



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ОТЛОЖЕНИЯХ ВЕНДА – НИЖНЕГО КЕМБРИЯ НА ПЛОЩАДЯХ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ ПО ДАННЫМ НЕВЗРЫВНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И НА ОСНОВЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Н. В. Поспеева, А. А. Егошин, С. Ю. Севостьянов, М. А. Петров

Рассмотрены особенности выделения коллекторов в терригенных отложениях венда на площадях Западной Якутии и их прогноз по результатам сейсморазведочных работ МОГТ-2D путем моделирования сейсмических полей. В отложениях терригенного фациального комплекса, представленных аргиллитами, алевролитами, песчаниками, выделяется несколько промышленных продуктивных горизонтов. Моделирование позволило объяснить динамические и кинематические особенности волновой картины в интервале терригенных пород и установить соответствие между сейсмическими волнами и отдельными пластами терригенных пород. В результате построена карта мощностей терригенной части разреза. Решение тонких динамических задач стало возможным после изменения технологии полевых работ и применения нового для Якутии импульсного источника возбуждения упругих волн «Енисей» (КЭМ-2, КЭМ-4).

Ключевые слова: Непско-Ботуобинская антеклиза, терригенные коллекторы, отложения венда – нижнего кембрия, двумерное моделирование, ПО «Tesseral», импульсный источник «Енисей КЭМ-2».

FORECASTING OF TERRIGENOUS RESERVOIRS IN THE VENDIAN – LOWER CAMBRIAN OF WEST YAKUTIA FROM NONEXPLOSIVE IMPULSE SEISMIC SURVEY DATA BASED ON SEISMIC MODELING

N. V. Pospeeva, A. A. Yegoshin, S. Yu. Sevostyanov, M. A. Petrov

Peculiarities of reservoir differentiation in Vendian terrigenous deposits of the West Yakutia areas and their forecast from seismic survey CDPM-2D by seismic field modeling are considered. Several commercial producing horizons are defined in deposits composing terrigenous facies complex which are represented by mudstone, siltstone, and sandstone. Modeling allowed to explain dynamic and kinematic features of wave pattern in terrigenous rock interval and to establish correlation between seismic waves and individual beds of the terrigenous rocks. As a result a thickness map of terrigenous section has been constructed. Fine dynamic problem solution became possible following the change in field work technology and application of impulse source of elastic wave excitation "Yenisei" (KEM-2, KEM-4).

Key words: Nepa-Botuoba anteklise, terrigenous reservoirs, Vendian – Lower Cambrian deposits, 2D modeling, SW "Tesseral", impulse source "Yenisei KEM-2".

В последнее время для нефтедобывающих компаний большой интерес представляют недра Западной Якутии, в которых сосредоточены огромные запасы углеводородного сырья. Более чем за 55 лет геологоразведки Якутии открыли много уникальных месторождений нефти и газа, эксплуатация которых позволит не только удовлетворить потребности республики, но и обеспечить экспорт углеводородов по трубопроводам в другие регионы страны.

Основными объектами поисков нефти и газа в Западной Якутии являются Непско-Ботуобинская антеклиза (НБА), Предпатомский прогиб и Вилюйская синеклиза. Наиболее изучена сейсморазведкой центральная и северо-западная часть Непско-Ботуобинской антеклизы (Непско-Пеледуйский и Мирнинский своды), где открыты 22 газонефтяных, нефтегазоконденсатных, нефтегазовых и газовых месторождения. Слабо исследована северо-западная часть НБА, где в настоящее время ОАО «Якутскгеофизика» (ЯГФ) производит поисково-региональные сейсморазведочные работы по государственным контрактам (рис. 1) и заказам нефтяных компаний. ЯГФ оснащена самым современным геофизическим оборудованием, которое производится ведущими зарубежными компаниями: телеметрические системы последнего поколения System Four (2004 и 2006 г.) и Scorpion (2008 г.) компании ION (I/O) (США), система 428XL (2007 г.) фирмы Sersel (Франция), и новейшими отечественными импульсными источниками колебаний «Енисей» КЭМ-2 и КЭМ-4 (2004 и 2008 г.).

