klimov_aa@surgutneftegas.ru

Аннотация

Одной из первоочередных и значимых задач при построении геологических моделей нефтегазоносных резервуаров и объектов разработки является задача корреляции продуктивных пластов. Эта задача, как правило, сводится к выделению и площадному прослеживанию предполагаемо одновозрастных нефтегазоносных толщ, горизонтов, пластов, характеризующихся четкими границами между песчаными пластами и перекрывающими их глинистыми толщами. Практика работ, связанная с моделированием строения нефтегазоносных горизонтов, пластов и толщ, свидетельствует о том, что корреляция не всегда оказывается однозначной. Неоднозначность оказывается особенно заметной при корреляции толщ, характеризующихся клиноформным строением, одним из примеров является Ачимовская толща. Наиболее надежной основой при корреляции скважин являются материалы ГИС и литологические особенности прослоев, формирующих отдельные

Цитирование: Никашкин А. М. Применение многомерной детерминированно-статистической численной модели корреляции для уточнения строения горизонта АС11 Западно-Камынского месторождения / А. М. Никашкин, А. А. Климов // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Том 7. № 3 (27). С. 123-135.
DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-3-123-135

пласты. Ценную информацию при выборе модели корреляции в осадочных разрезах несут глинистые прослои и толщи глин, разделяющие продуктивные отложения. Эти прослои характеризуются наибольшей выдержанностью по площади и наиболее однозначно по характеру рисунков кривых ГИС отображаются на геофизических диаграммах. Однако и в этом случае, т. е. при использовании всего накопленного объема самой разнообразной литологической и промыслово-геофизической информации, модели корреляции разрезов оказываются неодинаковыми и нередко даже противоположными. В данной работе авторам пришлось столкнуться с подобной ситуацией при корреляции горизонта АС11 Западно-Камынского месторождения. В статье изложен способ уточнения положения отбивок продуктивного горизонта нефтегазоносных залежей с применением многомерной детерминированно-статистической численной модели корреляции осадочных толщ. Предложенный подход позволяет однозначно определить положения отбивок в условиях сложного геологического строения объекта, высокой тонкослоистой неоднородности. На конкретном примере показаны преимущества предложенного подхода в сравнении с традиционным.

Ключевые слова

Геолого-математическая модель, детерминированно-статистическая модель, корреляция, кровля пласта, отбивка горизонта, геологический маркер, репер, клиноформа, каротаж, тонкоотмученная глина.

DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-3-123-135

Введение

Практика поисково-разведочных задач показывает, что чем детальнее составлен геологический разрез и чем логичнее в нем взаимосвязаны данные керна и ГИС, тем обоснованнее является корреляция разрезов скважин в пределах того или иного объекта. Важной задачей является не только установление синхронности отложений изучаемой нефтегазоносной толщи, но и прослеживание по площади отдельных геологических тел, выяснение их непрерывности и пространственной взаимосвязанности.

По степени детальности обычно выделяются общая или региональная, зональная или локальная (послойная) корреляция разрезов. Общая или региональная корреляция проводится на поисково-разведочном этапе работ, когда продуктивные отложения вскрыты единичными скважинами, и основной ее задачей является выделение в разрезе нефтегазоносных толщ, горизонтов, пачек и их прослеживание в пределах поисковых и разведываемых площадей. Зональная корреляция осуществляется к концу промышленной разведки месторождений при составлении технологических схем разработки. На этом этапе корреляции при сложном их строении расчленяются на зональные интервалы и пачки пластов, которые прослеживаются по площади.

Локальная или детальная (послойная) корреляции проводятся на стадиях разработки и контроля за разработкой с целью построения детальной модели

нефтегазоносного объекта и ее задача сводится к установлению более достоверной пространственной взаимосвязи и более точному определению границ продуктивных пластов.

