

Отечественное программное обеспечение для выполнения сейсмофациального анализа «SeisART». Реализованные технологии, функциональные возможности, производственное подтверждение эффективности применения.

- Акуленко А.С., Шайхлисламова А.В., ООО НПЦ «Геостра», АО «Башнефтегеофизика», г. Уфа.
- Михеев А.С., ООО «ЮКОЛА-нефть», г. Саратов.
- Писецкий В.Б., АО НПФ «Геофизика», АО «Башнефтегеофизика», г. Уфа.

Аннотация. В статье освещаются ключевые технологические и функциональные возможности специализированного программного комплекса «SeisART», разработанного компанией ООО НПЦ «Геостра» в сотрудничестве со специалистами Тегеранского университета и успешно используемого для выполнения сейсмофациального анализа волновых полей МОГТ-3D. Эффективность применения «SeisART», многократно подтверждённая результатами производственных проектов, представлена на примере работ, проведённых на одном из участков, расположенном в Средневожской нефтегазоносной области Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, в процессе которых была использована актуальная версия программного обеспечения.

Ключевые слова: сейсмофациальный анализ, интерпретация сейсмических данных, динамический анализ, отечественное программное обеспечение, SeisART, ООО НПЦ «Геостра».

Введение

Специализированные программные комплексы являются одним из основных элементов производственного процесса выполнения камеральных сейсморазведочных работ, т.к. с одной стороны представляют собой средства автоматизации, а с другой, обеспечивают возможность фактического выполнения технологических операций, представленных применением того или иного математического алгоритма, реализованного в коде программного обеспечения (ПО).

Таким образом, качество результатов камеральных работ, направленных на изучение недр методами сейсморазведки, а также длительность их получения, всецело зависят от того, какие технологии, а в производственном отношении, программные комплексы, применяются при проведении исследований данного типа.

Компания ООО НПЦ «Геостра», являясь не только производственным, но и научным центром АО «Башнефтегеофизика», на протяжении многих лет в рамках

внутренних программ развития, реализует инициативы по созданию собственного ПО, позволяющего применять на практике разработки и инновации специалистов, выполняющих работы по различным направлениям.

К примерам успеха в данном направлении можно отнести программный комплекс «GeoSeis Pro» (Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2003610472), представляющий собой интерактивную систему, предназначенную и применяемую более 10 лет для обработки и интерпретации данных скважинной сейсморазведки ВСП, НВСП, ВСП-ПИ, МОГ. В «GeoSeis Pro» в дополнение к классическим, но во многом оптимизированным, технологическим решениям, реализованы и уникальные, например, запатентованная методика определения азимутального направления трещиноватости.

При работе с данными ГИС компания уже несколько лет обеспечивает повышение эффективности выполнения проектов за счет применения модульного програм-

много комплекса «dbAssist» (Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2023611368), позволяющего решать широкий спектр разноплановых задач в направлении верификации, стандартизации и поточной работы с основными и сопутствующими данными геофизических исследований в скважинах.

Не является исключением и направление камеральной обработки и интерпретации сейсмических данных. На текущий момент компания завершает разработку собственного программного обеспечения, реализующего технологию структурно-ориентированной регуляризации Common Reflection Surface, а также применяет программный комплекс «SeisART» (Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ №2017662426) при выполнении сейсмофацеального анализа.

В 2021 году программные коды и математические алгоритмы ПО «SeisART», созданного в рамках сотрудничества со специалистами Тегеранского университета шесть лет назад, были существенно переработаны. После завершения программы бета-тестирования и принятия решения о возможности производственного применения обновленной версии ПО в 2022 году программный комплекс был успешно использован при выполнении блока работ камеральной интерпретации сейсмических данных, зарегистрированных на одном из участков недр, расположенных в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.

