

## НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНОСТЬ СКЛАДЧАТО-НАДВИГОВОГО ПОЯСА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ПРЕДВЕРХОЯНСКОГО ПРОГИБА

Е.М. Якупова  
ФГБУ «ВНИГНИ», e-mail: emyakupova@vnigni.ru

Многие геологи считают складчато-надвиговые пояса предгорных прогибов перспективными на поиски нефти и газа (В.В. Гайдук, А.В. Прокопьев, 2004; К.О. Соборнов, 1990, 1993). Анализ новых данных геолого-геофизических работ 2014–2016 гг. в северной части Предверхоянского прогиба дает возможность выполнить палеореконструкцию одной из антиклинальных структур складчато-надвигового пояса Предверхоянья–Сетасской, а также провести анализ сейсмоакустических разрезов, полученных в результате обработки данных сейсморазведки отечественной системой ОТДИ (оптимизационная технология динамической интерпретации) с целью определения коллекторских свойств перспективной зоны Сетасской структуры.

Предгорные прогибы играют важную роль в процессе генерации и локализации скоплений углеводородов, и по оценкам многих исследователей, таких как Г.С. Гуревич, М.С. Моделевский и другие, большая часть ресурсов УВ сосредоточена именно в этих зонах [1].

На нефтегазоперспективность северной части Предверхоянского прогиба указывают проявления углеводородов в пределах изучаемой площади и на соседних территориях, где находятся месторождения (Вилуйская синеклиза и центральная часть Предверхоянского прогиба, крупнейшее Оленекское месторождение битумов на Анабарской антеклизе), представленные на рис. 1 (см. приложение).

В пределах северной части Предверхоянского прогиба, площадь которой составляет около 100 тыс. км<sup>2</sup>, пробурено всего 5 скважин (опорная скважина Джарджанская-1 и параметрические скважины: Алысардахская-2480, Приленская-1, Говоровская-1, Дьяпальская-1). Плотность сейсморазведочных работ в пределах рассматриваемой территории составляет около 0,03 пог. км/км<sup>2</sup>.

В рамках двух государственных контрактов 7Ф-14 и 12Ф-14 в 2014–2016 гг. на территории северной части Предверхоянского прогиба проведены сейсморазведочные работы МОГТ 2D в объеме 1600 пог. км (рис. 2). Геологическая интерпретация сейсмических разрезов позволила уточнить тектоническое строение исследуемой территории, выявить наиболее перспективные зоны для проведения будущих поисково-разведочных работ в пределах северной части Предверхоянского прогиба [2, 3].

В отличие от относительно древних соленосных, траппонасыщенных соседних районов Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции Предверхоянский прогиб приурочен к относительно молодым предгорным краевым прогибам. В связи с этим на территории северной части Предверхоянского прогиба возможно получение качественного материала современными методами сейсморазведочных работ, что облегчает прогнозирование нефтегазоперспективности зоны исследования.

Предверхоянский прогиб прошел несколько этапов развития территории: рифейско-раннепалеозойского накопления мощных осадочных толщ на пассивном континентальном шельфе, среднепалеозойского рифтогенеза, позднепалеозойско-ранне-среднемезозойской лавинной седиментации и позднеюрско-раннемелового складчато-надвигового тектогенеза.

Накопление углеводородов в процессе формирования предгорных прогибов связано с надвиговыми тектоническими процессами: с масштабностью надвига нефтематеринских толщ и, вероятно, первичных скоплений углеводородов под складчато-надвиговыми поясами [4]. Латеральная миграция флюидов в условиях горизонтального сжатия может формировать гигантские месторождения нефти и газа, такие как, например, поля битумоидов Атабаски, бассейна Ориноко, газонефтяные месторождения Персидского залива и т.д. [5].

Многие исследователи, такие как В.В. Гайдук и В.Е. Хаин, связывают складчато-надвиговые пояса предгорных прогибов с высокими концентрациями углеводородов [6]. Также стоит отметить, что фронт аллохтона складчато-надвиговых дислокаций Верхоянской складчатой системы в центральной части Предверхоянского прогиба максимально надвинут на юго-запад в район Китчанской ветви, и именно здесь открыты два газовых месторождения – Усть-Вилуйское и Собо-Хаинское.