Как показывает анализ материалов по детальной корреляции скважин, она часто не отвечает своему содержанию и сводится к задаче разделения частей разреза, содержащего преимущественно одинаковые типы пород-коллекторов. Иными словами, задача детальной корреляции сводится к литологическому расчленению нефтегазоносной толщи и прослеживанию выделенных литотипов в рамках модели, чаще всего параллельной по отношению к кровле нефтегазоносного резервуара.

Однако в силу четко выраженной цикличности строения осадочных толщ платформенного чехла Западно-Сибирского мегабассейна и, в частности, в пределах отдельных крупных геоструктур (Сургутский, Вартовский своды и др.), литологическое сходство геологических тел в разрезах скважин не всегда является указанием на их стратиграфическую идентичность. Наиболее наглядным примером этого является баженовская свита в составе верхнеюрских отложений. Несмотря на то, что она достаточно однозначно опознается в разрезах скважин благодаря своим уникальным литолого-геохимическим и промыслово-геофизическим свойствам, возраст ее, по мнению отдельных исследователей, является скользким. По представлениям ряда исследователей [2, 3], наиболее обоснованному решению задачи расчленения и корреляции могут помочь геолого-статистические разрезы (ГСР), предложенные В. А. Бадьяновым в 1964 г. Однако рядом исследователей справедливо отмечается, что для детальной корреляции разрезов скважин ГСР не всегда могут быть использованы. Практика поисково-разведочных работ свидетельствует о том, что при решении вопросов, связанных с корреляцией на всех уровнях ее проведения, наиболее существенную роль играют методы, основанные на использовании результатов детального петрографо-минералогического изучения пород, слагающих продуктивные отложения, путем выделения типоморфных особенностей минеральных компонентов пород, характерных руководящих ассоциаций или отдельных минералов. В качестве примера может быть приведена георгиевская свита, содержащая характерный минерал марказит. Однако и в этом случае в связи с неточной привязкой керн использование такого репера не всегда дает желаемые результаты.

В связи с этим следует еще раз подчеркнуть, что именно характерный рисунок ГИС является наиболее определяющей и характерной особенностью любого маркирующего горизонта.

Нам представляется справедливым мнение ряда исследователей и, в частности, мнение В. А. Бадьянова [1] о том, что у каждого специалиста, как правило, имеется свой алгоритм корреляции и «на одном и том же тестовом анонимном материале при независимых геологических построениях специалисты получают часто существенно различающиеся результаты». Это связано с различным уровнем профессионализма исследователей, с недостаточным объемом

информации об изучаемом объекте, наличием технологических и геологических ошибок и, наконец, с тем, что для качественного решения задачи корреляции скважин, а также качественного моделирования подсчетных объектов важно в полном объеме использовать косвенную и априорную информацию о них.

Детальные исследования обстановок осадконакопления свидетельствуют о том, что наиболее однозначно прослеживаемыми, как правило, являются тонкоотмученные глины. Это является одной из определяющих особенностей не только мезозойского разреза Западно-Сибирского мегабассейна, но и осадочных толщ других нефтегазоносных бассейнов.

Так, по данным многолетних исследований И. И. Нестерова и И. Н. Ушатинского [2-4, 10], тонкоотмученные глины накапливались и накапливаются в очень спокойной обстановке погруженных участков морского дна, параллельных и субпараллельных уровню мирового океана. Этим, по их мнению, объясняется региональная прослеживаемость этих толщин на значительных расстояниях и однозначная опознаваемость на диаграммах стандартного каротажа. В свою очередь, в интервалах залегания тонкоотмученных глин выделяются еще более устойчивые по характеру рисунков геофизических исследований интервалы кривых, характеризующихся экстремальными значениями кажущихся сопротивлений и спонтанной поляризации (минимум КС и максимум ПС), удачно поименованные Г. И. Плавником [8, 9] «ядрами» глинистых покрывшек.

