



НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА

М. Ю. Смирнов, Г. Д. Ухлова, Е. В. Мосягин, В. Н. Беспечный

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Рассмотрены особенности строения разреза Восточно-Сибирского региона, которые влияют на эффективность и надежность результативных материалов сейсморазведочных исследований. Проанализированы различные параметры системы наблюдений и их влияние на волновое поле сейсмических разрезов. Как показывает многолетний опыт, отсутствие геологической информации об объектах исследования или ее недоучет резко снижают эффективность обработки. Последнее время все чаще используется термин «интерпретационная обработка», особенно когда необходимо построить скоростную модель на этапе обработки, что является непростым процессом. В сложных сейсмогеологических условиях для построения достоверных геологических моделей монометодное использование сейсморазведки не всегда эффективно и требуется привлечение комплексных исследований, что показано в статье на ряде примеров.

Ключевые слова: Восточная Сибирь, сейсмический разрез, волновое поле, комплексирование, обработка, сейсморазведочные работы, система наблюдений.

SOME METHODOLOGICAL PECULIARITIES OF THE GEOPHYSICAL COMPLEX APPLICATION IN THE STUDY OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE EAST SIBERIAN REGION

M. Yu. Smirnov, G. D. Ukhlova, E. V. Mosyagin, V. N. Bespechny

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

The structural features of the section of the East Siberian region that affect the efficiency and reliability of effective seismic exploration materials are considered. Various parameters of the observation system and their influence on the wave field of seismic sections are analysed. As the long time experience shows, the lack of geological information about targets under investigation or its underestimation dramatically reduce the efficiency of processing. Recently, the term “interpretation processing” is increasingly emerging, especially when it is necessary to build a velocity model at the processing stage, which is a complex process. In the complex seismic-geological conditions for the construction of reliable geological models the monomethod use of seismic prospecting is not always effective, and it is required to involve complex studies, which is shown in the article on a number of examples.

Keywords: East Siberia, seismic section, wave field, complexation, processing, seismic exploration, observation system.

DOI 10.20403/2078-0575-2018-2-65-76

Территория Восточной Сибири характеризуется сложнейшими сейсмогеологическими условиями. Целый ряд факторов отрицательно влияет на эффективность сейсморазведочных работ и снижает точность прогноза при поиске и разведке залежей углеводородов:

1. Резко расчлененный рельеф, что приводит к усложнению графа обработки с использованием дополнительного «плавающего» уровня приведения на этапе учета статических и кинематических поправок, а также миграции до суммирования.

2. Появление на дневной поверхности нижнетриасовых грубообломочных туфовых образований, с которыми связано интенсивное рассеивание и уменьшение мощности сейсмического сигнала при возбуждении, а также рассеивание отраженных волн в верхней части разреза.

3. В целом очень сложное мелкоклавишное строение ВЧР, что приводит к получению низкочастотных разрезов и к ошибкам в структурных по-

строениях, не позволяющим решать поставленные геологические задачи.

4. Высокоскоростной разрез, что, в первую очередь, провоцирует появление фатальных ошибок в скоростной модели.

5. Наличие контрастных границ, которые формируются кровлями и подошвами соляных пластов, образующих частично-кратные волны, что приводит к ошибкам в стратификации разреза. Следует отметить, что невыдержанность свойств этих границ и их большое количество (до 10 и более пластов соли в разрезе нижнего кембрия) практически сводят на нет традиционные методы борьбы с кратными волнами при цифровой обработке материалов сейсморазведки.

6. Высокая латеральная неоднородность отложений, что приводит к изменению акустических свойств и, как следствие, к изменению волновой картины: отсутствует фазовая корреляция отражающих горизонтов.

7. Длительно существующие эрозионные поверхности несогласия, которые приводят к усложнению волновой картины, отсутствию фазовой корреляции отражающих горизонтов.

8. Блоковое строение и наличие дизъюнктивных нарушений с различной амплитудой смещения по вертикали, что ведет к ошибкам в стратификации разреза и в структурных построениях, образованию «немых» зон на сейсмических разрезах.