Территория исследований (площадью более 7000 км²) интересна тем, что расположена в зоне регионального выклинивания терригенных отложений, к которым приурочены основные продуктивные горизонты нефтегазоносности. На площади работ поверхность кристаллического фундамента моноклинально погружается (средний градиент 4–5 м на 1 км) в сторону Курейской

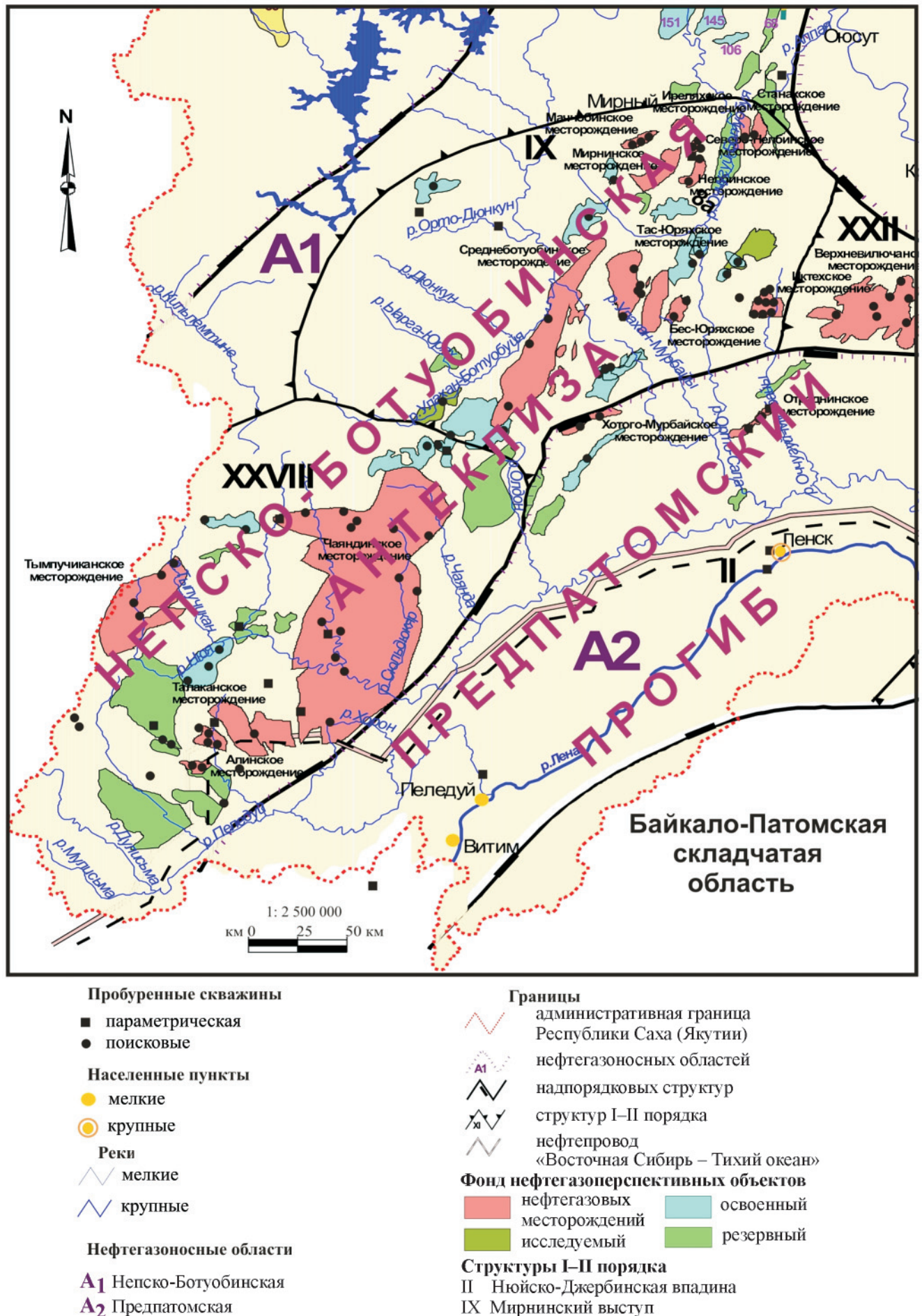


Рис. 1. Структурно-тектоническая карта Непско-Ботубинской антеклизы и Предпатомского прогиба