Принимая во внимание результативность производственного применения актуальной версии ПО, а также значительную, на текущий момент, степень заинтересованности компаний отраслевого сектора в рассмотрении эффективного отечественного программного обеспечения, из перечня программных продуктов, разработанных ООО НПЦ «Геостра», именно программный ком-

плекс «SeisART» был выбран для освещения в рамках данной статьи, открывающей цикл публикаций по теме достижения технологического суверенитета.

Технологии и функциональные возможности

Технологическое ядро программного комплекса на данный момент обеспечивает возможность выполнения сейсмофацеального анализа как в случае отсутствия скважинной информации, так и при наличии таковой, и представлено алгоритмами, позволяющими реализовать расчёты в вариантах управляемой классификации и кластеризации с предварительным выбором эталонного признака, а также возможностью автоматизированного определения оптимального количества классов.

При этом метод управляемой классификации во многих случаях является более перспективным, т.к. использование скважинной информации в процессе «обучения» алгоритма, позволяет получать геологически обоснованные результаты и уйти от проблемы недостаточной степени сходимости карт сейсмофаций и данных ГИС [1]. Тем не менее, оперативность выполнения расчётов обеспечивает возможность получения результатов по обоим вариантам, что, как правило, и реализуется в рамках производственных проектов для решения задач, связанных с уточнением литофацеальных моделей, границ замещения коллекторов, детализацией границ продуктивных залежей и т.д.

Управляемая классификация в «SeisART» выполняется с привлечением каротажных кривых в качестве эталона для математического «обучения». Данный подход позволяет интерактивно классифицировать каротажные кривые по признаку литологической принадлеж-

ности, свойств коллекторов и их насыщения. Результатом реализации варианта управляемой классификации являются кубы сейсмофаций, рассчитанные в целевом интервале [2]. Методы, применяемые для «обучения», представлены широким спектром, включающим многослойный перцептрон (MLP), метод опорных векторов (SVM), методы самоорганизующихся карт (SOM) и адаптивной нейронной сети, основанной на нечеткой системе вывода (ANFIS).

Кластеризация реализуется в двух вариантах: на основе выборки данных и по форме сегмента сейсмической трассы. Входными данными в первом случае являются атрибуты сейсмической записи, количество и состав которых определяет в процессе предварительного тестирования, включающего реализацию метода главных компонент (PCA). Во втором случае, на вход подаётся сейсмический импульс или несколько последовательных сигналов в ограниченном временном интервале. При выполнении расчётов на основе выборки данных, в результате кластеризации формируются схемы сейсмофаций в интервале исследования, при реализации расчёта на основе формы трасс, результатом являются выделенные по форме записи кластеры сейсмических фаций.

Таким образом, технологический базис «SeisART» обеспечивает реализацию таких ключевых функциональных возможностей как:

- использование геологической информации и данных ГИС для построения уточненной фациальной модели;
- создание фациальных кодов литотипов без выполнения предварительной интерпретации каротажных кривых;
- применение каротажных данных в качестве эталона для машинного обучения;