Сетасская антиклинальная структура расположена в перспективном на обнаружение залежей углеводородов складчато-надвиговом поясе северной части Предверхоянского прогиба. Геологическая интерпретация сейсмопрофиля 140304А (рис. 3), пересекающего Сетасскую структуру (полученного в результате новых сейсморазведочных работ в 2014–2016 гг.), позволила уточнить не только геологическое строение данной антиклинали, детализировать глубинное строение ее ловушки и рекомендовать бурение параметрической скважины Сетасская-1 [2], но и выполнить палеореконструкцию данной структуры (рис. 4).

Палеорекострукция была выполнена с помощью метода сбалансированных разрезов. Метод сбалансированных разрезов применяется для построения геометрически непротиворечивых структурных разрезов через надвиговые пояса [6]. При выполнении палеорекострукции были сохранены условия длины слоев, а также учтены локальные изменения мощности в ходе надвиговых процессов и при формировании антиклинальных складок. В палеорекострукции Сетаской структуры отражены представления геологического разреза в недеформированном состоянии, последовательность формирования отложений, образования разломов и антиклиналей в надвиговых зонах Предверхоаянского прогиба. Аллохтонная чешуя надвиговой зоны в районе Сетаской структуры представлена рифейскими, вендскими, кембрийскими и пермо-триасовыми отложениями. Детачмент приурочен к кембрийским отложениям. В ходе надвиговых процессов в районе Сетаской структуры в кембрийских, пермо-триасовых и юрских отложениях были сформированы антиклинальные структуры.

Результаты палеорекострукции методом сбалансированных разрезов Сетаской структуры подтверждают достоверность геологической интерпретации сейсмического профиля 140304А, а также дают наглядное представление о механизме образования антиклинальных ловушек складчато-надвигового пояса в пределах северной части Предверхоаянского прогиба (см. рис. 4). В пределах Сетаской структуры прогнозируемая принадвиговая ловушка расположена в лежащем крыле антиклинали и, вероятно, ее коллекторские свойства перспективных горизонтов сохранены от динамического уплотнения [2].

В связи с высокой актуальностью определения коллекторских свойств в пределах северной части Предверхоаянского прогиба, результаты приведенных выше исследований были дополнены геологическим анализом прогнозных сейсмоакустических разрезов, полученных геофизическим отделом ФГБУ «ВНИГНИ» (И.К. Кондратьев, Ю.М. Киссин). Для построения сейсмоакустических разрезов использовалась отечественная система ОТДИ (оптимизационная технология динамической интерпретации) [7], являющаяся эффективным средством динамической интерпретации данных региональной сейсморазведки при малой разбуренности исследуемой территории [8].

Система ОТДИ имеет ряд характерных особенностей, отличающих ее от всех имеющихся систем, выполняющих сейсмическую инверсию, а именно:

1. Наличие дополнительных процедур обработки сейсмических временных разрезов (нормирование энергий трасс (НЭТ) в широком временном окне, направленное суммирование трасс на скользящей базе 4–6 каналов, стратиграфическая деконволюция «ДЕКСТР»). Применение этих процедур повышает величину отношения «сигнал/помеха» исходных сейсмических временных разрезов и стабилизирует результаты сейсмической инверсии при наличии зон с ухудшенными поверхностными условиями.

2. Система ОТДИ содержит уникальную программу пластовой акустической инверсии (ПАИ), которая преобразует сейсмические временные разрезы в пластовые разрезы сейсмических импедансов  $J_p(t, x)$  или пластовых скоростей  $V(t, x)$  – сейсмоакустические разрезы. При этом задается минимальная временная мощность пластов сейсмоакустических разрезов (6–8 мс, что равносильно 10–20 м), соответствующая реальной разрешающей способности сейморазведки [9]. Это обеспечивает высокую точность оценки пластовых скоростей  $V$  (единицы процентов).

3. Оригинальный способ регуляризации ПАИ (задаются диапазоны изменения пластовых скоростей  $V$  реперных пластов и межреперных интервалов) позволяет получать надежные оценки пластовых скоростей сейсмоакустических разрезов при отходе от опорной скважины с данными акустического каротажа (АК) на сотни километров по системе пересекающихся профилей [9].

Для получения сейсмоакустических разрезов в исследуемом районе по данным АК была построена пластовая геоакустическая модель скважины Дьяпальская-1 (рис. 5) и с использованием АК и других данных ГИС (радиоактивные методы и методы сопротивления) выделены пласты-коллекторы в палеозойско-мезозойском комплексе отложений (на рис. 5 показаны желтым цветом).

