

Технологии геологической разведки и разработки месторождений полезных ископаемых

УДК 550.81: 550.834

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ НА КОВЫКТИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

© Л.А. Барышев¹

Институт земной коры СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

Сейсморазведка традиционно играет лидирующую роль в геологоразведочных работах на нефть и газ. Успехи сейсмического метода исследований в прогнозировании вещественного состава и емкостных свойств горизонтов-коллекторов общеизвестны. Однако практика показывает, что ошибки в прогнозировании коллекторов появляются регулярно, и сейсморазведка не является самодостаточным методом для надежного решения задачи прогноза. Надежность прогноза продуктивности коллекторов существенно возрастает при использовании новых данных о геологическом строении среды, которые можно получить с помощью электромагнитных методов.

На примере Ковыктинского месторождения рассматриваются основные принципы комплексирования сейсморазведки и электроразведки для прогнозирования нефтегазовых залежей. Комплексная интерпретация сейсмических и геоэлектрических разрезов на Ковыктинском месторождении, базирующаяся на соблюдении двух основополагающих принципов (принципа выделения структурно-вещественных комплексов и принципа системности) существенно повышает надежность и достоверность прогнозирования емкостных свойств коллекторов.

Ключевые слова: структурно-вещественный комплекс; геоэлектрический горизонт; геофизические исследования скважин; метод общей глубинной точки.

SEISMIC AND ELECTROMAGNETIC PROSPECTING INTEGRATION ON THE KOVYKTA FIELD

L.A. Baryshev

Institute of the Earth Crust SB RAS, 128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

The leading role in prospecting for oil and gas traditionally belongs to seismic exploration. The advantages of the seismic method of exploration in forecasting the material structure and reservoir properties of horizons are well-known. However, frequent mistakes in reservoir forecasting imply that seismic exploration is not a self-sufficient method for the reliable solution of the prediction task. Reliability of the reservoir efficiency forecast significantly increases when using new data on the geological structure of environment, which can be received by the use of electromagnetic methods.

On the example of the Kovykta field, the basic integration principles of seismic and electrical exploration for oil and gas deposits forecasting are considered. Integrated interpretation of seismic and geoelectric sections on the Kovykta field based on the observance of two fundamental principles (the principle of structural and compositional complex identification and the principle of systematicity) significantly increases reservoir property forecasting reliability.

Keywords: structural material complex; geoelectric horizon; geophysical well logging; common depth point method.

Сейсморазведка традиционно играет лидирующую роль в геологоразведочных работах на нефть и газ. Успехи сейсмического метода исследований в прогнозировании вещественного состава

и емкостных свойств горизонтов-коллекторов общеизвестны. В то же время следует признать, что ошибки в определении продуктивности коллекторов появляются регулярно. Главной причиной

¹Барышев Леонид Алексеевич, старший научный сотрудник, тел.: 89149355103, e-mail: la_baryshev@mail.ru

Baryshev Leonid, Senior Researcher, tel.: 89149355103, e-mail: la_baryshev@mail.ru

этих ошибок является то, что в сейсморазведке обратная динамическая задача в общей постановке не имеет единственного решения [1]. Условно корректные решения, получаемые на практике в виде различных параметрических моделей, основаны на эмпирических корреляционных зависимостях между динамическими параметрами волнового поля и емкостными параметрами коллекторов. Простота таких решений подкупает тем, что сам факт существования корреляционной связи рассматривается как решение задачи прогноза. Однако практика показывает, что такие связи не являются универсальными и теряют свою устойчивость за пределами тех территорий, на которых они были установлены.

Особенно актуальной проблема прогнозирования коллекторов становится на территориях, слабо изученных глубоким бурением, где корреляционные связи между динамическими параметрами волнового поля и емкостными характеристиками коллекторов еще не установлены. Сейсморазведка в этом случае не является самостоятельным методом, и для надежного решения задачи прогноза требуются новые данные о геологическом строении среды, которые можно получить с помощью электромагнитных методов.