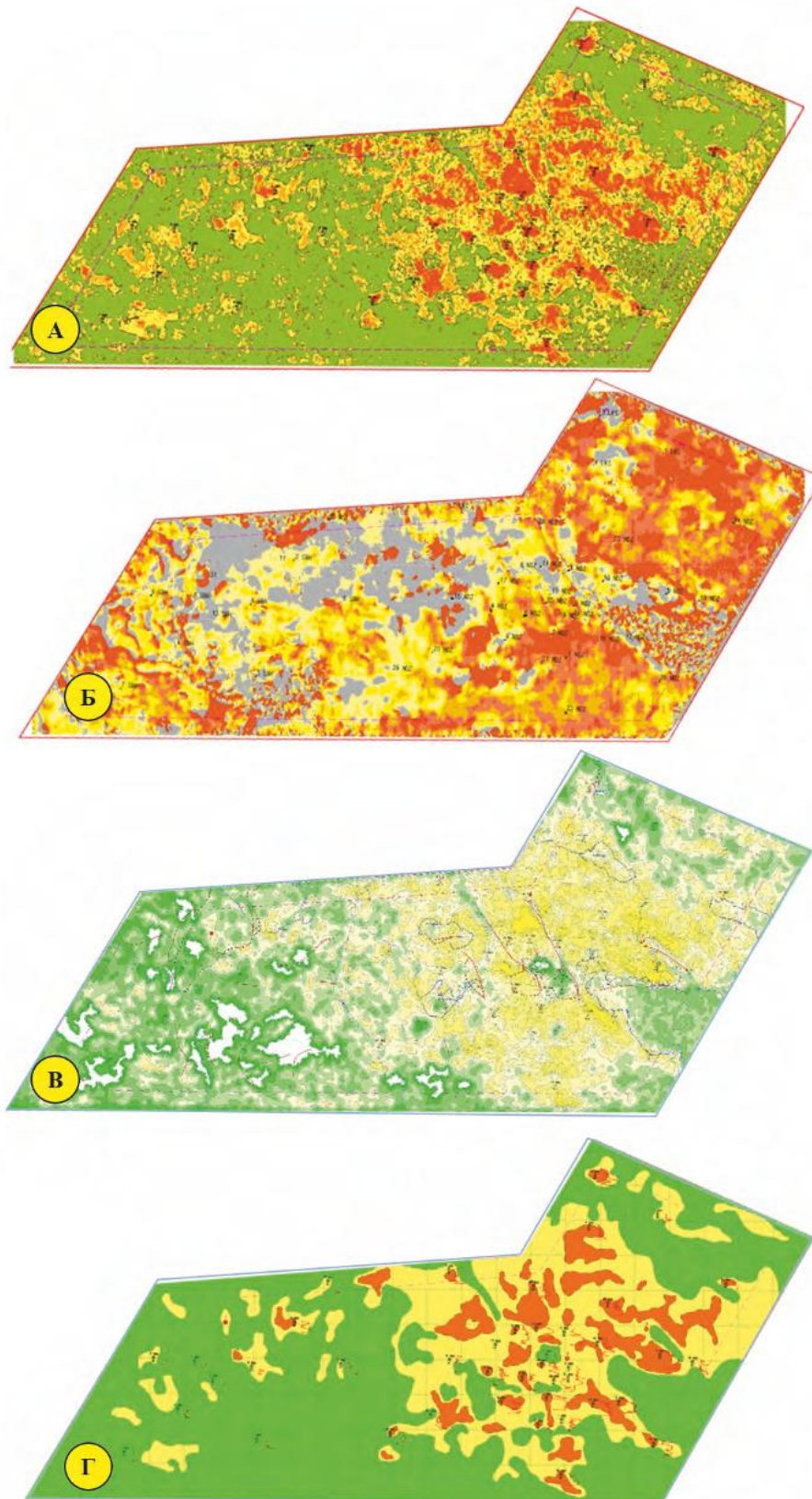
- реализация интегрированного подхода принципов нечеткой логики и нейронных сетей;

- выбора метода распознавания образов и возможность управления правилами обучения.