Методы

Основой использованного в данной работе способа корреляции является многомерная детерминированно-статистическая численная модель корреляции. Особенности данной модели описаны в учебном пособии [6]. Использование термина «численная» объясняется тем, что ее достоверность, в отличие от классических статистических моделей корреляции, широко используемых в геологической практике, оценивается конкретным числом — значением множественного коэффициента корреляции R между глубинами нижнего H_n и верхнего H_g опорных реперов и глубиной исследуемого нефтегазоносного объекта H_i , с указанием координат точек их пересечения со скважиной X_i, Y_i .

В работах [5, 7] приводится детальная характеристика литологических особенностей реперов H_n и H_g с точки зрения их информативности в решении задач корреляции.

Традиционный взгляд на разработку эксплуатационных объектов предполагает, что локальные особенности их строения могут быть изучены тем лучше, чем плотнее эксплуатационная сетка скважин, а при построении математической модели — чем меньше шаг сетки. Однако практика работ по освоению эксплуатационных объектов, особенно при использовании наклонных скважин, показывает, что уплотнение сетки не всегда дает желаемые результаты, и в межскважинных зонах отметки залегания картируемой поверхности не всегда соответствуют модельной поверхности. Особенно неоднозначной корреляция оказывается в условиях клиноформного строения осадочной толщи.

В данной работе на примере объекта АС11 мезозойского разреза Западно-Камынского месторождения выполнено построение многомерной детерминированно-статистической численной модели корреляции с использованием информации о координатах скважин, глубинах залегания тонкоотмученных глинистых осадков и глубины кровли объекта АС11 на основе геофизической информации по более чем 400 скважинам. В качестве верхнего опорного репера принята глубина отметки ядра тонокотмученных морских глин алымской свиты. Что касается глубины залегания нижнего опорного репера, приурочиваемому к баженовской свите, то в пределах Западно-Камынского месторождения она является весьма неоднозначной и вскрыта в незначительном количестве скважин, что делает ее использование при корреляции проблематичным. В качестве зависимой величины принята абсолютная глубина кровли пласта АС11.

Основные трудности при корреляции продуктивного горизонта АС11 в соответствии с описываемой моделью в технологическом отношении оказались связаны с отсутствием в отдельных скважинах некоторых кривых стандартного каротажа (потенциал зонд КС и самопроизвольной поляризации ПС), соответствующих глубине залегания верхнего репера или «ядра» алымской свиты. В этой ситуации использованы записи кривых радиоактивного каротажа (ГК, НКТ). Однако на примере двух выборочных скважин, приведенных на рис. 1, видно, что кривыми радиоактивного каротажа (ГК, НКТ) местоположение ядра алымской свиты отбивается менее четко, чем кривыми электрического каротажа (КС, ПС). Слева приведены кривые радиоактивного каротажа ГК и НКТ, справа кривые ПС и КС.

Следует отметить, что используемый нами статистический аппарат является лишь одним из инструментов поиска оптимального (достоверного) варианта корреляции, а основополагающим элементом является детерминированная составляющая, определяемая накопленными геологическими знаниями и представлениями об особенностях и условиях образования осадков изучаемого разреза, отображаемых кривыми ГИС, и которая в отличие от чисто статистической модели постоянно и направленно уточняется по мере углубления наших представлений и знаний о геологических реперах, как основополагающих элементах нефтегазоносных комплексов осадочного чехла Западной Сибири.

Не менее важно отметить и то, что разрабатываемая в рамках настоящей работы многомерная детерминированно-статистическая модель корреляции может быть названа и «численной моделью», поскольку ее достоверность, в отличие от всех используемых на практике моделей корреляции, оценивается одним конкретным числом — значением множественного коэффициента корреляции R , между глубинами опорных реперов (H_n , H_b) и глубиной исследуемого нефтегазоносного объекта (H_i), с указанием координат его пересечения скважиной (X_i , Y_i).

При составлении технологических схем разработки и при подсчете запасов нефти по горизонту АС11 Западно-Камынского месторождения возникает много проблем, связанных с неоднозначностью его выделения в разрезах скважин. Исходя из этого, построение многомерной детерминированно-статистической

численной модели корреляции по объекту АС11, в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [3], оказалось своевременным и важным.