9. Интрузивные тела, особенно трапповые силы по всему разрезу, вследствие которых возникают ошибки в скоростных моделях и в стратификации толщ.

10. Различная степень метаморфизма пород, например, в продуктивных рифейских отложениях: часто метаморфизованный комплекс отложений становится сейсмически «прозрачным» и др.

Особенности сейсмического волнового поля Восточной Сибири описывали многие исследователи, но до сих пор не существует единой точки зрения на причину ухудшения информативности разрезов [1–3 и мн. др.]. Эти вопросы рассмотрены по результатам опытно-методических сейсморазведочных исследований в огромном количестве фондовых материалов, посвященных совершенствованию их эффективности в регионе (О. К. Кондратьев, В. Г. Сибгатулин, В. И. Казаис, Б. И. Музыченко, В. А. Богдан, А. С. Ефимов, И. В. Корсунов, М. М. Мандельбаум, В. Д. Клыкова, А. А. Егошин, С. Б. Мячев и др.).

Поисковая методика для локальных нефтеперспективных объектов, основанная на выделении антиклинальных перегибов в Восточной Сибири, практически не работает, так как точность прогноза глубин залегания пластов часто невысока – ниже амплитуды реальных локальных поднятий. Распределение свойств коллекторов и покрышек устанавливается неоднозначно. Коэффициент успешности бурения, несмотря на все передовые технологии, по-прежнему остается низким, а фактор риска – высоким. Пример разреза через Куюмбинское газонефтяное месторождение, иллюстрирующий основные проблемные особенности геологического строения для сейсморазведки, приведен на рис. 1.

К причинам, осложняющим проведение нефтепоисковых сейсморазведочных работ, следует добавить индивидуальность их набора для отдельных площадей и районов, поэтому при работах в Восточной Сибири необходим анализ эффективности применяемых методик как полевых, так и используемых при обработке. Эффективность нефтегазопоисковых работ во многом определяется результатами выполненных исследований и уникальностью каждого из рассматриваемых объектов.

Эффективность методик при проведении сейсморазведочных работ

В настоящее время совершенствование методики сейсморазведочных работ, внедрение новых

технологий и разработок происходит в основном на поисково-разведочном этапе и в модификации 3D. Например, у недропользователей приобретают популярность такие современные методы:

- высокоразрешающая технология UniQ (WGSchlumberger), при которой используется от нескольких десятков до 200 и более активных каналов, регистрирующих сейсмический сигнал с любой необходимой плотностью, что позволяет уменьшить пространственный шаг дискретизации и обеспечивает эффективное подавление помех при обработке;
- широкоазимутальная сейсморазведка, которая дает возможность повысить точность структурных построений, а также определить направление трещиноватости, подавить помехи, обусловленные недоучетом трехмерной природы объектов, тем самым, повысить точность оценок динамических параметров и мн. др.

Современные методы дают огромный прирост более точной и детальной информации об изучаемом объекте, но в то же время вскрывают многие не до конца решенные в сейсморазведке проблемы, а их решение требует дальнейшего развития технологий, алгоритмов и программного обеспечения.

Методика проведения региональных сейсморазведочных работ часто отстает, находится на технологическом уровне конца прошлого века, что необходимо исправлять. Существует острая необходимость получения информативных сейсмических разрезов в таких сложных, но весьма перспективных районах Восточной Сибири, как Предпатомское нагорье, Сурингдаконский выступ (особенно районы Таначинского и Моктаконского нефтегазопроявлений в его пределах), северо-западные склоны Непско-Ботуобинской антеклизы (особенно в Аргишско-Чуньской нефтегазоперспективной зоне).

В 2012–2014 гг. Богучанской геофизической экспедицией проводились опытно-методические работы (Д. В. Машенькин) по совершенствованию методики полевых региональных сейсморазведочных исследований на 50-километровом профиле в восточной части южного борта Курейской синеклизы. Предполагалось оценить эффективность применения различных технологий возбуждения сигнала – взрывной и невзрывной (импульсные источники КЭМ-4).