Учитывая средние значения интервальных скоростей между выделенными стратиграфическими горизонтами и положение динамически выраженных отражений на сейсмическом временном разрезе, модельная кривая  $V(h)$  (см. рис. 5) была перенесена на ось двойного времени пробега упругих волн  $T$ . С использованием полученной таким образом опорной скоростной модели  $V(T)$  системой ОТДИ был получен сейсмоакустический разрез  $V(T, x)$  по профилю 140308, проходящему через скважину Дьяпальская-1.

На этот разрез были перенесены кровли стратиграфических горизонтов, предварительно прокоррелированных на сейсмическом временном разрезе после

привязки к нему модельной кривой  $V(t)$ . Далее была проведена геологическая интерпретация сейсмоакустического разреза с выделением зон с улучшенными коллекторскими свойствами, после этого – увязка сейсмопрофилей 140308 и 140304А и получен сейсмоакустический разрез по профилю 140304А, по которому также было выполнено выделение зон с повышенным содержанием коллекторов.

В результате комплексного анализа геологической интерпретации и динамической интерпретации системой ОТДИ сейсмопрофилей 140304А и 140308 в зоне Сетаской антиклинальной структуры выявлено:

1. В пермо-триасовых отложениях прогнозируется повышенное содержание коллекторов относительно остальной части разреза.

2. В средней части триасовых отложений находятся низкоскоростные глинистые отложения, мощностью порядка 60 м, которые могут являться надежной покрывкой.

3. В юрских отложениях локально прогнозируются зоны с повышенным содержанием коллекторов, над ними расположены меловые низкоскоростные глинистые отложения мощностью порядка 30–40 м.

4. В пределах зоны Сетаской структуры прогнозируются зоны, наиболее перспективные для проведения поисково-разведочных работ (рис. 6): 1 – первоочередной объект в выделенной по результатам структурно-геологической интерпретации ловушке в лежащем блоке (рекомендуется заложение параметрической скважины Сетаская-1); 2 – объекты геологоразведочных работ (ГРР) второй очереди (рекомендуется проведение сейсморазведочных работ МОГТ 2D).

5. По результатам динамической интерпретации данных сейсморазведки (полученным системой ОТДИ) и геологической интерпретации сейсмоакустических разрезов в пределах зоны Сетаской антиклинальной структуры прогнозируются зоны с улучшенными коллекторскими свойствами (выделены пунктиром на рис. 6) в юрских, триасовых, пермских и кембрийских отложениях. Это подтверждает вывод о перспективности Сетаской антиклинальной структуры, сделанный ранее на основании структурно-геологической интерпретации данных сейсморазведки в исследуемом регионе, и об эффективности комплексного применения геологической и динамической интерпретации в пределах северной части Предверхоаянского прогиба, а также о целесообразности использования рассмотренного подхода при дальнейших исследованиях на данной территории.

## Выводы

1. В результате палеорекострукции методом сбалансированных разрезов Сетасской антиклинальной структуры подтверждена достоверность геологической интерпретации сейсмического разреза профиля 140304А, выполненного в ходе сейсморазведочных работ в 2014–2016 гг.

2. С помощью палеорекострукции получены представления о механизме надвиговых процессов, формировании при этом антиклиналей и ловушек с возможно улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами, сохраненными от динамического уплотнения, не только в пределах зоны Сетасской антиклинали, но и северной части Предверхоянского прогиба в целом.

3. Выявление зон с повышенным содержанием коллекторов (в результате комплексной геологической и динамической интерпретации системой ОТДИ) позволили дать рекомендации по проведению геологоразведочных работ, а также по применению технологии ОТДИ в комплексе с геологической интерпретацией при проведении будущих поисково-разведочных работ в пределах рассматриваемой территории.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мигурский Ф.А., Якупова Е.М. Обоснование региональных исследований нефтегазоносности Предверхоянского перикратонного прогиба // Геология нефти и газа. 2017. № 3. С. 18–25.

2. Мигурский Ф.А., Якупова Е.М. Новые данные о геологическом строении антиклинальных структур северной части Предверхоянского перикратонного прогиба // Геология нефти и газа. 2017. № 5. С. 31–36.