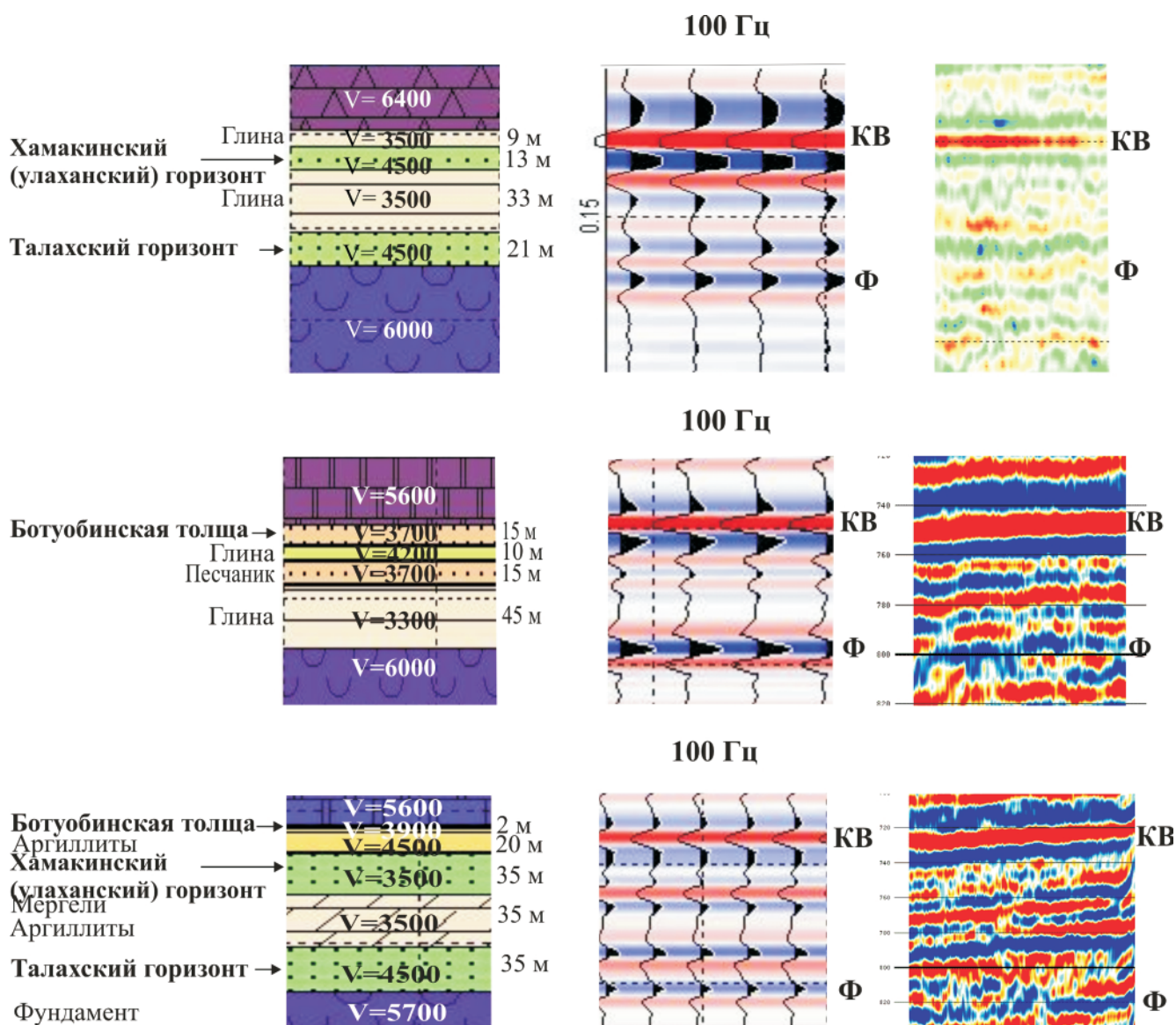


Рис. 2. Продуктивные горизонты в разрезе терригенной толщи Западной Якутии

синеклизы, образуя так называемую Чонскую террасу. В этом же направлении постепенно уменьшается мощность терригенных осадков вендского возраста, что является благоприятным условием для формирования литологических и стратиграфических ловушек неантиклинального типа. С запада площадь исследований граничит с Иркутской областью, где расположен Восточно-Сугдинский перспективный объект.

Поскольку изучаемая территория практически не охвачена бурением, ее перспективы оцениваются по данным бурения глубоких скважин, расположенных в непосредственной близости от крупных нефтегазовых месторождений (Чаяндынского на юге, Вакунайского и Тымпучиканского на западе, Среднеботубинского, Мирнинского и других на востоке). Залежи нефти и газа в них приурочены к терригенно-карбонатным отложениям венда – нижнего кембрия. В терригенном разрезе венда выделяются талахский, улаханский, хамакинский и ботубинский промышленные продуктивные горизонты (рис. 2). Каждый из них связан с опреде-

ленными циклами осадконакопления, без знания особенностей формирования которых невозможно с достаточной долей уверенности прогнозировать их распространение в исследуемом регионе.

