

Секвенс-стратиграфическая модель как современный инструмент интерпретации сейсмических данных

Е.А. Потапова

ООО «НОВАТЭК НТЦ», Тюмень, Россия

e-mail: Elena.Potapova@novatek.ru

В работе выполнено построение секвенс-стратиграфических моделей для клиноформной части разреза на изученной эксплуатационным бурением территории в пределах Надым-Пурской нефтегазоносной области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Цель исследования состояла в выявлении закономерностей распределения коллекторских свойств ачимовских объектов и обосновании системного подхода к корреляции отражающих горизонтов. Главная задача – обозначить характерные особенности системных трактов на основе данных ядра хорошо изученного месторождения. Для решения поставленной задачи проведена классификация отложений, изученных керном в скважинах, в рамках секвентной модели. Для подтверждения теоретических представлений о формировании улучшенных зон коллекторов в системных трактах выполнен анализ фильтрационно-емкостных параметров (пористость, проницаемость). Сделаны выводы о связи коллекторских свойств резервуаров с типом системного тракта, в котором формировались отложения. Сформулированы выводы о необходимости интерпретации сейсмического разреза согласно принципам секвенс-стратиграфии, обозначены критерии для прослеживания отражающих горизонтов. На основе выполненного анализа предложен алгоритм построения модели, обеспечивающий прогноз зон с улучшенными коллекторскими свойствами. Обозначен ряд преимуществ относительно бессистемного подхода при корреляции отражающих горизонтов.

Ключевые слова: секвенс-стратиграфия, клиноформный комплекс, зоны улучшенных коллекторов, отражающий горизонт

Для цитирования: Потапова Е.А. (2023). Секвенс-стратиграфическая модель как современный инструмент интерпретации сейсмических данных. *Георесурсы*, 25(3), с. 27–33. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.4>

Введение

В пределах севера Западной Сибири одним из основных резервуаров, перспективных для открытия крупных нефтяных месторождений, является ачимовская толща, где формируются ловушки литологического типа. Ачимовская толща – это составная часть клиноформных комплексов, при моделировании которых многими авторами используется метод секвенс-стратиграфии (Лебедев, 2018; Потапова, 2018; Жемчугова и др., 2021; Храмцова и др., 2022; Игошкин и др., 2022). Этот метод является одним из наиболее точных для восстановления геологической истории формирования отложений с использованием теоретических принципов седиментации и подробно описан в литературе (Catuneanu, 2006; Posamentier, Vail, 1988; Plint, Nummedal, 2000).

Секвенс-стратиграфические подразделения описываются в дополнении к Стратиграфическому кодексу России (Жамойда и др., 2000), как специальные стратиграфические подразделения, которые применяются для стратиграфического анализа осадочного выполнения бассейнов. Авторами дополнений к стратиграфическому кодексу (Жамойда и др., 2000) отмечается большая ценность метода секвенс-стратиграфии, заключающегося в высокой прогностической способности обнаружения коллектора.

Согласно выводам основоположников теории секвентной стратиграфии (Catuneanu, 2006; Posamentier, Vail, 1988; Plint, Nummedal, 2000), существует 5 моделей секвенсов (Depositional Sequence II, Depositional Sequence III, Depositional Sequence IV, Genetic Sequence, T-R Sequence), которые отличаются терминологией отдельных системных трактов, а также поверхностью, ограничивающей секвенс. Системные тракты для всех моделей секвенсов выделены по типам вертикального напластования осадочных толщ (Stratal stacking patterns), которые закономерно сменяют друг друга в разрезе. Трансгрессивный тип сменяется нормально регрессивным типом при высоком стоянии уровня моря, затем форсированно регрессивным типом, и далее нормально регрессивным типом при низком стоянии уровня моря.

Генетический тип секвенса (Genetic sequence), по мнению автора данной работы, наиболее подходит для секвенс-стратиграфического моделирования в условиях Западной Сибири, т.к. границы поверхности максимального затопления соответствуют региональным глинистым пачкам (Решение 6-го межведомственного стратиграфического совещания, 2004), что удобно при анализе сейсмофациальных комплексов (Потапова, 2018). Поэтому при построении секвенс-стратиграфической модели клиноформ Западной Сибири предлагается использовать

HST (Highstand systems tract)	Системный тракт высокого стояния уровня моря
FSST (Falling-stage systems tract)	Системный тракт падения уровня моря
LST (Lowstand systems tract)	Системный тракт низкого стояния уровня моря
TST (Transgressive system tract)	Трансгрессивный системный тракт
BSFR (Basal surface of forced regression)	Базальная поверхность форсированной регрессии
CC (Correlative conformity)	Коррелятивная поверхность субаэральной эрозии
MRS (Maximum regressive surfaces)	Поверхность максимальной регрессии
MFS (Maximum flooding surface)	Поверхность максимального затопления
SU (Subaerial unconformity)	Поверхность субаэральной эрозии