В первом приближении при построении корреляции пластов использованы отбивки, полученные традиционным способом. С помощью программы Statistica 7.0 определена связь абсолютной глубины залегания кровли пласта АС11 с глубиной залегания ядра тонкоотмученной морской глины алымской свиты и пространственных координат пластопересечения:

$$H_{AC11} = a \cdot H_{Алым} + b \cdot X + c \cdot Y + d,$$

где H_{AC11} — прогнозная глубина залегания горизонта АС11, $H_{Алым}$ — глубина залегания «ядра» алымской свиты, X, Y — координаты скважин, соответствующие «ядру» алымской свиты.

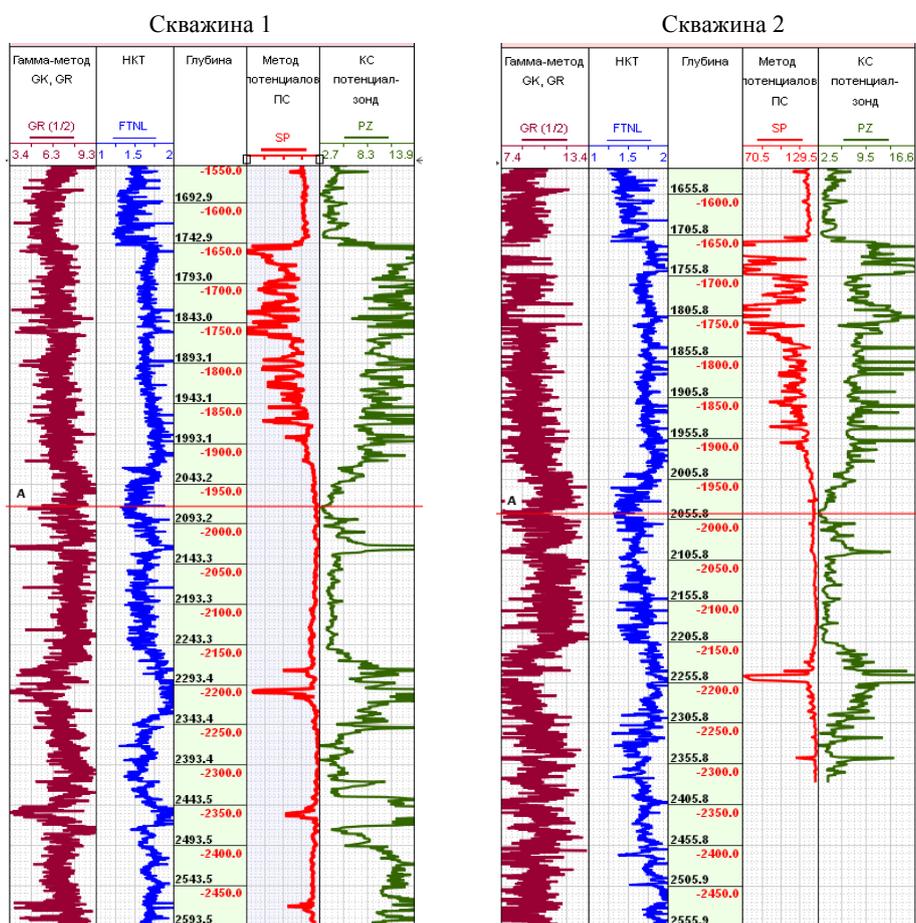


Рис. 1. Примеры характерных записей кривых электрического и радиоактивного каротажа в интервале залегания «ядра» алымской свиты

Fig. 1. Examples of the characteristic records of electric and radioactive logging curves in the interval of occurrence of the “core” of the Aлым formation

Результаты

После определения коэффициентов a , b , c и d , качество установленной связи проверено визуально (рис. 2). Сопоставление прогнозных глубин залегания горизонта АС11 с глубинами в традиционном варианте свидетельствует о существенном разбросе их значений. Как видно из рисунка, получен очень большой разброс параметров. Из рис. 2 видно, что во взаимоотношении фактических и расчетных значений образовались 2 облака точек (блок 1 и блок 2). Детальное рассмотрение показало, что эти области обособлены также и по площади объекта (рис. 3).