Основные параметры системы наблюдений при проведении полевых работ: шаг ПП = 12,5 м; шаг ПВ = 25 м; длина расстановки 16 км; кратность 320.

В задачи обработки входило в том числе исследование влияния параметров системы наблюдений на качество получаемого временного разреза. Для этого исходные полевые сейсмограммы по данным взрывного и невзрывного источников были обработаны с использованием одного и того же графа обработки (рис. 2). Применяемые окончательные статические и кинематические поправки были подобраны по данным взрывного источника.

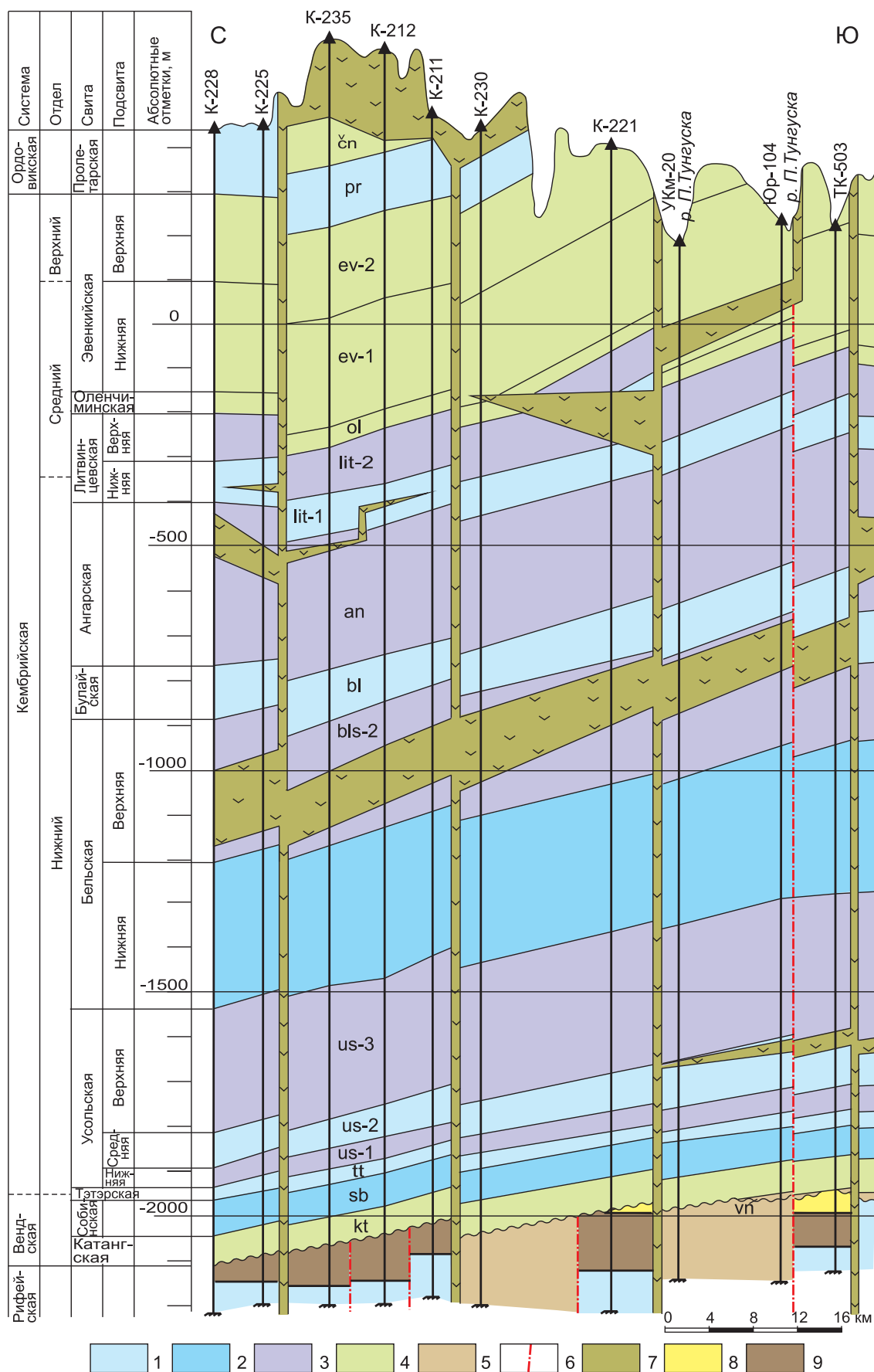


Рис. 1. Субмеридиональный разрез Куюмбинского месторождения (сост. Н. В. Мельников, СНИИГГИМС)
Толщи: 1 – карбонатные, 2 – сульфатные, 3 – соленосные, 4 – терригенные, 5 – глинистые; 6 – разрывные нарушения; 7 – долериты; 8 – газ; 9 – нефть; скважины: К – Куюмбинские, Юр – Юрубченская, УКм – Усть-Камоновская, ТК – Терско-Камоновская