Табл. 1. Основные сокращения, используемые для обозначения границ и системных трактов

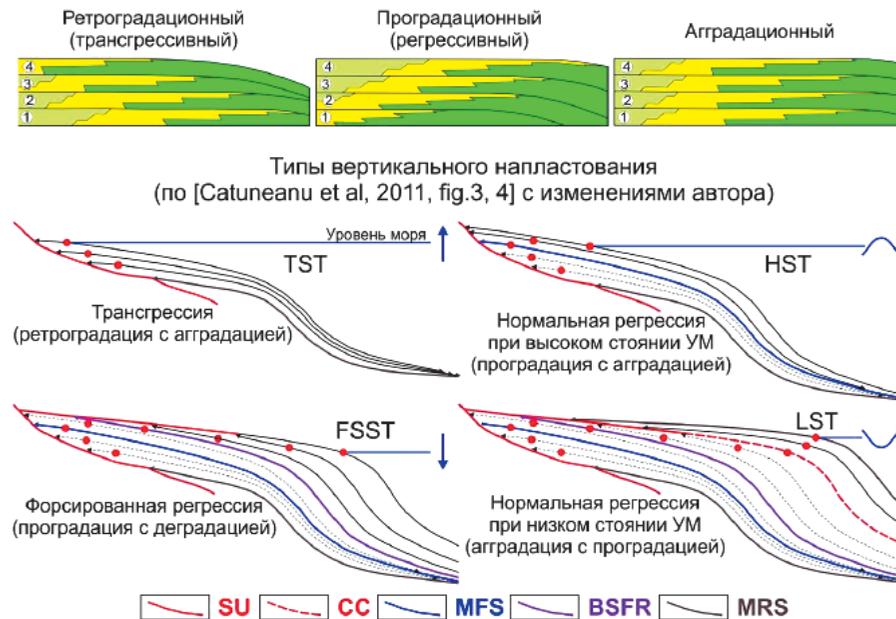


Рис. 1. Типы вертикальных последовательностей и особенностей напластования теоретической модели секвенса на основе данных (Van Wagoner, 1995; Catuneanu et al., 2011)

именно генетический тип секвенса. В таблице 1 приведена расшифровка аббревиатур, используемых в модели секвенса. На рис. 1 показаны типы вертикальных последовательностей идеального секвенса.

Так как структура одного секвенса является упорядоченной, она может использоваться и при переносе свойств с изученного объекта на неизученный методом аналогии, что является предложением автора по новому применению данного инструмента. Для реализации такого подхода автором в рамках настоящего исследования выполнен статистический анализ петрофизических параметров (пористость, проницаемость), выполнено сопоставление свойств относительно разных системных трактов, сформулированы выводы о применимости полученных результатов при интерпретации неизученных территорий.

Материалы и методы

Объектом для анализа фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) были выбраны ачимовские отложения клиноформного комплекса Надым-Пурской нефтегазоносной области (НГО), где пробурено достаточное количество скважин, в которых лабораторными методами в рамках подсчета запасов определены пористость и проницаемость на образцах керна.

Выполнено моделирование секвенса по выбранным сейсмическим профилям и соотнесение пластов

с определённым системным трактом (рис. 2–4). В первую очередь в рамках исследования были определены отражающие горизонты (ОГ), которые являются кровлями трансгрессивных пачек глин и одновременно границами генетических секвенсов. Такие границы хорошо выделяются в скважинах по данным геофизических исследований (ГИС) и характеризуются выдержанными фазами на сейсмических разрезах.

Внутри секвенса для установления границ системных трактов HST, FSST и LST выполнен анализ типов вертикального напластования (рис. 1).

Далее пласты, проиндексированные ранее по скважинам, были сопоставлены с выделенными системными трактами. На рис. 2 приведен разрез в северной части участка. Здесь пласты Ач3 относятся к системному тракту LST, пласты Ач4 и Ач5 – к FSST, пласты Ач6 – к HST. На рис. 3 приведен разрез в южной части исследуемого участка. На рис. 4 приведен разрез в крест простирания, на котором показана увязка разрезов между собой.

Всем образцам с определенными в лабораторных условиях при подсчете запасов значениями пористости (K_n) и проницаемости ($K_{пр}$) помимо приуроченности к пласту присвоены типы системных трактов.

Распределение зависимости K_n от $K_{пр}$ всего облака данных приведено на рис. 5.