Отложения, слагающие терригенный фациальный комплекс, формировались на начальном этапе мощной вендской трансгрессии, охватившей почти всю Сибирскую платформу. В стратиграфическом отношении вендский продуктивный комплекс содержит отложения талахской и паршинской свит венда, а также терригенные отложения нижнебюкской подсвиты иктехской серии. Первым двум свитам соответствуют два цикла осадконакопления, разделенные стратиграфическим несогласием (талахско-нижнепаршинский и верхнепаршинский, включающие талахский и хамакинский продуктивные горизонты). Отдельному седиментационному циклу осадконакопления соответствует ботубинский продуктивный горизонт, перекрытый мощной карбонатной толщей, нижние 5–15 м которой сложены ангидритизированными доломитами, являющимися надежными

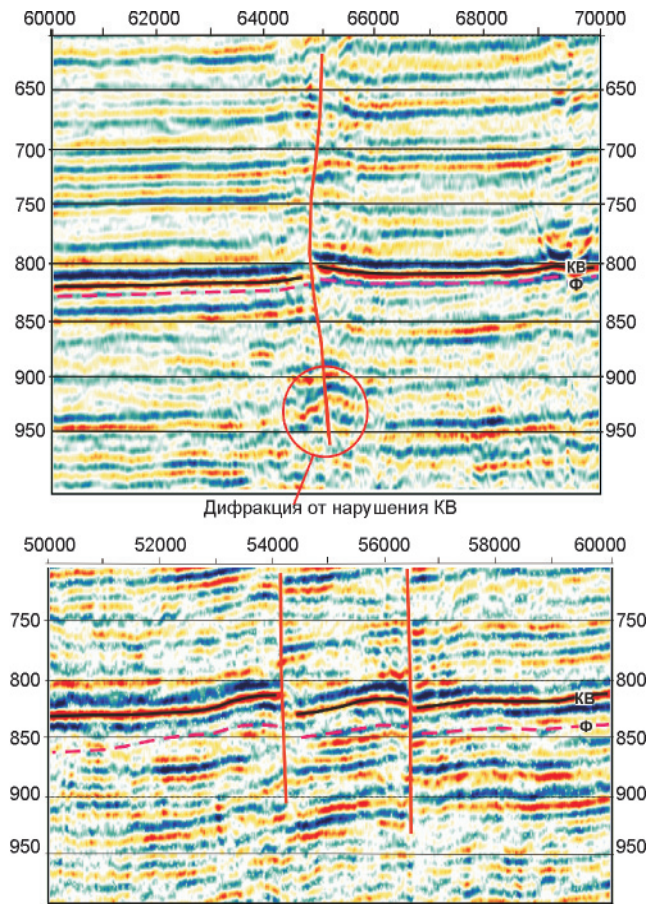


Рис. 3. Фрагменты временных разрезов (пр. 05021)