Сегодня в нефтегазовой геофизике активно развивается процесс вовлечения в интерпретацию большого количества различных геологических, петрофизических, промысловых и других характеристик коллекторов. Стремление геофизиков к широкому использованию разнородных геолого-геофизических данных при построении моделей нефтегазовых резервуаров является вполне естественным и часто воспринимается как комплексный или системный подход к решению задачи прогноза. При этом часто упускается из виду, что модель представляет собой сложную систему элементов геологической среды, включающую в себя множество геологических и петрофизических параметров, измене-

ния которых отображаются в физических полях различной природы.

Общеизвестно, что среди всех геофизических методов сейсморазведка сегодня обладает наибольшей разрешающей способностью в определении границ нефтегазоносных пластов. В сейсмогеологических условиях Восточной Сибири при средней пластовой скорости продольных отраженных волн 5000 м/с на сейсмических разрезах могут быть выделены пласты толщиной не менее 25–30 м [2, 3].

Разрешающая способность электроразведочного метода зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) по сравнению с сейсморазведкой во много раз меньше. В интерпретации геоэлектрических разрезов понятия «слой» и «пласт» в их классическом геологическом понимании перестают играть роль самостоятельных геологических элементов и объединяются понятием «геоэлектрический горизонт» [5]. Толщина геоэлектрического горизонта может изменяться от 100 до 500 м.

Поэтому для корректного решения задачи комплексирования сейсморазведки и электроразведки ЗСБ необходимо, чтобы объектом исследований для обоих методов являлся один и тот же геолого-геофизический элемент разреза. В комплексной интерпретации сейсмических и геоэлектрических данных в качестве такого элемента принят структурно-вещественный комплекс (СВК).

Под СВК понимается совокупность геологических образований (слоев и пластов), квазигомогенных по своим физическим характеристикам. Пространственно-геометрические формы СВК (протяженность, углы и градиенты наклона) определяются по границам резких изменений физических свойств геологических тел, а интегральный вещественный состав – по петрофизическим данным [4].

Пример выделения границ СВК на сейсмическом и геоэлектрическом разрезах показан на рис. 1. Здесь на сейсми-

ческом временном разрезе МОГТ и геоэлектрическом разрезе ЗСБ выделены границы структурно-вещественных комплексов, которые одновременно являются сейсмическими и геоэлектрическими регионально выдержанными реперами. На этих границах происходит резкое изменение физических свойств СВК (скорости, плотности и удельного электрического сопротивления).

В нефтегазовой сейсморазведке результаты динамической обработки сейсмических разрезов в виде аномалий различных амплитудных и частотных характеристик не всегда соответствуют емкостным характеристикам коллекторов, которые определяются по данным геофизических исследований скважин [2]. Причинами такого несоответствия обычно являются сложные поверхностные условия возбуждения и регистрации сейсмических волн (мерзлота, траппы, сложный рельеф), а также волны, помехи (кратные, дифрагированные), которые не всегда могут быть подавлены даже самыми современными процедурами обработки.

В качестве примера этого тезиса можно привести результаты динамической обработки сейсмического разреза на Ковыктинском месторождении (рис. 2).

На графиках амплитудных аномалий высокие значения амплитуд соответствуют низким значениям эффективной толщины коллектора ($H_{эф.} = 4$ м) в парфеновском газоносном горизонте, и наоборот, низкие значения амплитуд соответствуют высоким значениям эффективной толщины коллектора.

Приведенный пример показывает, что сейсморазведка не является всесильным и самодостаточным методом, который может решить задачу прогноза коллекторов без привлечения дополнительной информации других геофизических методов (в частности электроразведки).

Глубинный геоэлектрический разрез электрического сопротивления (рис. 3) по своему местоположению совпадает с сейсмическим разрезом.

За пределами газовой залежи в левой части разреза наблюдаются высокие значения атрибутов сопротивления (RMS, Sum of amplitudes). В правой части разреза в районе газовой залежи, где $H_{эф.}$ парфеновского горизонта увеличивается до 12 м, сопротивление уменьшается в 4–5 раз.

Понижение сопротивления в области газовой залежи парфеновского горизонта связано с наличием в коллекторе минерализованной воды в пористых песчано-глинистых породах.