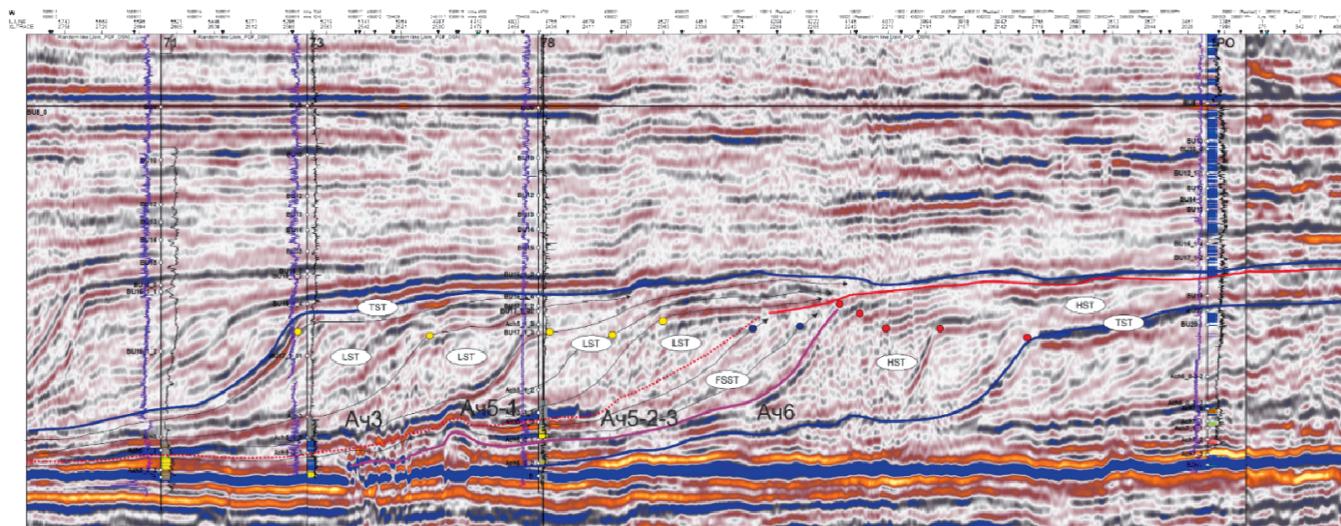


Рис. 2. Секвенс-стратиграфический разрез клиноформного комплекса в северной части участка

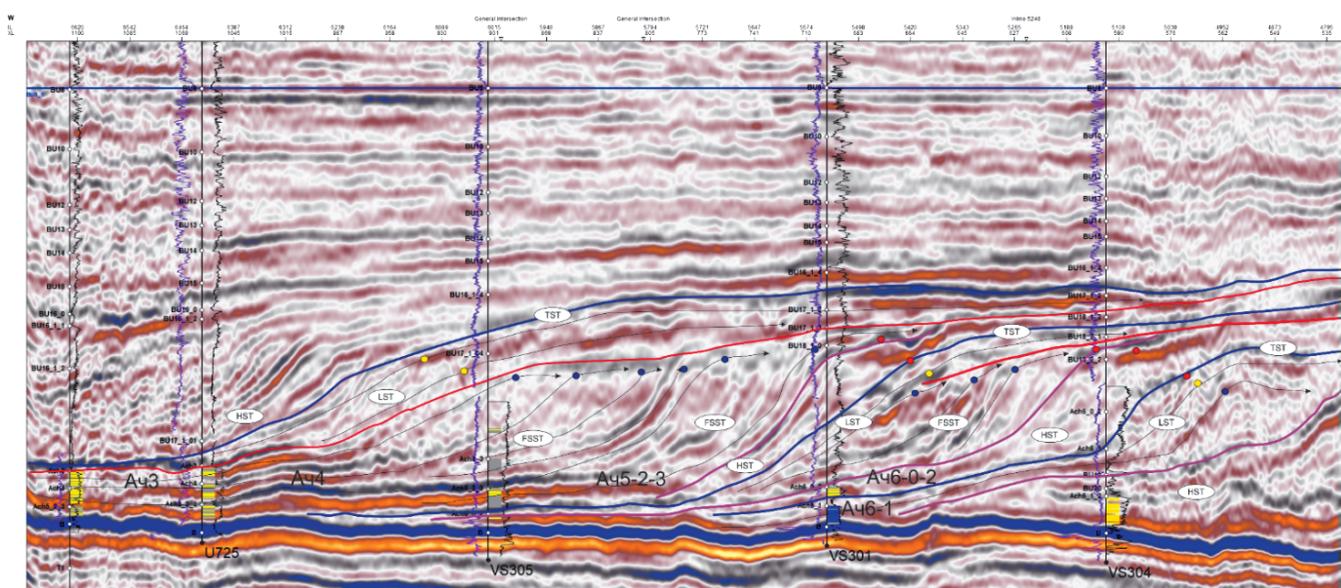


Рис. 3. Секвенс-стратиграфический разрез клиноформного комплекса в южной части участка