3. Мигурский Ф.А., Якупова Е.М. Новые данные о геологическом строении Кютингдинского грабена (Северо-Восток Сибирской платформы) // Разведка и охрана недр. 2018. № 6. С. 10–17.

4. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли. М: Изд-во МГУ, 2002. 506 с.

5. Мигурский А.В., Старосельцев В.С. Дизъюнктивная тектоника и нефтегазоносность юга Сибирской платформы // Состояние и перспективы развития сырьевой базы углеводородов России: Сб. докл. секции Всерос. съезда геологов и науч.-практ. геол. конф. СПб.: ВНИГРИ, 2000. С. 159–168.

6. Гайдук В.В., Прокопьев А.В. Методы изучения складчато-надвиговых поясов. Новосибирск: Наука, Сиб. предприятие РАН, 1999. 160 с.

7. *Кондратьев И.К., Рыжков В.И.* Эффективность прогнозирования коллекторов способами динамической интерпретации в Восточной Сибири // Технологии сейсморазведки. 2010. № 4. С. 26–34.

8. *Афанасенков А.П., Бондаренко И.К.* О выявлении перспективных нефтегазоносных объектов под глубокое бурение по результатам региональных сейсмических исследований Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология нефти и газа. 2016. № 3. С. 44–52.

9. *Кондратьев И.К., Лисицын П.А., Киссин Ю.М.* Детальность и точность решений в задаче сейсмической волновой инверсии // Геофизика. 2005. № 3. С. 19–25.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