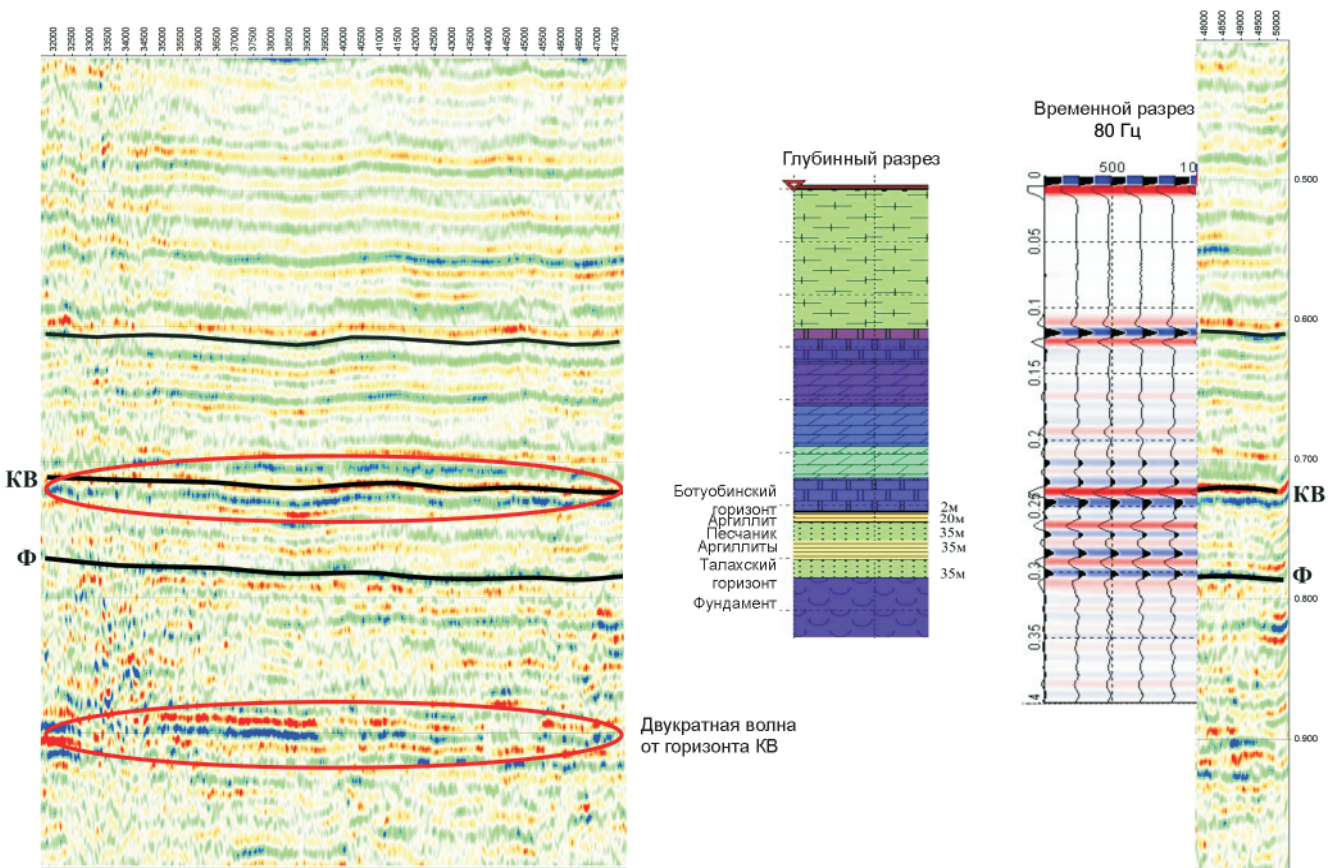


Рис. 4. Пример подбора модели терригенной части разреза на сейсмическом профиле

флюидоупорами. Такое строение терригенного комплекса характерно для Непско-Пеледуйского свода, где расположены Чаяндинское, Тымпучиканское, Талаканское, Алинское месторождения. Общая мощность терригенной части разреза здесь 30–250 м. В пределах Мирнинского свода в вендское время отлагались осадки курсовской свиты, к нижней части которой приурочен талахский продуктивный горизонт, а к верхней – улаханский. Непосредственно на курсовской свите залегают песчаники ботубинского горизонта. Общая мощность свиты меняется от 0 до 124 м. Со стороны Иркутской области терригенный комплекс представлен нижнемостской подсвитой венда, сложенной аргиллитами, алевролитами и песчаниками и являющейся аналогом паршинской свиты. Мощность подсвиты сокращается в западном направлении от 90–80 до 17–19 м. В ней выделен верхнечонский продуктивный горизонт (аналог хамакинского), образованный двумя песчаными пластами.

Таким образом, развитие мощных коллекторов в терригенных отложениях венда вокруг площади исследований, наличие нефтегазоконденсатных месторождений на соседних площадях, общая благоприятная геологическая обстановка позволяют высоко оценить перспективы нефтегазоносности северо-западной части НБА и предположить распространение здесь талахского, хамакинского, улаханского и ботубинского продуктивных терригенных горизонтов.