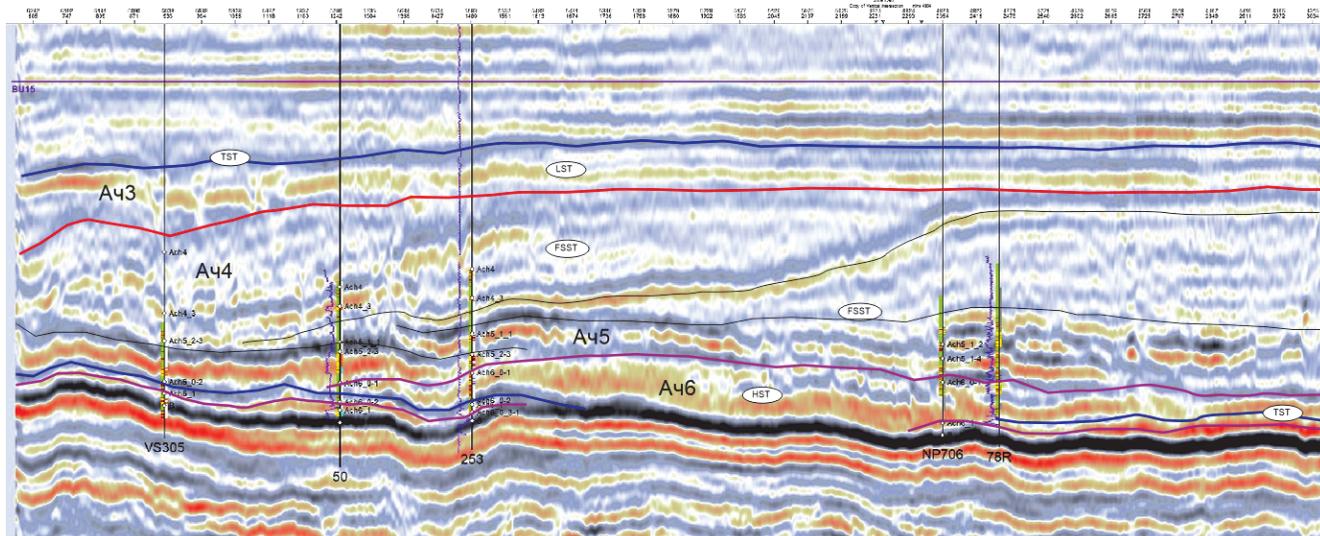


Рис. 4. Секвенс-стратиграфический разрез клиноформного комплекса в крест профилей 1 и 2

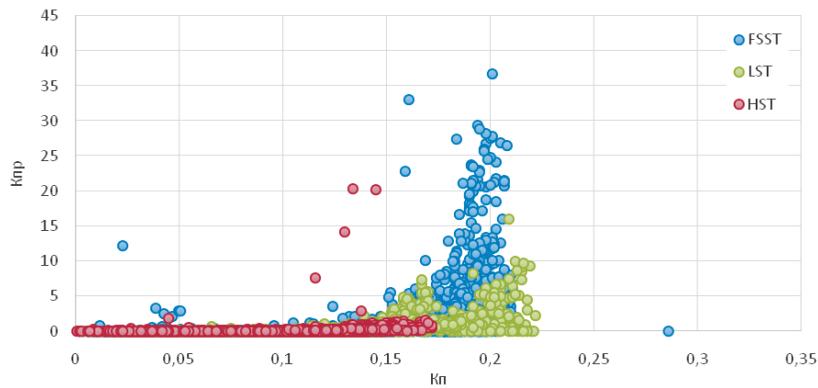


Рис. 5. График зависимости K_n/K_{np} в образцах керн, привязанных к определенным системным трактам