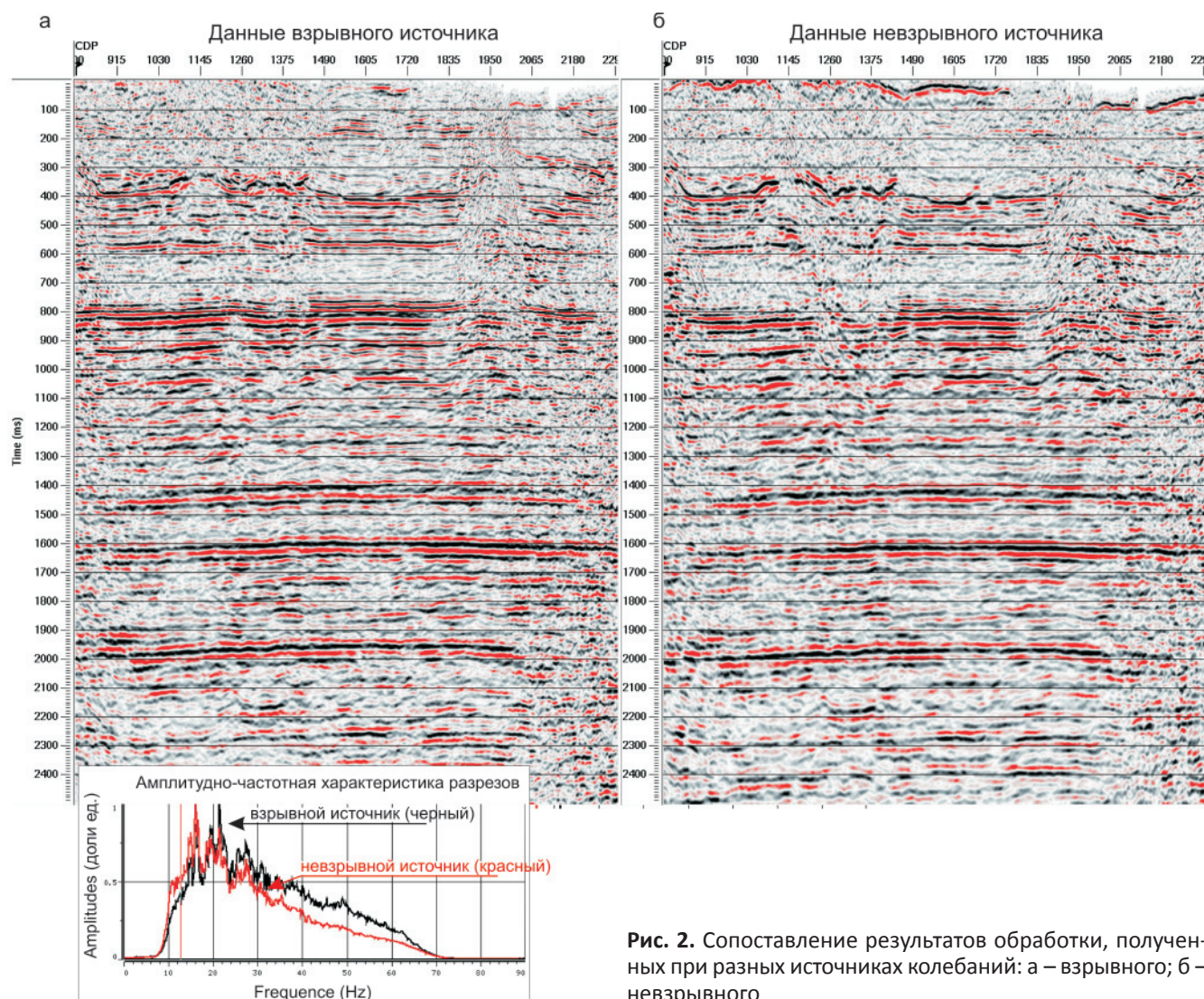


Рис. 2. Сопоставление результатов обработки, полученных при разных источниках колебаний: а – взрывного; б – невзрывного

Сравнивая спектральные характеристики окончателных разрезов можно сделать вывод, что данные взрывного источника имеют бо́льшую амплитуду на высоких частотах, что хорошо заметно и по волновой картине в верхней части разреза (ВЧР). При этом в интервале разреза, соответствующем венд-кембрийским отложениям, волновые картины обоих источников сопоставимы.

Для анализа влияния параметров системы наблюдений на качество временного разреза из исходных данных были сделаны выборки (см. таблицу).

Для оценки влияния шага ПВ/ПП использовались три первые выборки. По ним были построены

Набор параметров для анализа их влияния на качество временного разреза

ПП, м	ПВ, м	Кратность	Расстановка, км
12,5	25	320	16
25	25	160	16
25	50	80	16
12,5	25	240	12
12,5	25	200	10
12,5	25	160	8
25	25	80	8

разрезы, которые анализировались как визуально, так и количественно путем расчета функции взаимной корреляции (ФВК) пар соседних трасс в окне 300–2500 мс. Получилось, что энергия полезного сигнала закономерно падает с возрастанием шага по ПП или ПВ. Особенно ярко это проявляется в сложных зонах, что подтверждает и ряд атрибутов, рассчитанных по данным разрезам в окне целевых горизонтов.

Для анализа выборок на основе ограничения удалений были построены разрезы, которые сравнивались между собой визуально и количественно (рис. 3). Все они получены с применением выдержанных регулировок и нормировок, в том числе с использованием АРУ в окне 500 мс. Результаты, полученные при длине расстановки 16 и 12 км практически совпадают, уменьшение длины расстановки ведет к частичной потере прослеживаемости отражающих горизонтов на малоинформативных участках.

Проанализировав все имеющиеся данные от взрывного и невзрывного источников колебаний и временные разрезы по различным выборкам, мы можем сделать следующие выводы.

1. Данные от взрывного источника позволили получить более высокочастотный разрез, что ил-