Рис. 5. Карта мощности терригенной части разреза

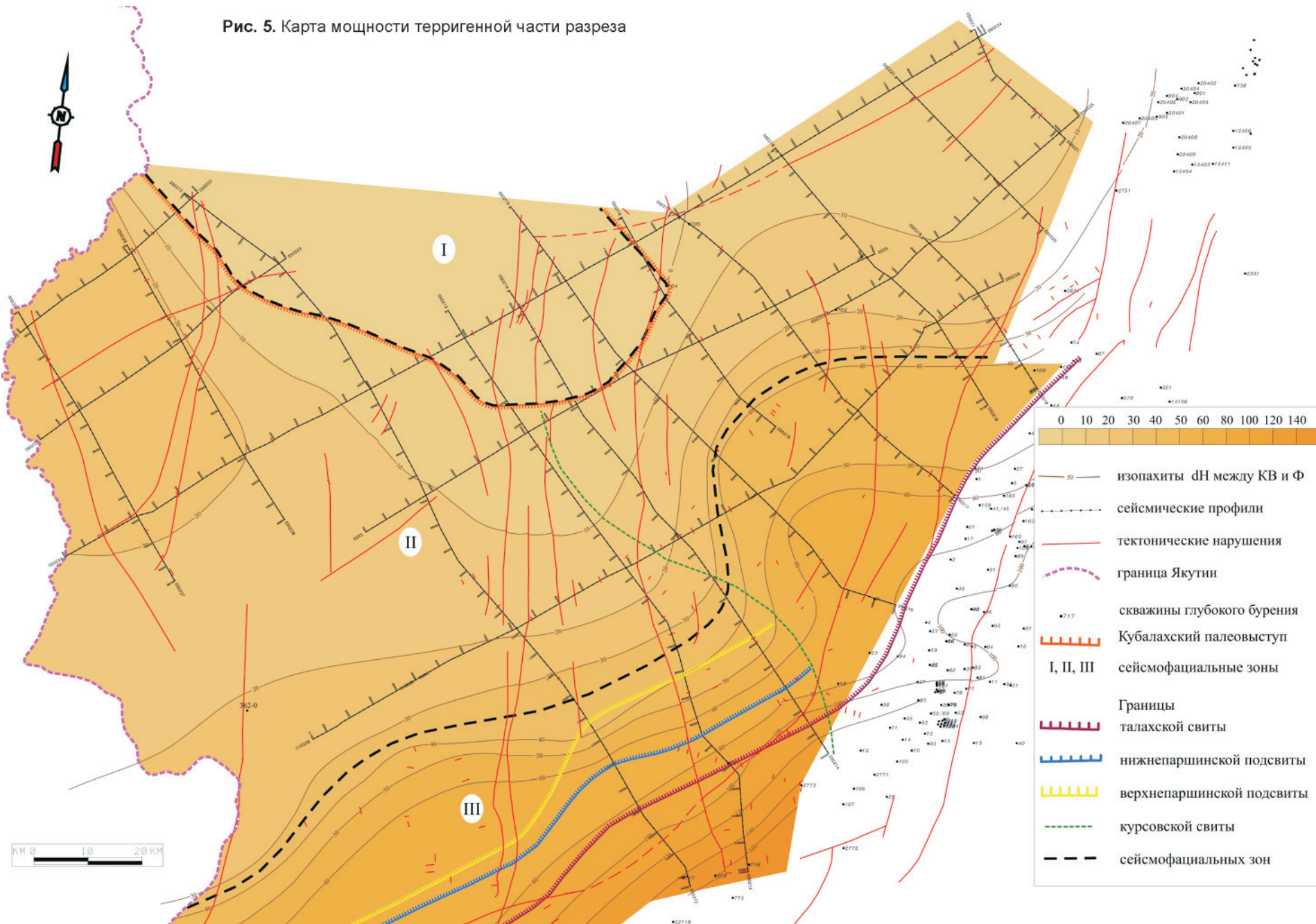




Рис. 6. Сейсмостанция Input/Output System Four в рабочем состоянии (а) и импульсные источники сейсмических колебаний «Енисей КЭМ-2» (б)

По результатам сейсморазведочных работ МОГТ-2D кратностью 60 выполнены прогноз распространения терригенных коллекторов на площади исследований путем моделирования сейсмических полей на месторождениях, примыкающих к площади работ, и их сопоставление с наблюдаемыми полями. Использование программы двумерного моделирования «Tesseral 2D» было необходимой составной частью процесса интерпретации и наиболее мощным средством достоверного изучения геологического разреза.