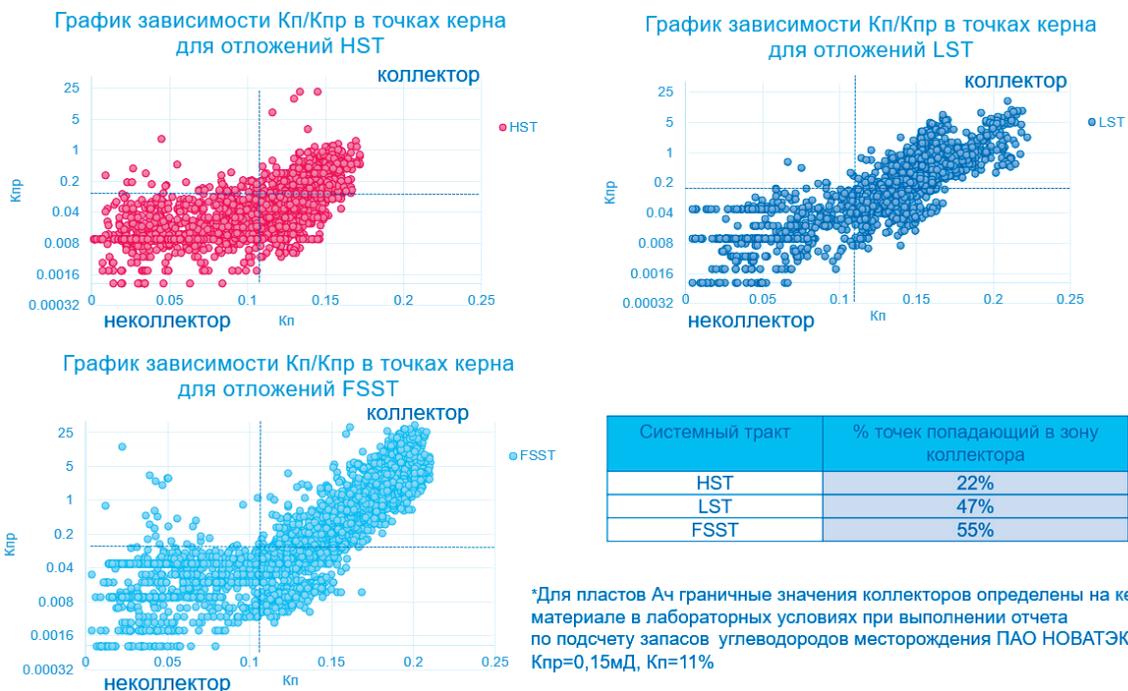


Рис. 6. Анализ распределения коллекторов в образцах керн и обоснование вероятности наличия коллектора для каждого системного тракта

Выполнен анализ распределения коллекторов в образцах керн с учетом граничных значений, принятых для изучаемого месторождения (рис. 6).

Наибольший процент коллекторов по лабораторным данным характерен для отложений системных трактов LST (47% образцов) и FSST (55% образцов). Системный тракт HST представлен коллекторами всего в 22% всех исследуемых образцов керн.

Для дальнейшего анализа отдельно по каждому системному тракту приводятся графики распределения данных по проницаемости (рис. 7). В системном тракте FSST 22% случаев имеют значение более 2 мД. Это говорит о том, что эти отложения могут быть более продуктивны при вовлечении в разработку, чем отложения системных трактов LST и HST. Самые меньшие значения проницаемости (0–0,5 мД) наблюдаются в системном тракте HST, что говорит о малоперспективности этого системного тракта.

На графиках распределения значений пористости установлены модальные значения (moda) при этом стоит отметить, что они выше среднearифметических по всем трем системным трактам (рис. 8). Наиболее высокие значения

(модальные) наблюдаются в системном тракте FSST, при этом средние арифметические значения пористости в LST и FSST приблизительно равны. Системный тракт HST отличается очень низкой пористостью – средние значения в нем равны 0,097, что меньше даже граничного значения коллектора.

Обсуждение результатов

В результате проведенного анализа автором установлена взаимосвязь между системным трактом и качеством коллектора ачимовской толщи. Улучшенными коллекторскими свойствами обладают ачимовские объекты, открытые в системном тракте падения уровня моря FSST. Данное свойство рекомендуется учитывать при изучении перспективных территорий. Ачимовские отложения исследовались более чем в 9000 образцах керн, что говорит о высокой достоверности результата.

Для того чтобы можно было установить системный тракт, в котором происходила седиментация, необходимо использовать секвенс-стратиграфический анализ как инструмент при корреляции отражающих горизонтов.



Рис. 7. Анализ распределения проницаемости в образцах керна с учетом их приуроченности к системному тракту