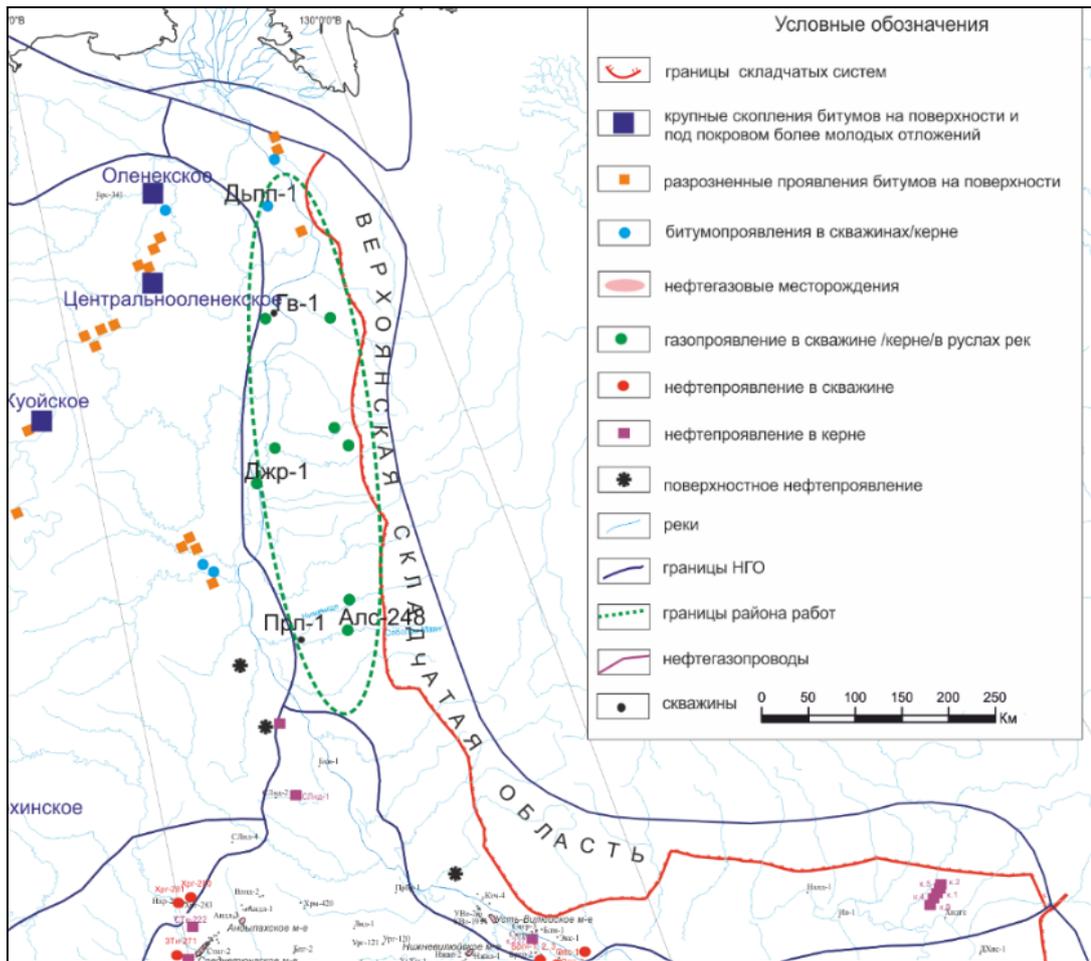


Рис. 1. Карта проявлений битума и углеводородов Предверхоанского прогиба и сопредельных территорий (Е.М. Якупова, 2016)