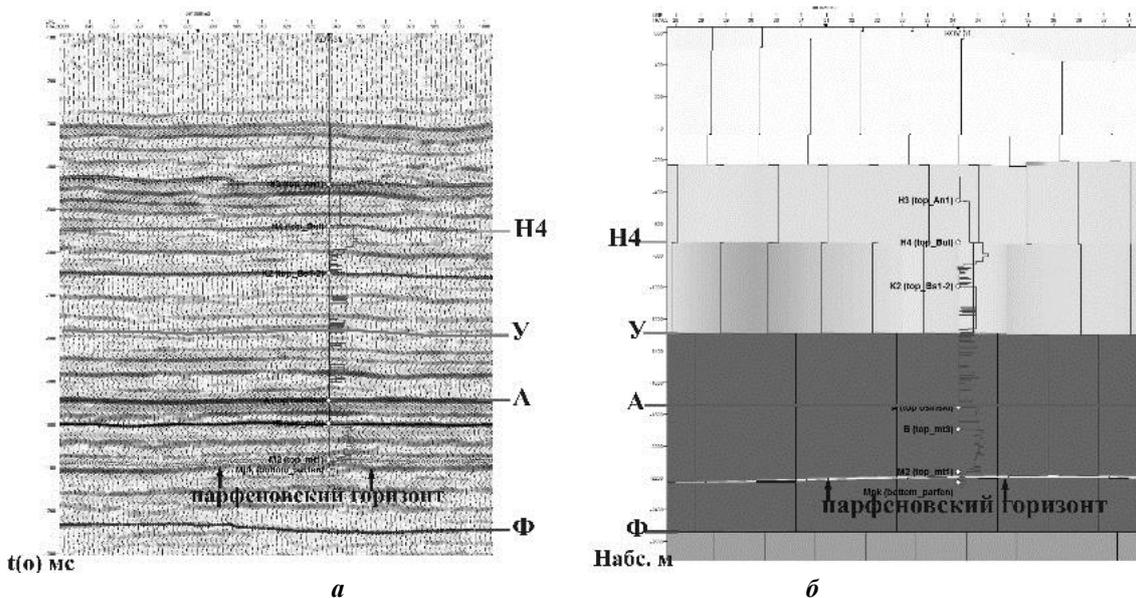


Рис. 1. Структурно-вещественные комплексы на сейсмическом и геоэлектрическом разрезах: а – сейсмический временной разрез МОГТ, б – геоэлектрический разрез