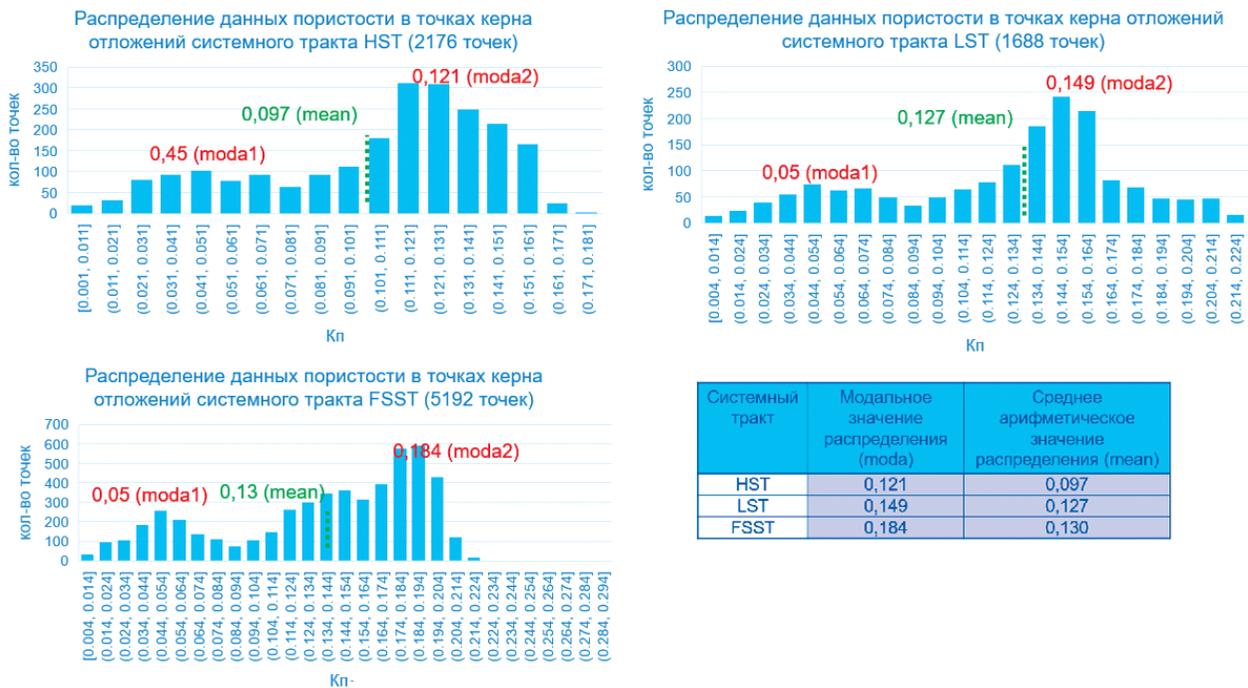


Рис. 8. Анализ распределения пористости в образцах керна с учетом их приуроченности к системному тракту



Рис. 9. Алгоритм реализации использования секвенс-стратиграфии в сейсмической интерпретации

На рис. 9 приведен алгоритм построения модели и интерпретации отражающих горизонтов, разработанный автором.

Выполнение последовательных действий алгоритма обеспечит выявление всех элементов секвенса и выбор первоочередных объектов для изучения, согласно полученным результатам.

Заключение

В рамках проведенных исследований выполнено следующее:

- Построена секвенс-стратиграфическая модель месторождения в ачимовской толще ПАО «НОВАТЭК», расположенного в пределах Надым-Пурской НГО Западно-Сибирской НГП.
- Все пласты ачимовской толщи сопоставлены с системными трактами. Собрана статистика по параметрам пористости и проницаемости, проведен анализ распределений значений в пределах системных трактов.
- Установлены закономерности между ФЕС и системным трактом, выявлены наиболее перспективные отложения.
- Разработан алгоритм построения модели и интерпретации отражающих горизонтов с учетом секвенс-стратиграфического метода, и даны рекомендации по его применению на стадии поисковых работ.

Как итог анализа всех исходных данных можно сделать следующие выводы:

1. Вся ачимовская толща согласно секвентной модели делится на 3 системных тракта: LST, FSST, HST;
2. Объекты, выделенные в FSST и LST, лучше по фильтрационно-емкостным свойствам согласно проведенному анализу (фактическим данным керн);
3. Системный тракт HST в ачимовской части обладает плохими коллекторскими свойствами.

Отмечается несколько преимуществ использования секвенс-стратиграфической модели относительно бессистемного подхода при корреляции ОГ. Первым из них является систематизированное выделение основных зон нефтегазоаккумуляции на этапе построения структурного каркаса. Так как поверхности структурного каркаса полностью повторяют положение в разрезе системных трактов, то все свойства, характерные для системных трактов, проецируются на пласты, заключенные между этими поверхностями. Из этого положения следует преимущество – зоны нефтегазоаккумуляции можно ранжировать по перспективности с учетом распределения ФЕС резервуаров. Все отражающие горизонты фиксируют смену характера седиментации, образование стратиграфических экранов для возможных ловушек контролируется выклиниванием отражающих горизонтов, что снижает вероятность пропущенных ловушек.

Основным выводом из работы является заключение, что прослеживание отражающих горизонтов с одновременным выделением всех элементов секвенса повышает качество итоговой модели, т.к. все стратиграфические особенности формирования пластов учитываются на этапе построения структурного каркаса.