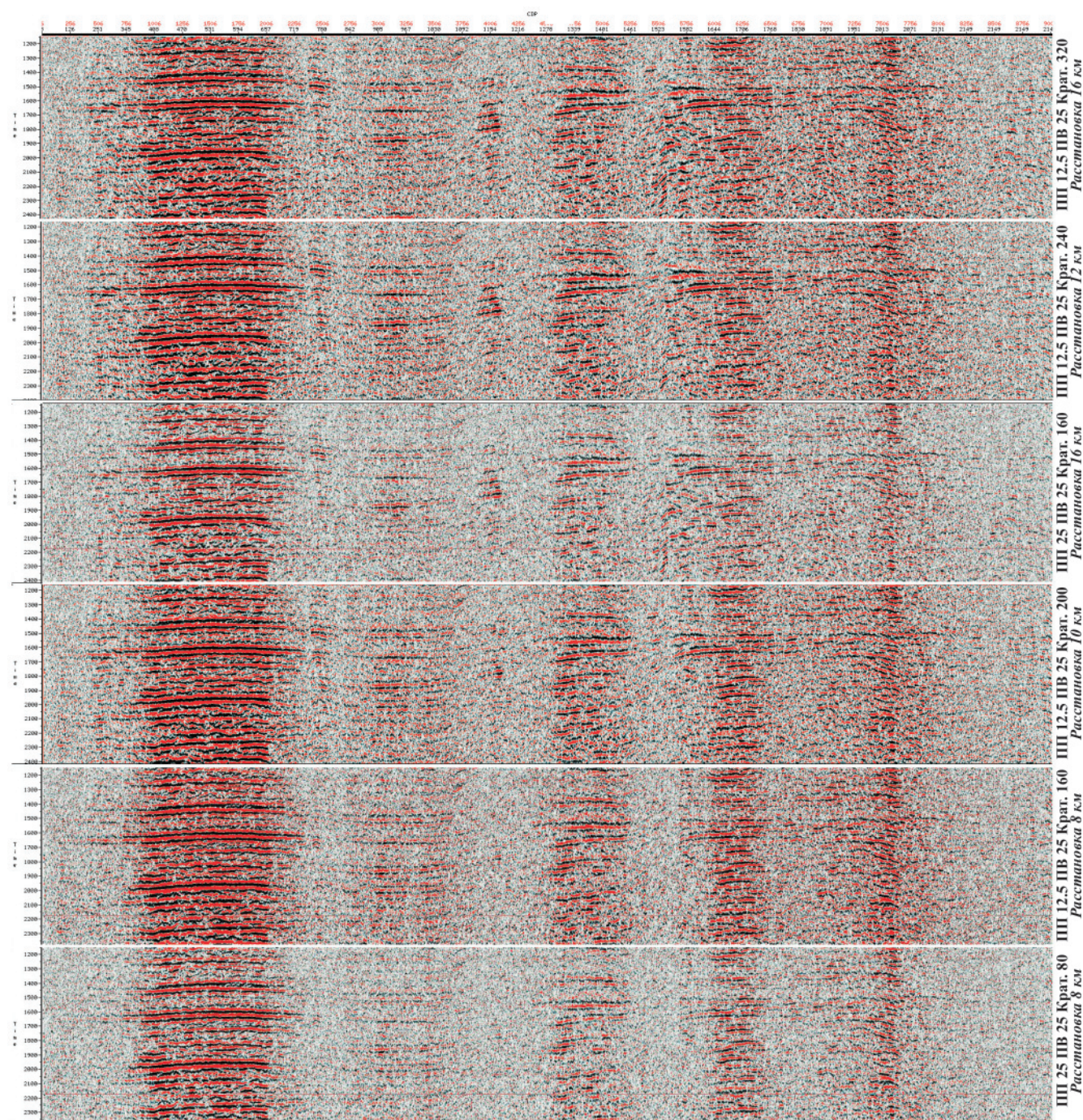


Рис. 3. Фрагменты выборок на основе разных параметров системы наблюдения

люстрируется и визуально по характеру волнового поля, и по амплитудно-частотным характеристикам. Причина пониженной частоты данных невзрывного источника – вынужденное группирование на базе пяти источников КЭМ-4 с большим количеством накоплений для достижения требуемого уровня энергии.

2. Увеличение шага между пунктами приема существенно влияет на энергию сигнала и на соотношение сигнал/помеха на суммированных данных. Это особенно критично на участках с низкой информативностью, формируемых в первую очередь мелкоблоковостью ВЧР. Большой шаг по пунктам приема также не лучшим образом сказывается на

коррекции статических и кинематических поправок и подавлении помех по сейсмограммам.

3. Ограничение по удалениям источник – приемник до 6 км при шаге ПП 12,5 м и ПВ 25 м (961 канал, кратность 240) дало результат, сравнимый с исходным разрезом (ПП 12,5 м, ПВ 25 м, удаление источник – приемник 8 км, кратность 320). Это связано с тем, что данные на удалениях 6–8 км практически не содержат статистически значимого сигнала. Кроме того, по результатам нашего анализа можно отметить, что первые вступления преломленных волн на таких удалениях малоинформативны, а длина расстановки свыше 12 км неэффективна при борьбе с кратными волнами.