Южная часть площади граничит с крупнейшим в Восточной Сибири Чаяндинским нефтегазоконденсатным месторождением. Скважины здесь вскрыли кристаллический фундамент на абсолютных отметках –1390...–1450 м, а мощность терригенной части разреза составляет 76–127 м. На временных разрезах к кровле терригенных пород венда приурочен целевой сейсмический горизонт KB, а к подошве – сейсмический горизонт Ф. Распознавание первого на сейсмическом материале не составляет труда, тогда как со вторым, обладающим динамической неустойчивостью, имеются большие сложности (рис. 3). Это объясняется строением фундамента, наличием на его поверхности невыдержанной по мощности и скоростным параметрам коры выветривания. Поэтому первая задача, которую требовалось решить при интерпретации, – определение подошвы терригенной части разреза или распознавание горизонта Ф на временных разрезах, для чего была построена карта мощностей терригенных пород по данным бурения скважин вокруг площади и выполнено сейсмическое моделирование на профилях, проходящих через скважины 741, 750, 763, 760.

При расчете моделей использовались данные о физических свойствах вмещающих пород по скважинам Западной и Озерной площадей Чаяндинского месторождения и модели типичных геологических ситуаций. Синтетический временной разрез сопоставлялся с наблюдаемыми данными, проверялись действительное наличие горизонтов и другие особенности геологической модели. В процессе создания модели проводи-

лась специальная интерпретация, при которой совместно рассматривался комплекс геолого-геофизических данных (скорости, мощности, состав пород, глубины и др.) и осуществлялась многоэтапная процедура уточнения модели путем многократного сопоставления наблюдаемых и рассчитанных характеристик волнового поля.

Затем модели усложнялись. Возможность расчленения терригенной части разреза на стратиграфические комплексы, к которым приурочены продуктивные горизонты, показана на рис. 4. Далее на временных палеоразрезах данные комплексы выделялись и трассировались по площади исследования. Границы прогнозного распространения коллекторов наносились на карты. Моделирование позволило объяснить динамические и кинематические особенности волновой картины в интервале терригенных образований и установить соответствие между сейсмическими волнами и отдельными пластами данных пород. В результате построена карта мощностей терригенной части разреза по данным сейсморазведки (рис. 5). Она иллюстрирует и региональные особенности трансгрессивного выклинивания терригенных отложений в направлении к Курейской синеклизе, и локальные особенности строения песчаных тел, слагающих данный интервал разреза. Как уже отмечалось, на изучаемой территории могут быть распространены талахский, улаханский, ботубобинский, хамакинский, а то и совсем неизвестные продуктивные горизонты. Анализ данных бурения показал, что мощности ботубобинского и хамакинского горизонтов в скважинах Чаяндинского месторождения уменьшаются в северо-западном направлении, поэтому наличие этих горизонтов, по всей вероятности, возможно только в юго-восточной части площади. Талахский горизонт, расположенный в нижней части терригенных вендских отложений, на площади исследования, скорее всего, обводнен, поэтому наиболее интересен в отношении нефтегазоносности может быть оставшийся улаханский горизонт (или его еще неизвестный аналог).

Последующее бурение глубокой параметрической Западно-Ботубобинской скв. 362-0 подтвер-