При интерпретации сейсморазведочных данных на поисково-разведочном этапе рекомендуется начинать с

выявления основных типов вертикального напластования осадочных толщ, для того чтобы установить положение секвенс-стратиграфических поверхностей и системных трактов в разрезе; далее на основе этого выполнять корреляцию отражающих горизонтов, соблюдая принципы секвенс-стратиграфического анализа. Выполненная таким образом корреляция сможет обеспечить высокую детальность итоговой модели, снизит риск пропуска ловушек, облегчит выбор аналогов для оценки ресурсного потенциала.

Литература

Жамойда А.И., Ковалевский О.П., Корень Т.Н., Маргулис Л.С. и др. (2000). Дополнения к Стратиграфическому кодексу России. СПб.: Изд.-во ВСЕГЕИ, 112 с.

Жемчугова В.А., Рыбальченко В.В., Шарданова Т.А. (2021). Секвенс-стратиграфическая модель нижнего мела Западной Сибири. *Георесурсы*, 23(2), с. 179–191. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.18>

Игошкин С.В., Балдин В.А., Игошкин В.П. (2022). Региональная секвенс-стратиграфическая модель Западной Сибири – основа для ГРП зональных и локальных проектов, разработки месторождений УВ. В сборнике: Геология и геофизика - 2022: наука, производство, инновации. *Материалы II Международной научно-практической конференции*. Тверь, с. 166–170.

Лебедев М.В. (2018). Фациальные несогласия и фациальные серии в секвенс-стратиграфии. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*, 6(132), с. 24–32. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2018-6-24-32>

Потапова Е.А. (2018). Секвенс-стратиграфическая модель нижнемелового клиноформного комплекса в зоне сочленения Среднемессояхского вала с Большехетской впадиной и прогноз структурно-литологических ловушек: Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Тюмень: ТИУ, 137 с.

Решение 6-го межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири (2004). Новосибирск.

Храмцова А.В., Лебедев М.В., Васильев В.Е., Бабурин А.Н., Дубровина Л.А., Розбаева Г.Л. (2022). Секвенс-стратиграфическая модель как основа изучения фациальной структуры клиноформного неокана севера Западной Сибири. В сборнике: *Эколит – 2022. Литология осадочных комплексов фанерозоя и докембрия. Годичное собрание (научные чтения)*. Москва, с. 143–145.

Catuneanu O. (2006). Principles of sequence stratigraphy. Amsterdam: Department of Earth and Atmospheric Sciences University of Alberta, 375 p.

Catuneanu O., Galloway W.E., Kendall C.G.St.C., Miall A.D., Posamentier H.W., Strasser A. and Tucker M.E. (2011). Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature. *Newsletters on Stratigraphy*, (44), pp. 173–245. <https://doi.org/10.1127/0078-0421/2011/0011>

Posamentier H.W., Vail P.R. (1988). Eustatic controls on clastic deposition II – sequence and systems tract models. *The society of economic Paleontologist and Mineralogist, Sea-Level Changes – An integrated Approach. SEPM Special Publication*, (42). <https://doi.org/10.2110/pes.88.01.0125>

Plint A.G., Nummedal D. (2000). The falling stage systems tract: recognition and importance in sequence stratigraphic analysis. In: *Sedimentary Response to Forced Regression* (D. Hunt and R. L. Gawthorpe, Eds.), pp. 1–17. Geological Society of London Special Publication. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.172.01.01>

Van Wagoner J.C. (1995). Overview of sequence stratigraphy of foreland basin deposits: terminology, summary of papers, and glossary of sequence stratigraphy. In: *Sequence Stratigraphy of Foreland Basin Deposits* (J.C. Van Wagoner and G.T. Bertram, Eds.), pp. ix–xxi. American Association of Petroleum Geologists Memoir 64. <https://doi.org/10.1306/M64594C5>

Сведения об авторе

Елена Александровна Потапова – кандидат геол.-минерал. наук, старший эксперт

ООО «НОВАТЭК НТЦ»

Россия, 625026, Тюмень, 50 лет ВЛКСМ, д. 53

e-mail: Elena.Potapova@novatek.ru

Статья поступила в редакцию 26.06.2023;

Принята к публикации 11.09.2023;

Опубликована 30.09.2023

Sequence stratigraphic model as a modern tool for seismic data interpretation

E.A. Potapova

NOVATEK Scientific and Technical Center, Tyumen, Russian Federation
e-mail: Elena.Potapova@novatek.ru

Abstract. The sequence stratigraphic models for the clinoform part of the section in the territory studied by production drilling within the Nadym-Pur oil and gas region of Western Siberia are constructed. The purpose of study was to identify patterns in the distribution of reservoir properties of the Achimov objects and substantiate a systematic approach to the correlation of reflecting horizons. The main task is to identify the characteristic features of systemic tracts based on core data from a well-studied field. To solve the problem, a classification of sediments studied by core in wells was carried out within the framework of a sequence model. To confirm theoretical concepts about the formation of improved reservoir zones in system tracts, an analysis of filtration and capacitance parameters (porosity, permeability) was performed. There is the relationship between the reservoir properties and the type of system tract in which the deposits were formed. The seismic section requires the interpretation according to the principles of sequence stratigraphy, and criteria for tracing reflecting horizons. An algorithm for constructing a model is proposed that provides a forecast of zones with improved reservoir properties. A number of advantages for the unsystematic approach to correlating reflecting horizons are given.