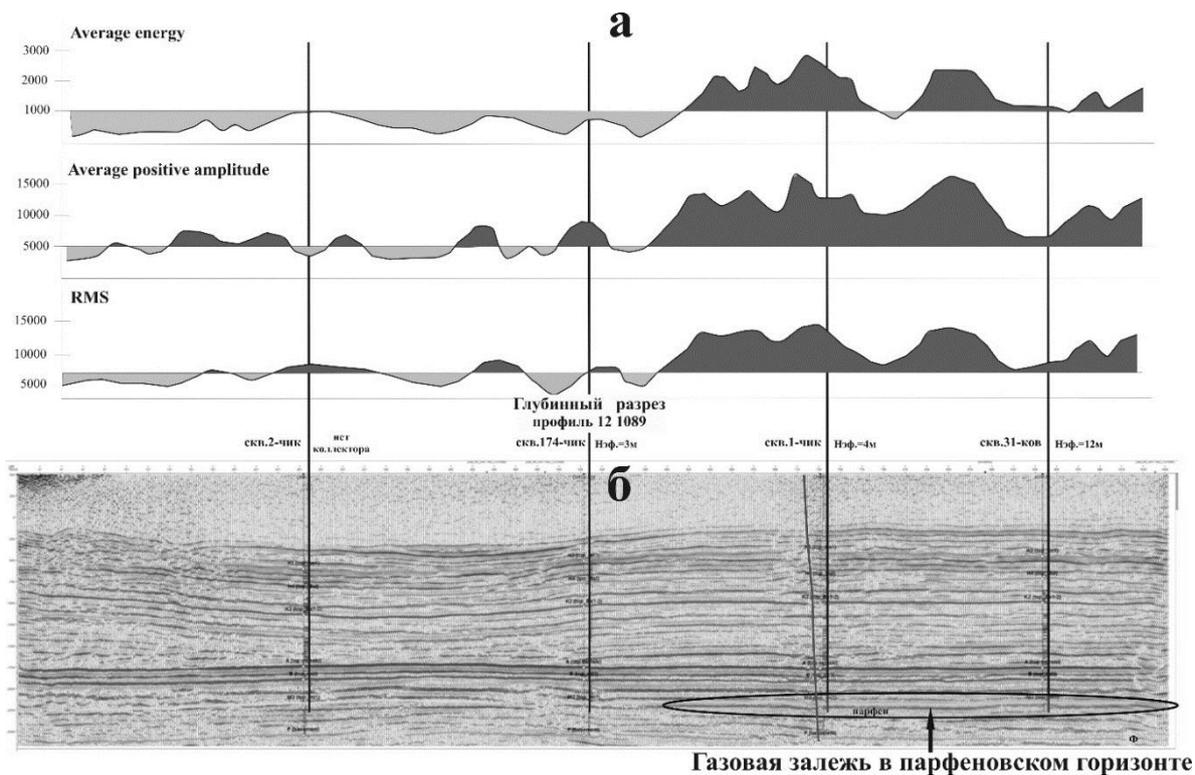


Рис. 2. Амплитудные аномалии над газовой залежью:
 а – амплитудные аномалии над газовой залежью;
 б – глубинный разрез МОГТ

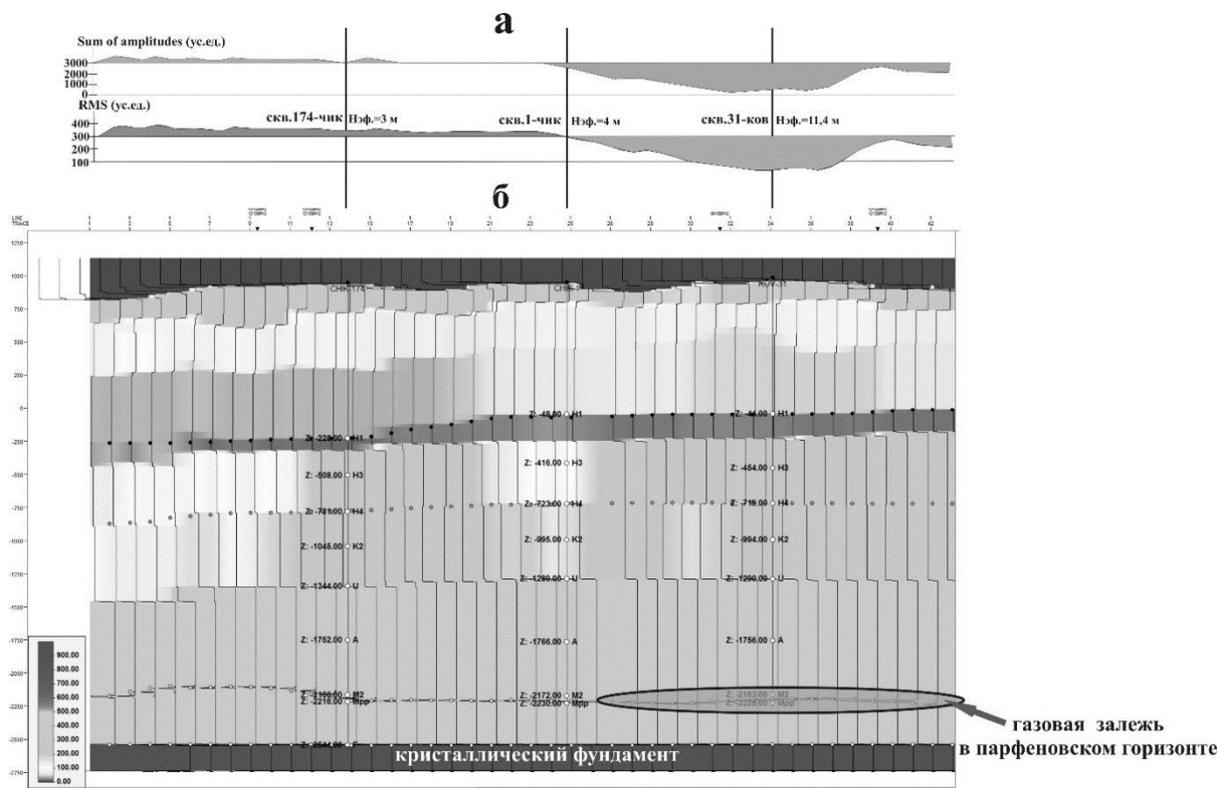


Рис. 3. Аномалии электрических параметров над газовой залежью:
 а – аномалии удельного электрического сопротивления;
 б – глубинный геоэлектрический разрез

Увеличение сопротивления за пределами залежи связано с уменьшением пористости терригенных пород и, как следствие, с отсутствием минерализованной воды в этих породах.