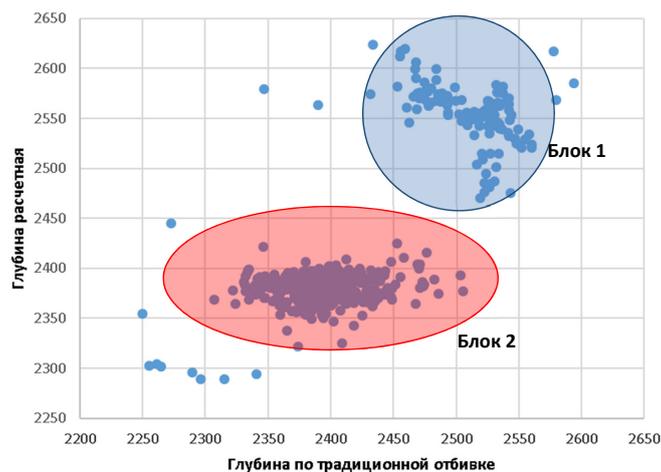


Рис. 2. Сопоставление расчетной и «фактической» глубины пласта АС11

Fig. 2. Comparison of the estimated and “actual” depth of the AS11 formation

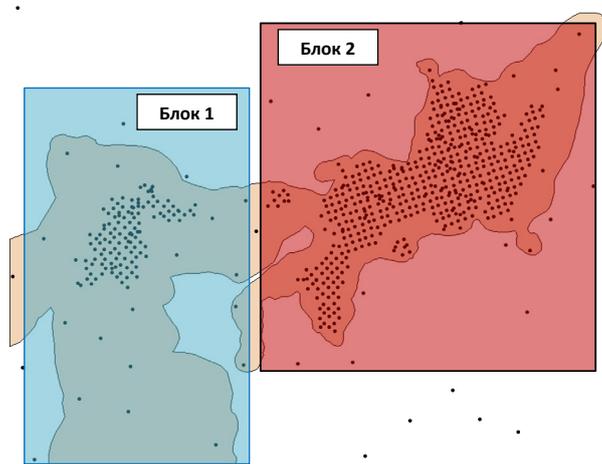


Рис. 3. Схема расположения выделенных блоков на площади Западно-Камынского месторождения

Fig. 3. The scheme of the selected blocks on the area of the Zapadno-Kamynskoye field

Анализ зависимостей между расчетными и фактическими (традиционными) глубинами горизонта АС11 для каждого из блоков показал, что в пределах блока 1 расположены скважины, характеризующиеся тесной взаимосвязью (рис. 4), а в блоке 2 взаимосвязь несущественна в статическом отношении (рис. 5).