Keywords: sequence stratigraphy, clinoform complex, zones of improved reservoir zones, reflecting horizons

Recommended citation: Potapova E.A. (2023). Sequence stratigraphic model as a modern tool for seismic data interpretation. *Georesursy = Georesources*, 25(3), pp. 27–33. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.4>

References

- Catuneanu O. (2006). Principles of sequence stratigraphy. Amsterdam: Department of Earth and Atmospheric Sciences University of Alberta, 375 p.
- Catuneanu O., Galloway W.E., Kendall C.G.St.C., Miall A.D., Posamentier H.W., Strasser A. and Tucker M.E. (2011). Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature. *Newsletters on Stratigraphy*, (44), pp. 173–245. <https://doi.org/10.1127/0078-0421/2011/0011>
- Decision of the 6th interdepartmental stratigraphic meeting on the consideration and adoption of refined stratigraphic schemes of Mesozoic deposits of Western Siberia (2004). Novosibirsk. (In Russ.)
- Igoshkin S.V., Baldin V.A., Igoshkin V.P. (2022). The regional sequence-stratigraphic model of Western Siberia is the basis for geological exploration

of zonal and local projects and the development of hydrocarbon fields. *Geology and Geophysics – 2022: science, production, innovation: Proc. II Int. Sci. and Pract. Conf.* Tver, pp. 166–170. (In Russ.)

Khramtsova A.V., Lebedev M.V., Vasil'ev V.E., Baburin A.N., Dubrovina L.A., Rozbaeva G.L. (2022). Sequence-stratigraphic model as a basis for studying the facies structure of the Neocomian clinoform in the north of Western Siberia. *Coll. papers: Ekzolit – 2022. Lithology of sedimentary complexes of the Phanerozoic and Precambrian. Annual meeting.* Moscow, pp. 143–145. (In Russ.)

Lebedev M.V. (2018). Facies unconformities and facies series in sequence stratigraphy. *Oil and Gas Studies*, 6(132), pp. 24–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2018-6-24-32>

Posamentier H.W., Vail P.R. (1988). Eustatic controls on clastic deposition II – sequence and systems tract models. The society of economic Paleontologist and Mineralogist, Sea-Level Changes – An integrated Approach. *SEPM Special Publication*, (42). <https://doi.org/10.2110/pec.88.01.0125>

Potapova E.A. (2018). Sequence-stratigraphic model of the Lower Cretaceous clinoform complex in the junction zone of the Srednemessoyakha swell with the Bolshekhetsk depression and forecast of structural-lithological traps. Cand. geol. and mineral. sci. diss. Tyumen: TIU, 137 p. (In Russ.)

Plint A.G., Nummedal D. (2000). The falling stage systems tract: recognition and importance in sequence stratigraphic analysis. In: *Sedimentary Response to Forced Regression* (D. Hunt and R. L. Gawthorpe, Eds.), pp. 1–17. Geological Society of London Special Publication. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.172.01.01>

Van Wagoner J.C. (1995). Overview of sequence stratigraphy of foreland basin deposits: terminology, summary of papers, and glossary of sequence stratigraphy. In: *Sequence Stratigraphy of Foreland Basin Deposits* (J.C. Van Wagoner and G.T. Bertram, Eds.), pp. ix-xxi. American Association of Petroleum Geologists Memoir 64. <https://doi.org/10.1306/M64594C5>

Zhamoyda A.I., Kovalevskiy O.P., Koren' T.N., Margulis L.S. et al. (2000). Additions to the Stratigraphic Code of Russia. St.Petersburg: VSEGEI, 112 p. (In Russ.)

Zhemchugova V.A., Rybalchenko V.V., Shardanova T.A. (2021). Sequence-stratigraphic model of the West Siberia Lower Cretaceous. *Georesursy = Georesources*, 23(2), pp. 179–191. (In Russ.) <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.18>

About the Author

Elena A. Potapova – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Expert
NOVATEK Scientific and Technical Center
53, 50 let VLKSM st., Tyumen, 625026, Russian Federation

Manuscript received 26 June 2023;
Accepted 11 September 2023; Published 30 September 2023