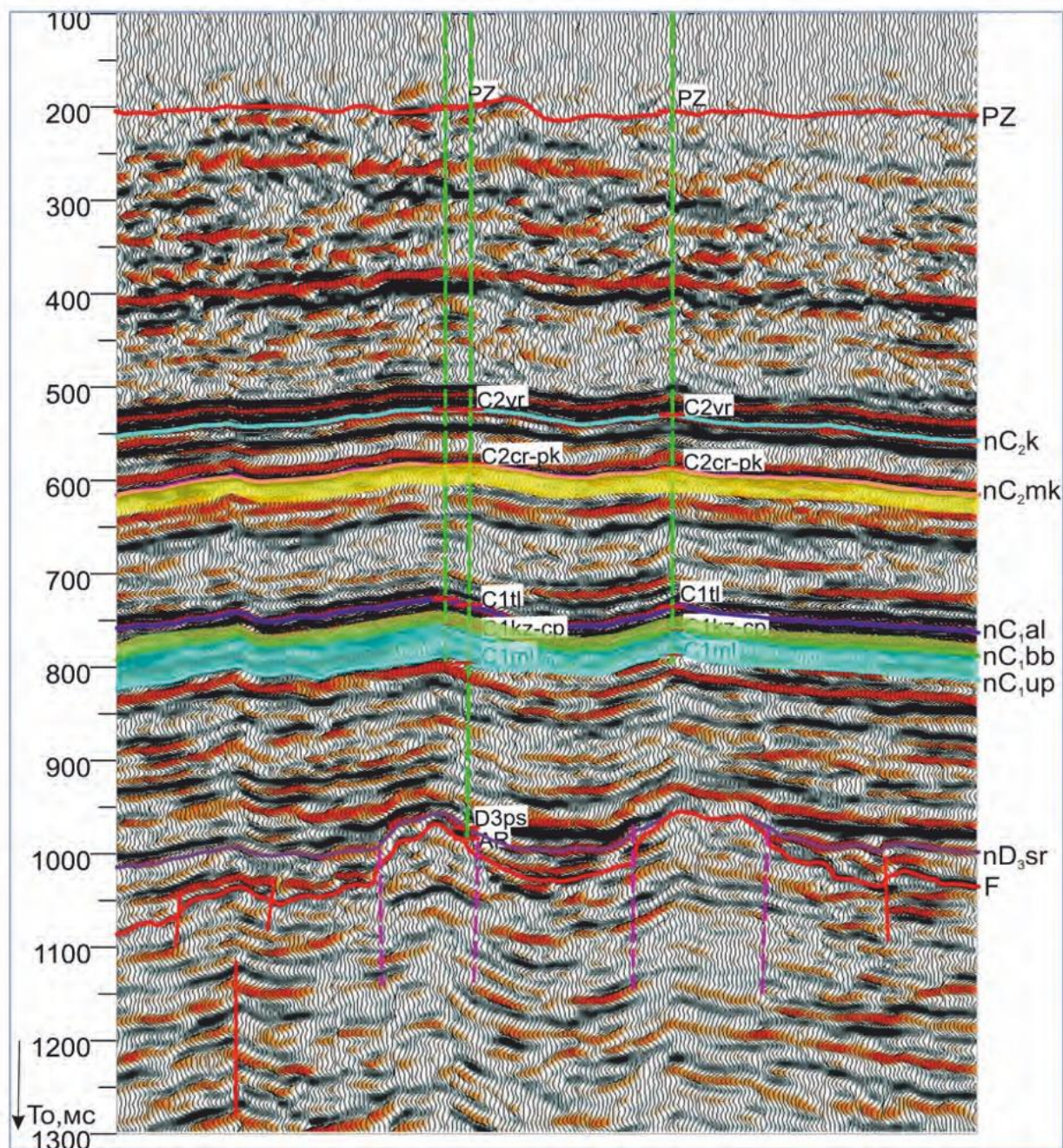
Данный функционал позволяет получать материалы, не только не уступающие по качеству результатам применения распространённых зарубежных программных комплексов, но также, во многих случаях, превосходящие их по критериям детальности и геологической непротиворечивости. Ярким примером подтверждения этого факта являются результаты, полученные при выполнении серии проектов 2018-2020 гг. по сейсмогеологическому изучению участков недр, расположенных в Республике Саха. По всем целевым пластам схемы сейсмофаций, рассчитанные в программном комплексе «SeisART» характеризовались значительно более высокой сходимостью с картами эффективных толщин, построенными по скважинным данным, по сравнению с картами сейсмофаций, рассчитанными в одном из программных комплексов зарубежной вендорной компании (Рис.1).