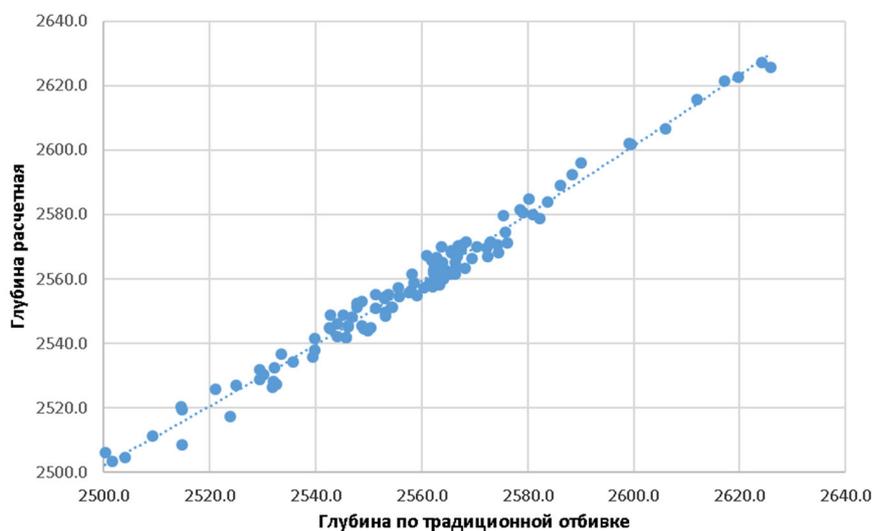


Рис. 4. Сопоставление расчетной и «фактической» глубины пласта АС11 по блоку 1

Fig. 4. Comparison of the estimated and “actual” depth of the АS11 formation for the block 1

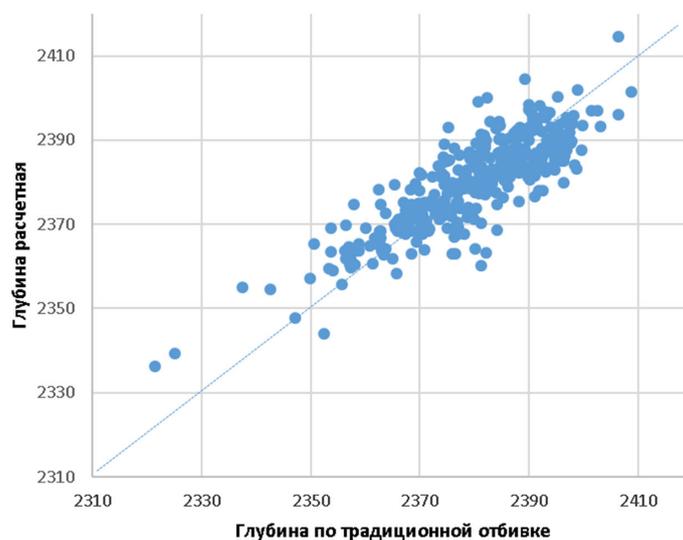


Рис. 5. Сопоставление расчетной и «фактической» глубины пласта АС11 по блоку 2

Fig. 5. Comparison of the estimated and “actual” depth of the АS11 formation for the block 1

В заключение следует отметить, что анализ отклонений отбивок пласта расчетных от полученных традиционным способом показал, что в большинстве случаев отличия связаны не только с геолого-литологическими особенностями строения, но и с техническими ошибками при построении корреляции традиционным способом, в том числе из-за стремления провести отбивку по кровле коллектора, а также с некорректной инклинометрией (замеры выполнены низкоточными приборами, экстраполяция инклинометрии при недоходе прибора).

Несмотря на наличие технических ошибок при проведении исследований, применение многомерной детерминированно-статистической численной модели корреляции позволило уточнить местоположение кровли пласта АС11 и повысить качество ранее построенных геологических моделей. Также хотелось бы подчеркнуть, что лишь «численная» модель корреляции, сочетающая в себе геологические знания об осадконакоплении и современные математические методы их обработки, позволяет обеспечить наиболее достоверное решение проблемы детальной корреляции разрабатываемых объектов, показанное на примере горизонта АС11 Западно-Камынского месторождения.

Выводы

Анализ расхождений между расчетными в рамках «численной» модели и используемых на практике глубин залегания горизонта АС11 показал, что они чаще всего обусловлены не только геологическими, но и технологическими причинами, основными из которых являются:

- 1) несовпадение координат (X, Y) пластопересечений тонкоотмученных глин алымской свиты и горизонта АС11 в наклонных и горизонтальных скважинах;
- 2) отсутствие или недоступность по отдельным скважинам материалов стандартного каротажа в интервалах залегания алымской свиты, осложняющее установление глубины ее «ядра»;
- 3) неточное измерение кривизны ствола скважины инклинометрией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадьянов В. А. Методы компьютерного моделирования в задачах нефтегазопромысловой геологии / В. А. Бадьянов. Тюмень; Шадринск: ОГУП Шадринский дом печати, 2011. 184 с.
2. Нестеров И. И. Закономерность взаимосвязи стратиграфических поверхностей в природных седиментационных бассейнах платформ / И. И. Нестеров // Теоретические и методологические вопросы геологии нефти и газа. Новосибирск: Наука, 1981.
3. Нестеров И. И. Уплотнение глинистых пород / И. И. Нестеров // Советская геология. 1965. № 12.
4. Нестеров И. И. Экранирующие свойства глинистых пород над залежами нефти и газа Западной Сибири / И. И. Нестеров, И. Н. Ушатинский // Советская геология. 1971. № 5. С. 51-63.

5. Никашкин А. М. Геолого-математическая модель корреляции осадочных толщ и ее использование для решения актуальных задач нефтегазовой геологии / А. М. Никашкин, А. В. Рыльков, А. А.Климов // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2015. Том 1. № 4. С. 80-90.
6. Никашкин А. М. Геолого-математическое моделирование корреляции осадочных толщ. Учебное пособие для студентов / А. М. Никашкин, А. В. Рыльков. Тюмень, 2013.
7. Никашкин А. М. Гидропроводность продуктивных пластов. Учебное пособие для студентов / А. М. Никашкин, А. В. Рыльков. Тюмень: Альфа-Станп, 2015. 184 с.
8. Плавник Г. И. Морфология и история формирования локальных поднятий Среднего Приобья и Надым-Тазовского междуречья / Г. И. Плавник // Сравнительная оценка перспектив нефтегазоносности локальных поднятий Среднего Приобья и севера Западно-Сибирской Плиты по структурному фактору / под ред. д.г.-м.н., проф. М. Я. Рудкевича. Тюмень, 1971. Труды ЗапСибНИГНИ. Вып. 47. С. 5-67.
9. Плавник Г. И. Особенности размещения ловушек в дельтовых отложениях (на примере неокома Западной Сибири) / Г. И. Плавник // Физико-литологические особенности и коллекторские свойства продуктивных пород глубоких горизонтов Западной Сибири. Тюмень: Изд-во ЗапСибНИГНИ, 1988, С. 77-82.
10. Ушатинский И. Н. Экранирующие свойства и классы глинистых пород-покрышек нефтегазоносных горизонтов Западной Сибири и их влияние на формирование залежей нефти / И. Н. Ушатинский, И. И. Нестеров, П. Я. Зининберг // Труды ЗапСибНИГНИ. 1970. Вып. 35.

Anatoly M. NIKASHKIN¹
Alexey A. KLIMOV²

UDC 550.7.02

**APPLICATION OF A MULTIDIMENSIONAL
DETERMINISTIC-STATISTICAL NUMERICAL
CORRELATION MODEL TO REFINE
THE STRUCTURE OF THE AS11 HORIZON
OF THE ZAPADNO-KAMYNSKOYE FIELD**

¹ Cand. Sci. (Geol.-Mineral.),
Tyumen Branch of SurgutNIPIneft

² Deputy Head of Department,
Tyumen Branch of SurgutNIPIneft
klimov_aa@surgutneftegas.ru

Abstract

One of the primary and significant tasks in the construction of geological models of oil and gas reservoirs and development facilities is the problem of correlation of productive layers. This task, as a rule, is reduced to the identification and areal tracing of presumably even-aged oil and gas strata, horizons, and layers characterized by clear boundaries between sand strata and clay layers overlapping them. The practice of work related to modeling the structure of oil and gas horizons, layers and strata indicates that the correlation is not always unambiguous. The ambiguity is especially noticeable when correlating strata characterized by a clinoform structure, one of the examples is the Achimov strata. The most reliable basis for well correlation is GIS materials and lithological features of the interlayers forming individual layers. Clay interlayers and clay strata separating productive deposits provide valuable information when choosing a correlation model in sedimentary sections. These interlayers are characterized by the greatest consistency in area and are most clearly