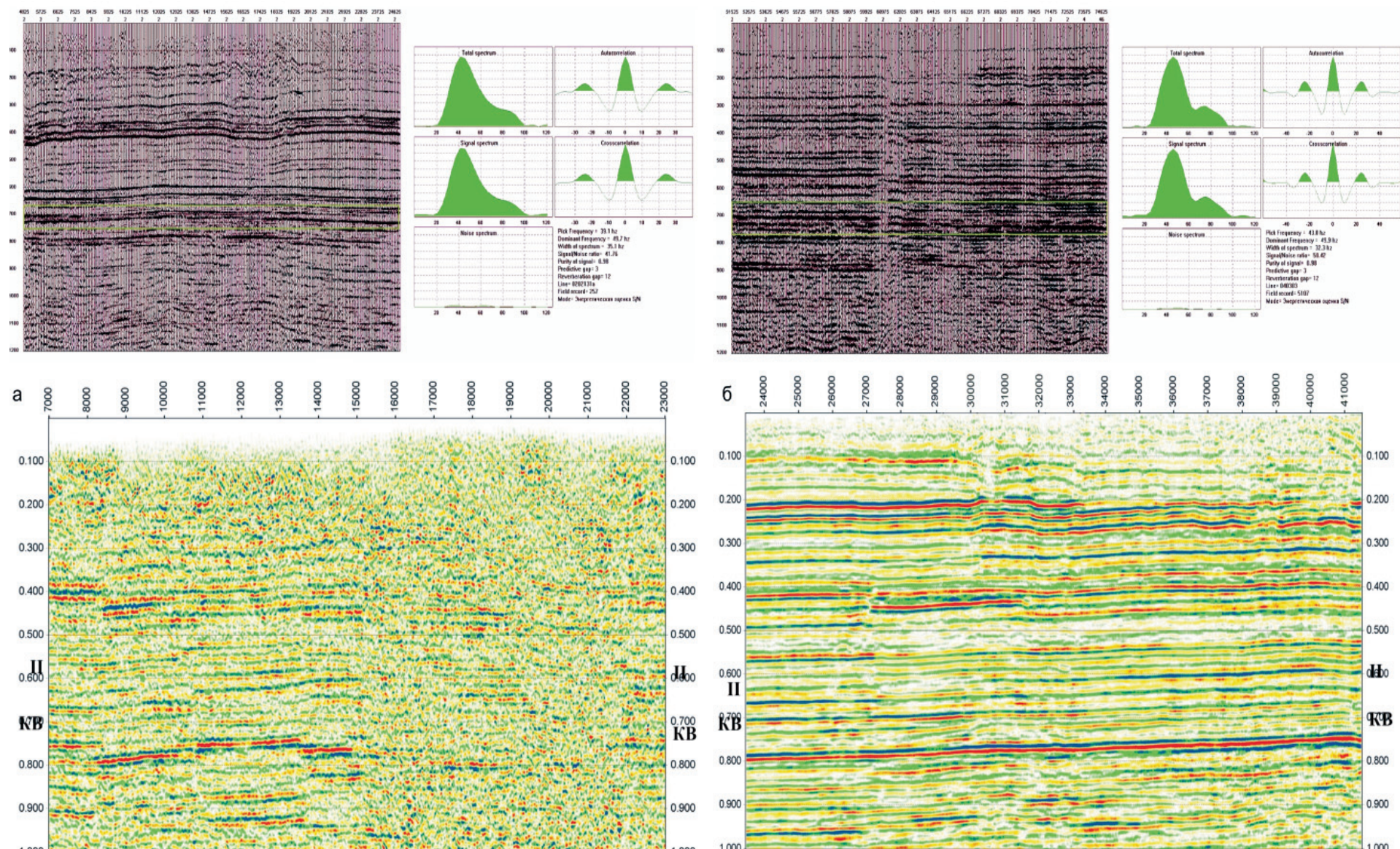


Рис. 7. Фрагменты временных разрезов и их амплитудно-частотные характеристики: а – сейсмический профиль 8402440, отработанный виброисточником; б – сейсмический профиль 040309, отработанный импульсным источником «Енисей КЭМ-2»





дило наличие в разрезе терригенных пород прогнозируемой мощности (21 м).

Однозначно можно сказать, что решение тонких динамических задач стало возможным после изменения технологии полевых работ, и в частности применения нового для Якутии импульсного источника возбуждения упругих колебаний «Енисей» (КЭМ-2, КЭМ-4). С его помощью по материалам невзрывной импульсной сейсморазведки решалась задача прогнозирования коллекторов терригенной части разреза (рис. 6).

Амплитудно-частотные характеристики импульсного электромагнитного источника возбуждения сейсмических колебаний не уступают таковым скважинных взрывных источников и, кроме того, отличаются большей стабильностью импульса и параметров возбуждения. Это позволяет решать тонкие динамические задачи прогнозирования коллекторов и залежей углеводородов. Использование данной аппаратуры значительно уменьшает стоимость полевых работ, снижает остроту экологических проблем, особенно при работе в водоохраных зонах, упрощает безопасность сейсморазведочных работ

и дает возможность проводить их там, где запрещено использование взрывной технологии.

Для сравнения эффективности различных источников колебаний использовались следующие основные атрибуты получаемой сейсмической записи:

- частотный диапазон целевых отраженных волн;
- соотношение сигнал/помеха в окнах прослеживания целевых отраженных волн;
- амплитудные характеристики целевых отраженных волн;
- глубинность исследования;
- наличие побочных шумов или помех от используемого источника.

По материалам опытных работ выполнен анализ полученных атрибутов и сделан следующий вывод: по динамическим параметрам импульсные источники «Енисей КЭМ» в группе из 3 установок с количеством накоплений воздействий 8 не уступают вибросейсмическим и поверхностным взрывным источникам, а на сложных участках превосходят их (рис. 7).