Производственное подтверждение эффективности применения актуальной версии программного обеспечения

Эффективность применения «SeisART» находит подтверждение и при выполнении работ в иных регионах, например, Средневолжской нефтегазоносной области Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, камеральные сейсмические исследования по одному из участков недр которой были завершены в конце 2022 года специалистами ООО НПЦ «Геостра». Осадочный чехол участка сформирован отложениями палеозойского и кайнозойского возрастов, крис-



▲ Рис. 1. Пример схемы сейсмофаций, рассчитанной по одному из пластов кызылсырской свиты в программном комплексе «SeisART» (А) и в программном комплексе зарубежной вендорной компании (Б), а также карты эффективных толщин (В), рассчитанной независимым методом на основе скважинных данных и итоговой литофациальной карты (Г), построенной на основе результатов расчёта в ПО «SeisART».



▲ Рис. 2. Пример вертикального сечения результирующего мигрированного волнового поля с цветовой маркировкой целевых пластов: пласт C2b – жёлтый цвет, пласт C1bb – зеленый цвет, пласт C1up – синий цвет.

таллический фундамент - архейско-протерозойскими породами. Основные продуктивные отложения представлены переслаивающимися песчаниками, аргиллитами и алевролитами.

Состав работ проекта, направленного на решение таких геологических задач как: прогноз литологии и коллекторских свойств продуктивных и потенциально

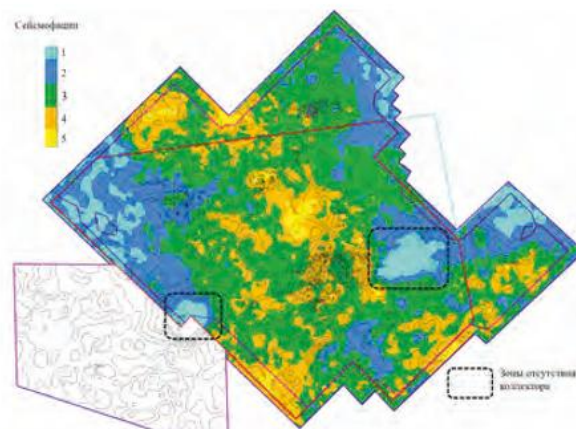
продуктивных пластов геологического разреза, уточнение геологического строения изучаемого участка недр, картирование локальных структур, после обработки сейсмических данных, предполагал выполнение комплексной интерпретации, в рамках которой технологии программного комплекса «SeisART» были применены при изуче-

Пласт	Характеристика
C_{2b} (башкирский ярус)	▪ Отложения продуктивные на нефть ▪ Пласт сложен плотными, крепкими известняками, пропластками кавернозно-трещиноватых, кристаллических и органогенно-детритовых ▪ Эффективные толщины от 4,4 м до 29,4 м ▪ Коэффициент пористости от 8,8% до 20% ▪ Пласт вскрыт 49 скважинами
C_{1bb} (бобриковский горизонт визейского яруса)	▪ Отложения продуктивные на нефть ▪ Пласт сложен переслаивающимися песчаниками, аргиллитами и алевролитами ▪ Эффективные толщины от 1,6 м до 24,5 м ▪ Коэффициент пористости от 15,4% до 27,2% ▪ Коэффициент песчанистости от 12% до 78% ▪ Пласт вскрыт 49 скважинами
C_{1up} (упинский горизонт турнейского яруса)	▪ Отложения продуктивные на нефть ▪ Пласт сложен переслаивающимися известняками и аргиллитами ▪ Эффективные толщины от 4 м до 9,4 м ▪ Коэффициент пористости от 5,5% до 15,9% ▪ Пласт вскрыт 38 скважинами

▲ Табл. 1. Краткая характеристика целевых пластов.

нии наиболее перспективных целевых пластов башкирского, визейского и турнефского ярусов (Рис.2), краткая характеристика которых представлена в Таблице 1.

Важно отметить, что по всем пластам сходимость коэффициентов корреляции RMS-амплитуд и данных бурения была низкой (не превышала значения 0,4), что являлось подтверждением бесперспективности выполнения анализа коллекторских и литолого-фациальных свойств изучаемых интервалов непосредственно по кубу амплитуд. Данная ситуация является достаточно типовой и характерна для различных регионов, что обуславливает значительное распространение работ по сейсмофациальному анализу в отрасли.