Citation: Nikashkin A. M., Klimov A. A. 2021. "Application of a multidimensional deterministic-statistical numerical correlation model to refine the structure of the AS11 horizon of the Zapadno-Kamynskoye field". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 7, no. 3 (27), pp. 123-135.
DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-3-123-135

displayed on geophysical diagrams by the nature of the drawings of GIS curves. However, even in this case, i. e. when using the entire accumulated volume of the most diverse lithological and field-geophysical information, the correlation models of the sections turn out to be different and often even opposite. In this paper, the authors had to face a similar situation when correlating the horizon AS11 of the Zapadno-Kamynskoye field. The paper describes a method for clarifying the position of the chops of the productive horizon of oil and gas deposits using a multidimensional deterministic-statistical numerical model of the correlation of sedimentary strata. The proposed approach allows us to uniquely determine the positions of the chops in the conditions of a complex geological structure of the object, high thin-layered heterogeneity. A concrete example shows the advantages of the proposed approach in comparison with the traditional one.

Keywords

Geological and mathematical model, deterministic and statistical model, correlation, layer roof, horizon chipping, geological marker, reference point, cliniform, logging, thin-ground clay.

DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-3-123-135

REFERENCES

1. Badyanov V. A. 2011. The Methods of Computer Modeling in the Problems of Oil and Gas Field Geology. Tyumen; Shadrinsk: OGUP Shadrinsky dom pechati. 184 pp. [In Russian]
2. Nesterov I. I. 1981. "Regularity of the relationship of stratigraphic surfaces in natural sedimentation basins of platforms". In: Theoretical and Methodological Issues of Oil and Gas Geology. Novosibirsk: Nauka. [In Russian]
3. Nesterov I. I. 1965. "Compaction of clay rocks". *Sovetskaya geologiya*, no. 12. [In Russian]
4. Nesterov I. I., Ushatinsky I. N. 1971. "Screening properties of clay rocks over oil and gas deposits in Western Siberia". *Sovetskaya geologiya*, no. 5, pp. 51-63. [In Russian]
5. Nikashkin A. M., Rylkov A. V., Klimov A. A. 2015. "Geological and mathematical model of correlation of sedimentation mass and its use for solving crucial task in petroleum geology". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, and Energy, vol. 1, no. 4, pp. 80-90. [In Russian]
6. Nikashkin A. M., Rylkov A. V. 2013. Geological and Mathematical Modeling of the Correlation of Sedimentary Strata. Students' Textbook. Tyumen. [In Russian]
7. Nikashkin A. M., Rylkov A. V. 2015. Hydroconductivity of Productive Layers. Students' Textbook. Tyumen: Alfa-Stamp. 184 pp. [In Russian]
8. Plavnik G. I. 1971. "Morphology and history of the formation of local uplifts of the Middle Ob and Nadym-Taz interfluv". In: Rudkevich M. Ya. (ed.). Comparative Assessment of the Oil and Gas Potential of Local Uplifts of the Middle Priobie and the North of the West Siberian Plate by the Structural Factor. *Trudy ZapSibNIGNI*. Vol. 47, pp. 5-67. Tyumen. [In Russian]

9. Plavnik G. I. 1988. "Features of the placement of traps in deltaic sediments (on the example of the Neocomian of Western Siberia)". In: Physical and Lithological Features and Reservoir Properties of Productive Rocks of Deep Horizons in Western Siberia, pp. 77-82. Tyumen: Izdatelstvo ZapSibNIGNI. [In Russian]
10. Ushatinsky I. N., Nesterov I. I., Zininberg P. Ya. 1970. "Shielding properties and classes of clay rocks-tires of oil and gas bearing horizons of Western Siberia and their influence on the formation of oil deposits". Proceedings of ZapSibNIGNI, vol. 35. [In Russian]