Рассмотренные результаты интерпретации сейсмического и геоэлектрического разрезов показывают, что сейсмические и геоэлектрические параметры по-разному реагируют на газонасыщение коллектора. Поэтому их комплексирование может существенно повысить надежность решения задачи прогноза емкостных характеристик коллекторов.

На этапе структурной интерпретации, когда решаются задачи выделения нефтегазоносных СВК и определяются их границы и формы залегания, особенно важным представляется соблюдение первого принципа комплексирования:

– структурно-тектоническая основа модели нефтегазовой залежи является единой для сейсморазведки и электроразведки. Границы СВК на

сейсмических и геоэлектрических разрезах всегда являются резкостными физическими границами, на которых происходит смена литологического состава пород и их физических свойств (скорость, плотность, удельное электрическое сопротивление). Границы СВК могут совпадать с границами стратиграфических подразделений, и тогда все три понятия «граница» (стратиграфическая, литологическая, физическая) могут считаться тождественными.

Примером соблюдения этого принципа является комплексный геофизический разрез (рис. 4), который представляет собой совмещенное изображение сейсмического и геоэлектрического разрезов в едином масштабе абсолютных глубин. На этом разрезе отчетливо выделяются границы структурно-вещественных комплексов, которые соответствуют реальным геологическим границам и с высокой степенью точности ($\pm 5-8$ м) совпадают со стратиграфическими отбивками на скважинах.