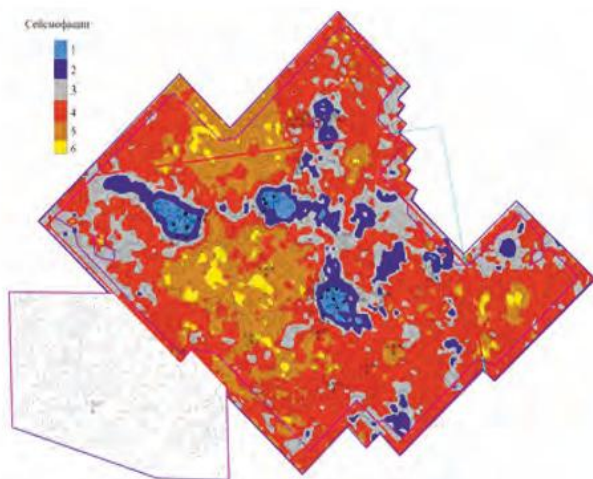
▲ Рис. 3. Схема сейсмофаций, рассчитанная на основе управляемой классификации в ПО «SeisART» в интервале пласта C_{2b} башкирского яруса.

Пласт C_{2b} башкирского яруса. При изучении данного пласта наиболее значимыми стали результаты, полученные после реализации метода управляемой классификации «SeisART» (Рис.3). Расчёт

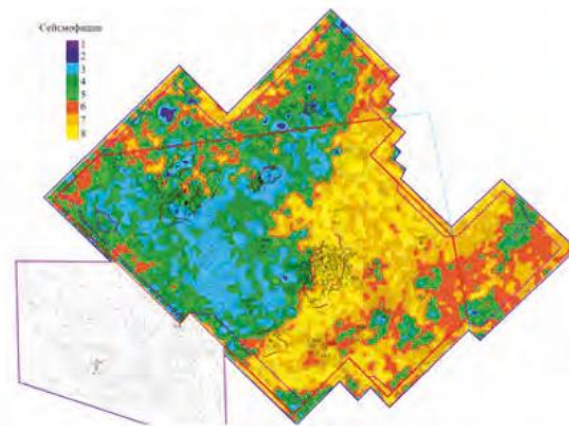
был выполнен с привлечением данных по 9 скважинам, а также серии сейсмических атрибутов.

На полученной схеме сейсмофация №2 отождествлена с породами, мощности эффективных толщин которых достигают 9 м., сейсмофации №3-5 ассоциированы с областями распределения пород с повышенным значением эффективных толщин (до 29 м). Зоны отсутствия коллектора (сейсмофация №1) выделяются однозначно. Коэффициент корреляции схемы сейсмофаций со значениями эффективных толщин пласта, рассчитанными по данным бурения независимым методом, составил 0,82, что подтверждает значительную степень сходимости полученных результатов со скважинной информацией.

Пласт C1bb бобриковского горизонта визейского яруса. Наибольший вклад в последующее построение сейсмогеологической модели пласта внесли результаты кластеризации, выполненной в ПО «SeisART» по форме сегмента сейсмической трассы (Рис.4). Коэффициенты сходимости рассчитанной схемы сейсмофаций со значениями эффективных толщин и коэффициента песчанистости составили 0,9 и 0,89 соответственно.



▲ Рис. 5. Схема сейсмофаций, рассчитанная на основе управляемой классификации в ПО «SeisART» в интервале пласта C1up упинского горизонта турнейского яруса.



▲ Рис. 4. Схема сейсмофаций, рассчитанная на основе применения метода кластеризации по форме сегмента сейсмической трассы в ПО «SeisART» в интервале пласта C1bb бобриковского горизонта визейского яруса.