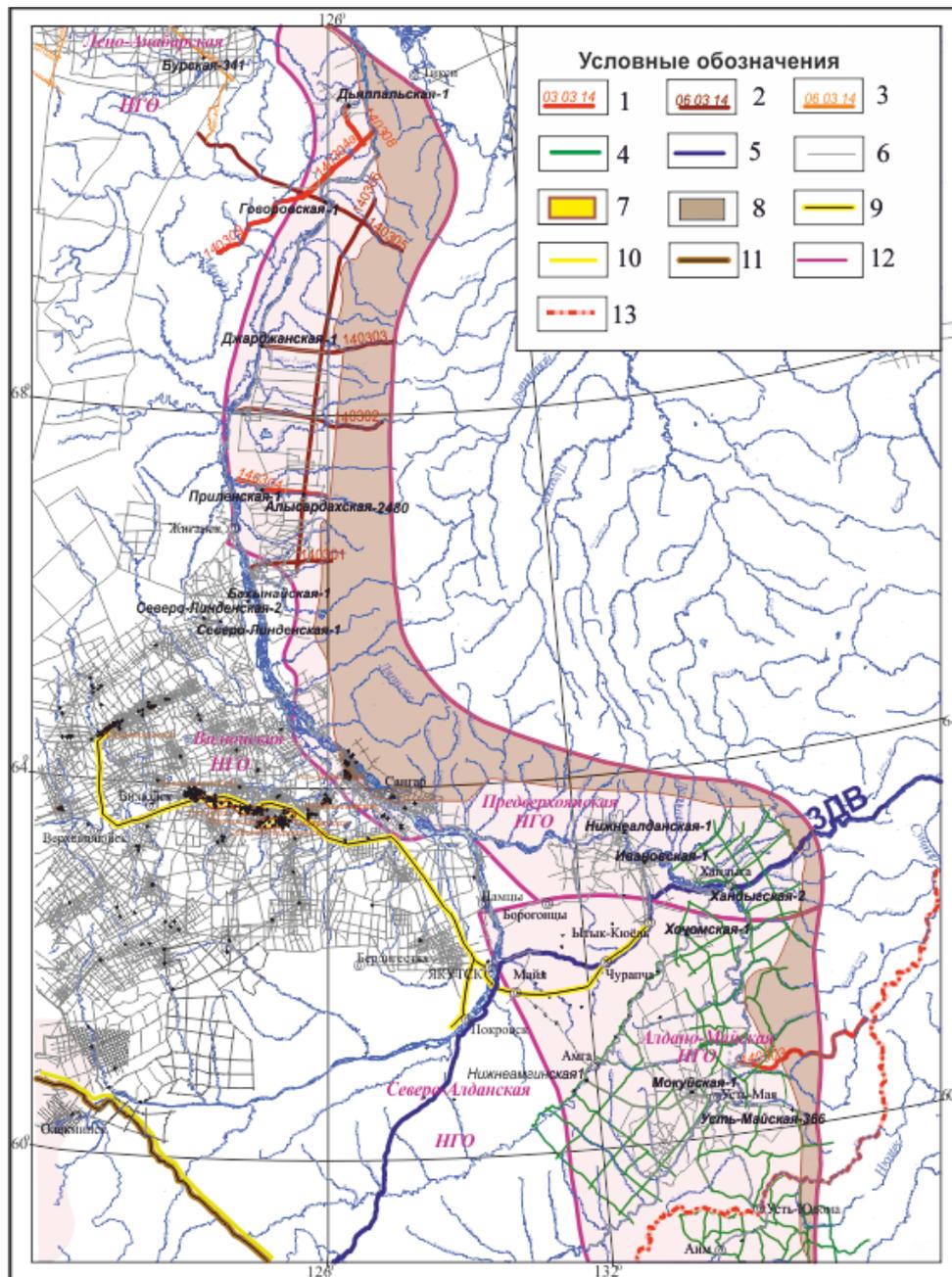


Рис. 2. Схема изученности востока Сибирской платформы сейсморазведкой и глубоким бурением (Ф.А. Мигурский, Е.М. Якупова [1])