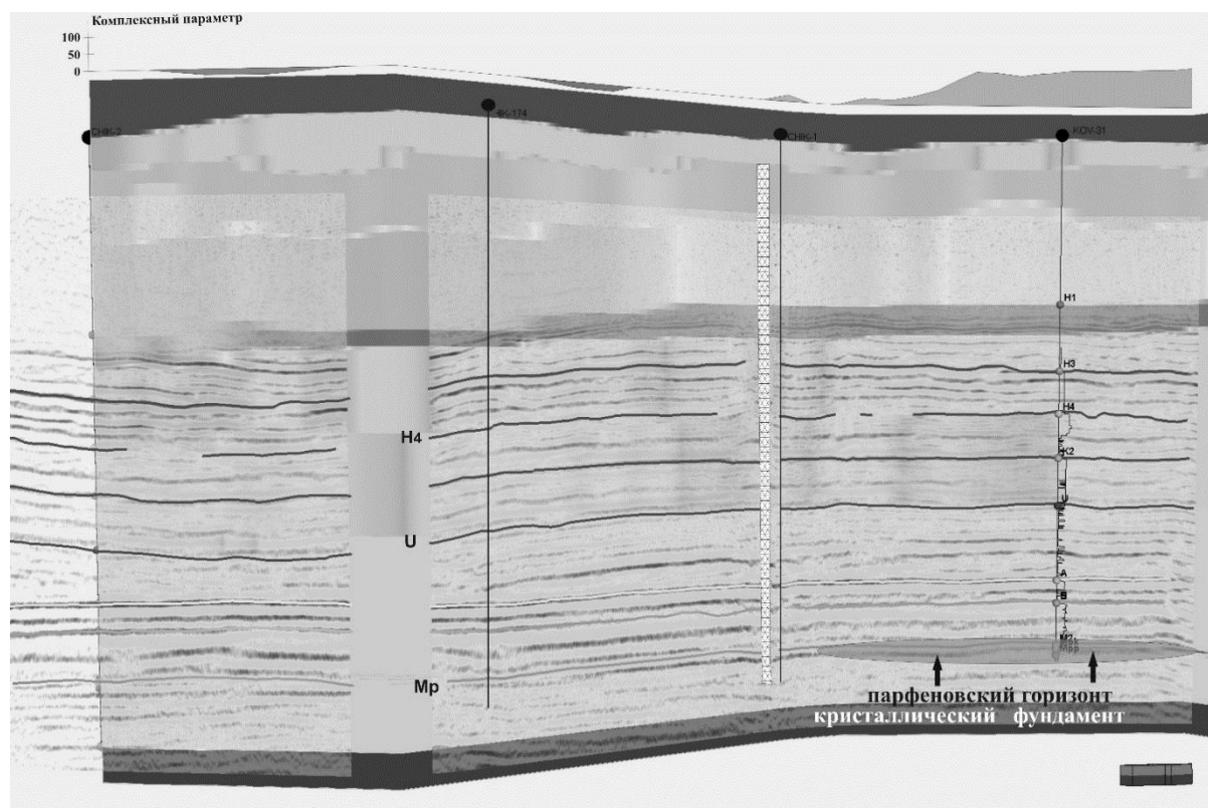


Рис. 4. Комплексный геофизический разрез

Аномалия комплексного параметра над газовой залежью парфеновского горизонта представляет собой сумму нормированных сейсмических и электрических параметров. В отличие от рассмотренных выше сейсмических аномалий (см. рис. 2) комплексная аномалия более достоверно отображает емкостные свойства парфеновского горизонта: низким значениям $H_{эф.}$ соответствуют низкие значения комплексного параметра (скв. 1-чик.), высоким значениям $H_{эф.}$ соответствуют высокие значения комплексного параметра (скв. 31-ков).

На рис. 5 показан фрагмент комплексного разреза МОГТ-ЗСБ в более крупном масштабе абсолютных глубин. На комплексном разрезе парфеновский газоносный горизонт выделяется как отдельный структурный элемент терриген-

ного комплекса осадочного чехла. Геоэлектрический парфеновский горизонт и сейсмический отражающий горизонт здесь полностью совпадают.

На скважине 31-ков, где эффективная толщина коллектора в парфеновском горизонте составляет 12 м, отраженная волна имеет низкие значения амплитуд. Под этой волной на геоэлектрическом горизонте выделяется «светлое пятно» аномально низких значений удельного электрического сопротивления. При смене знака геоэлектрической аномалии и нормировании эффект понижения амплитуд сейсмической аномалии компенсируется высокоамплитудной аномалией сопротивления, и на комплексной аномалии ее высокие значения соответствуют высоким значениям толщины коллектора.