Пласт C1up упинского горизонта турнейского яруса. Схема сейсмофаций, рассчитанная методом управляемой классификации обеспечила возможность пространственного прогноза параметров ФЕС по пласту, т.к. коэффициенты корреляции сейсмофаций со значениями эффективных толщин и средневзвешенной пористости превысили величину 0,8. Сейсмофации №1-3 были отождествлены с областями улучшенных коллекторских свойств, а сейсмофации №4-6 ассоциированы с зонами, коллекторские свойства которых не являлись перспективными.

Данные, полученные с применением «SeisART» были использованы для решения задач комплексной интерпретации по всем целевым пластам и обеспечили достижение значимых результатов проекта, связанных с уточнением сейсмогеологической модели изучаемого участка. Таким образом, выполненный проект, с одной стороны, подтвердил эффективность производственного применения актуальной версии программного комплекса, а с другой, предопределил целесообразность использования «SeisART» при выполнении работ на участках со схожими глубинными сейсмогеологическими условиями в рамках как интерпретации, так и переинтерпретации сейсмических и скважинных данных.

Заключение

Программное обеспечение «SeisART», успешно применяемое на протяжении шести лет для решения геолого-геофизических задач, является ярким подтверждением значительного потенциала внедрения отечественных отраслевых разработок.

Учитывая высокий уровень разноплановых рисков, связанных с доступностью программного обеспечения, предоставляемого транснациональными вендорными компаниями, при пересмотре в начале 2023 года стратегии развития, компанией ООО НПЦ «Геостра», для реализации в ближайшей перспективе, запланирован новый цикл внутренних работ по оптимизации и расширению функционала данного ПО, в дополнение к созданию новых программных комплексов, повышающих эффективность производственных процессов и качество результатов выполняемых работ.

Важно отметить, что стратегия компании по достижению технологического суверенитета направлена не на создание аналогов стандартного функционала распространённого отраслевого ПО, а на реализацию нетривиальных технологий и методов, разрабатываемых с учётом накопленного практического опыта. По этой причине компания открыта к любым формам сотрудничества в данном направлении, включая производственное применение уже созданных программных комплексов, совместную разработку нового программного обеспечения, реализацию тестирований различного уровня и состава, а также дистрибьюцию программных решений, созданных и развиваемых отечественными разработчиками.

Благодарности

Авторский коллектив благодарит руководство и инженерный корпус компании ООО «ЮКОЛА-нефть» за поддержку деятельности ООО НПЦ «Геостра» в

направлении развития отечественных разработок и инноваций, а также готовность к сотрудничеству не только в рамках производственных, но и научно-методических проектов.

Литература

1. Ольнева Т.В. Сейсмофациальный анализ. Образы геологических процессов и явлений в сейсмическом изображении. – М: Институт компьютерных исследований, 2017. – 152 с. - ISBN 978-5-4344-0433-4
2. S. Hadiloo, H. Hashemi, S. Mirzaei, B. Beiranvand. SeisART software: seismic facies analysis by contributing interpreter and computer. // Arabian Journal of Geosciences. - 2017. №23.

Подробнее об авторах



Акуленко
Александр Семёнович
Руководитель группы
развития бизнеса
ООО НПЦ «Геостра»
(АО «Башнефтегеофизика»)
Окончил Гомельский ГТУ
им. П.О. Сухого.



Шайхлисламова
Алина Владиковна
Ведущий геофизик сектора
динамического анализа
ООО НПЦ «Геостра»
(АО «Башнефтегеофизика»)
Окончила Уфимский ГТНУ.



Михеев
Алексей Сергеевич
Главный геолог
ООО «ЮКОЛА-нефть».
Окончил Саратовский ГУ
им. Н.Г.Чернышевского.



Писецкий
Владимир Борисович
Доктор геолого-минералогических наук, профессор
отдела аспирантуры
АО НПФ «Геофизика»
(АО «Башнефтегеофизика»)
Окончил Свердловский ГИ.