Условные обозначения: сейсмические профили по Государственным контрактам в 2014–2016 гг.: 1 – 7Ф-14 (636 км), 2 – 12Ф-14 (1200 км), 3 – №247 (1585 км); 4 – сейсмические профили по Государственному контракту в 2006–2014 гг.; 5 – региональный 3-ДВ сейсмический профиль 2012 г.; 6 – архивные профили; 7 – газовые, газоконденсатные месторождения; 8 – зоны складчато-надвиговых дислокаций; газопроводы: 9 – действующий, 10 – строящийся; 11 – действующий нефтепровод; 12 – контуры НГО; 13 – административные границы

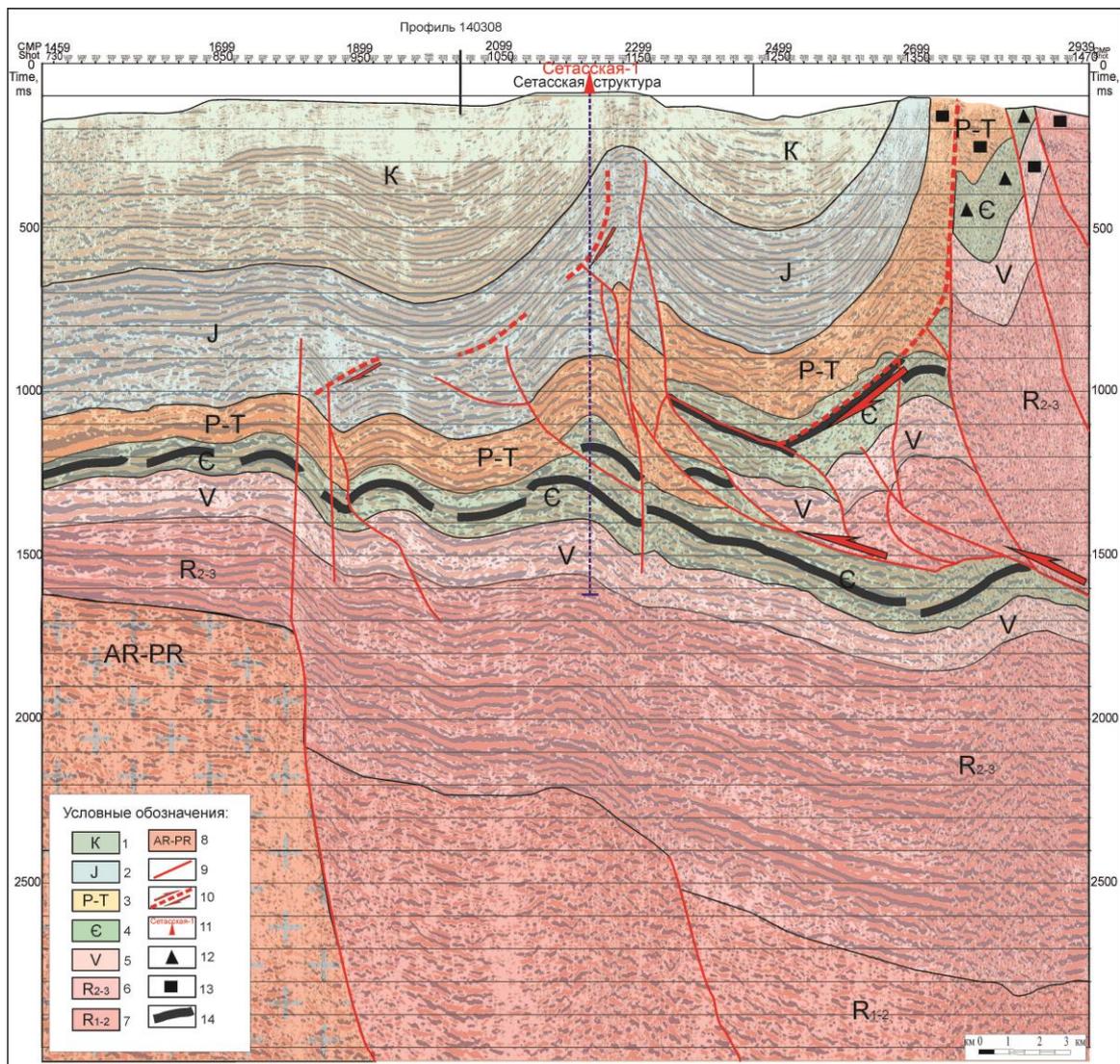


Рис. 3. Временной сейсмогеологический разрез Сетаской структуры  
(Ф.А. Мигурский, Е.М. Якупова, 2016)

Условные обозначения: образования: 1 – меловые, 2 – юрские, 3 – пермо-триасовые, 4 – кембрийские, 5 – вендские, 6 – средне-верхнерифейские, 7 – нижне-среднерифейские метаморфизованные, 8 – архей-протерозойские; 9 – разрывные нарушения; 10 – сместители обратных надвигов; 11 – проектная скважина; 12 – жильные (трещинные) проявления битумов; 13 – пластовые проявления битумов; 14 – возможные нефтегазоматеринские отложения