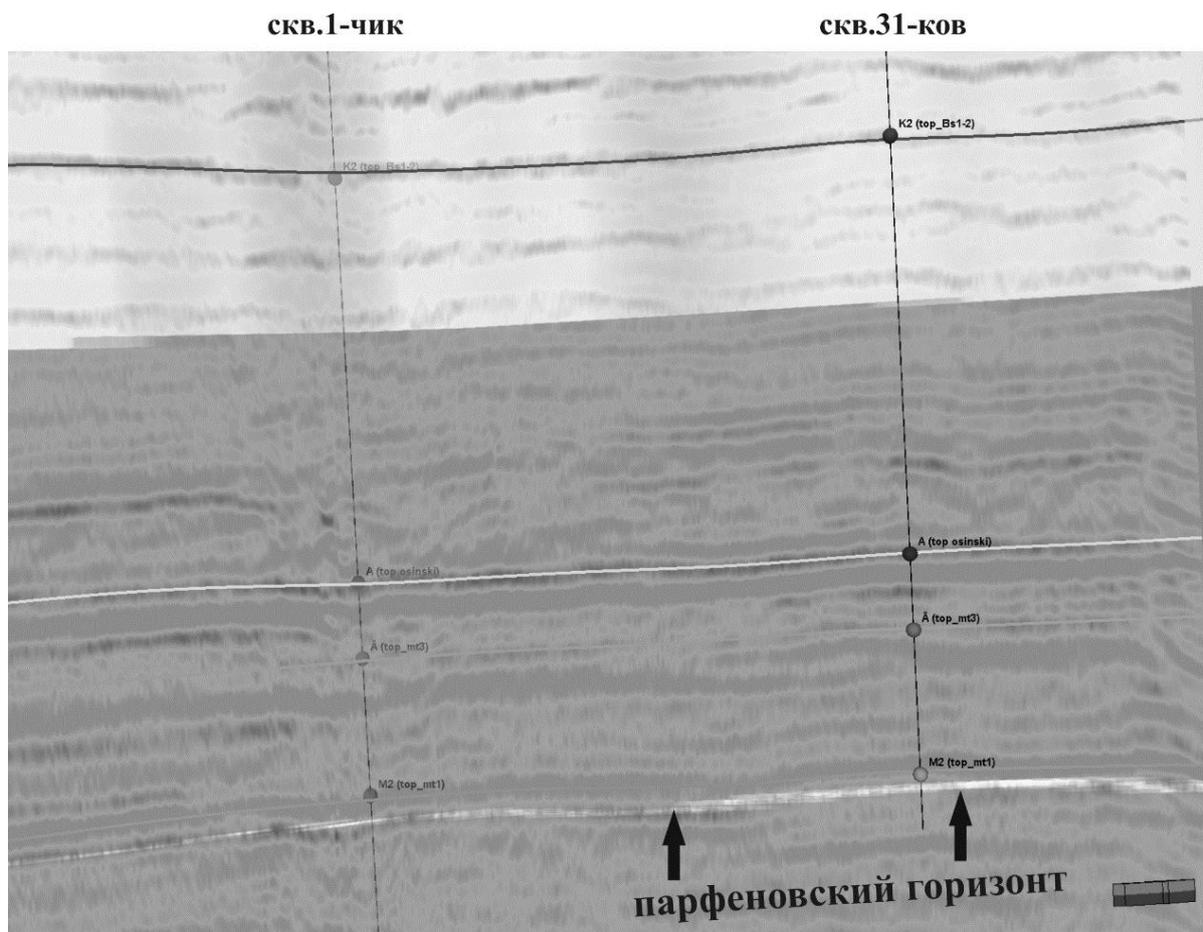


Рис. 5. Парфеновский горизонт на комплексном геофизическом разрезе МОГТ-ЗСБ

Из приведенных результатов интерпретации сейсмических и геоэлектрических разрезов видно, что главным преимуществом комплексной интерпретации перед «монометадами» является то, что амплитудные характеристики сейсмических волн и удельное электрическое сопротивление по-разному реагируют на изменения емкостных свойств пород-коллекторов. Поэтому комплексные разрезы и комплексные аномалии разнородных по своей физической природе методов позволяют более объективно и достоверно прогнозировать емкостные свойства нефтегазовых залежей.

В итоге следует особо отметить, что успех комплексной интерпретации сейсмических и электрических аномалий определяется соблюдением принципа системности:

– надежность и достоверность прогноза емкостных свойств коллекторов обеспечивается созданием многопараметровой модели. В многопараметровой модели различные характеристики геологической среды (в том числе емкостные) и характеристики отображающих ее физических полей (сейсмические и электрические аномалии) рассматриваются как взаимосвязанные подсистемы. Все факторы в этих подсистемах равновероятны, но неравнозначны в своем влиянии на формирование геофизических аномалий.

Комплексная интерпретация сейсмических и геоэлектрических разрезов на Ковыктинском месторождении, основанная на соблюдении двух основополагающих принципов (принципе выделения СВК и принципе системности), существенно повышает надежность и достоверность прогнозирования емкостных свойств коллекторов.

Библиографический список

1. Ампилов Ю.П. Сейсмическая интерпретация: опыт и проблемы. М.: Геоинформмарк, 2004. 286 с.
2. Барышев Л.А. Методы прогноза нефтегазовых залежей на основе физико-геологических моделей в сейсмогеологических условиях юга Сибирской платформы. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. 192 с.
3. Барышев Л.А. Физико-геологические модели в нефтегазовой сейсмо-разведке (Ковыктинское месторождение) // Отечественная геология. 2006. № 2. С. 35–41.
4. Вахромеев Г.С., Давыденко А.Ю. Моделирование в разведочной геофизике. М.: Недра, 1987. 192 с.
5. Выделение пластов-коллекторов в разрезе осадочного чехла юга Сибирской платформы по данным зондирования становлением электромагнитного поля в ближней зоне / В.А. Поспеев, И.В. Буддо, Ю.А. Агафонов, Н.О. Кожевников // Геофизика. 2010. № 6. С. 47–52.

Статья поступила 29.04.2015 г.