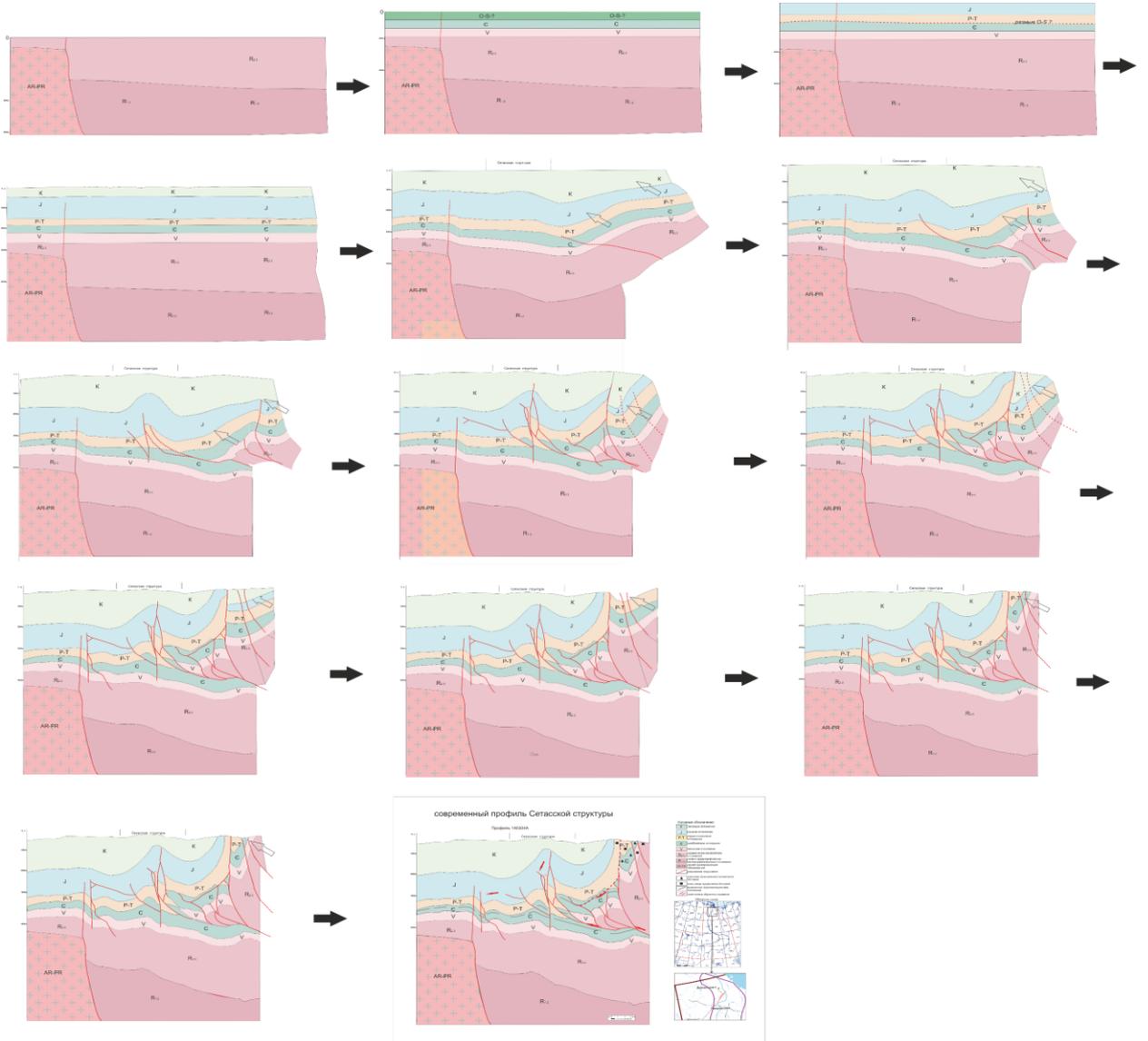


Рис. 4. Палеорекострукция Сетасской структуры (Е.М. Якупова, 2016)

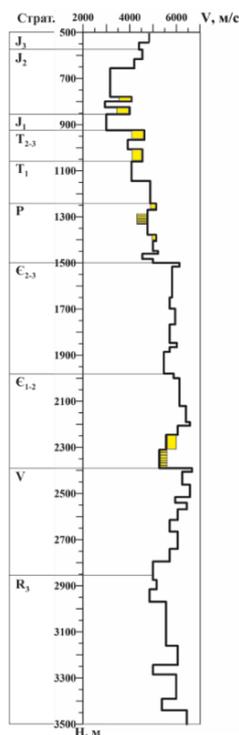


Рис. 5. Геоакустическая модель скважины Дьяпальская-1 (М.Т. Бондаренко, И.К. Кондратьев, Ю.М. Киссин, 2017)

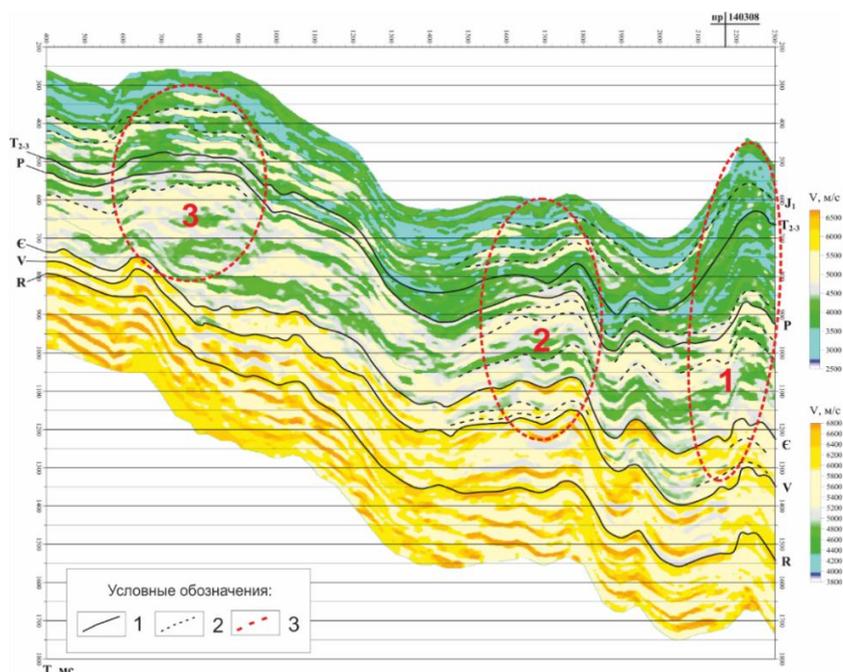


Рис. 6. Интерпретация сейсмоакустического разреза по профилю 140304А:  
 1 – кровля прослеживаемых сейсмограниц; 2 – кровля прогнозируемых зон с улучшенными коллекторскими свойствами; 3 – объекты ГРП 1-ой, 2-ой и 3-ей очереди (в пределах которых рекомендуется проведение сейсморазведочных работ 2D)  
 (Е.М. Якупова, 2017 г.; сейсмоакустические разрезы выполнены М.Т. Бондаренко, И.К. Кондратьевым, Ю.М. Киссиным)