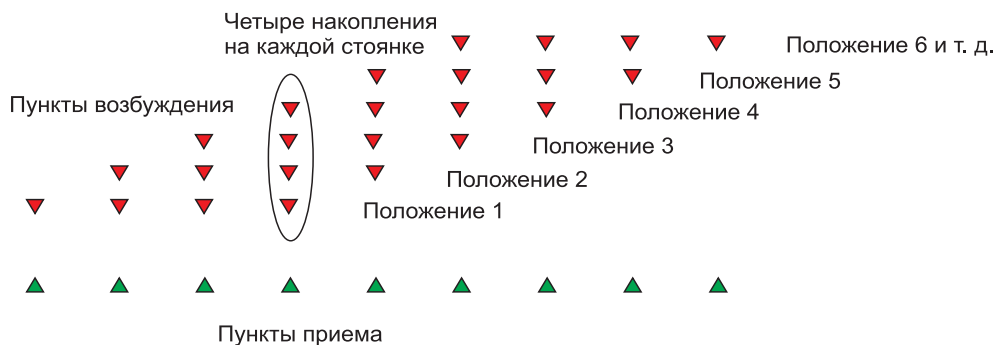


Рис. 4. Схема наблюдений при методике «скользящего» возбуждения

Опытнo-методические работы показывают, что уменьшение шага между ПП и ПВ приводит к повышению информативности сейсмического материала. В то же время уменьшение шага между ПВ приводит к значительному увеличению стоимости работ (увеличение количества наблюдений в разы по сравнению со стандартной методикой). Мы предлагаем на сложных участках опробовать методику «скользящего возбуждения», суть которой заключается в следующем.

1. Шаг между ПП должен быть минимально возможным. Необходимо исключить применение больших баз группирования сеймоприемников (не больше шага между ПП). Желательно применение лабораторного группирования.

2. Возбуждение осуществляется так: группа из N источников делает одно воздействие и смещается на один источник и т. д. (рис. 4) При этом записывается каждое воздействие. Шаг между точками ПВ может быть равен шагу ПП. Таким образом, на каждой точке будет N воздействий. В отличие от стандартной методики, при обработке полученных материалов появляется возможность гибкого группирования источников для оптимального шага с обработкой каждого накопления перед суммированием.

Хорошо известно, что качество получаемых данных зависит от плотности съемки. Высокая плотность позволяет избежать алиасинга не только сигнала, но и волн-помех, что положительно сказывается на проведении процедур по их подавлению. Кроме того, хорошая пространственная дискретизация преломленных волн важна для надежной корреляции первых вступлений и расчета статических поправок [4]. При сопоставимых со стандартной методикой экономических затратах предлагаемая нами позволяет не только увеличить плотность съемки, но и осуществить лабораторное группирование отдельных накоплений в процессе обработки с применением любой желаемой фильтрации.

Эффективность методик при проведении обработки сейсморазведочных данных

Сейсмогеологические условия Восточной Сибири значительно отличаются от таковых других регионов России. В существующих условиях многие процедуры обработки не дают ожидаемого положительного эффекта. На практике для получе-

ния кондиционного разреза необходимы гораздо большие, чем в других регионах, усилия по подбору оптимальных процедур и их параметров на каждом этапе обработки.

Определенные проблемы возникают практически на каждом этапе обработки. В условиях резкого латерального непостоянства приповерхностных условий и при сильно зашумленном сейсмическом материале алгоритмы поверхностно-согласованной деконволюции не могут корректно оценить импульс и построить правильный обратный фильтр. В результате после деконволюции может оставаться существенная латеральная изменчивость формы сигнала, которая связана с не до конца скомпенсированным влиянием ВЧР.

Сейсмический материал характеризуется резким изменением поверхностных сейсмогеологических условий, что, в свою очередь, приводит к резкой смене волновой картины на получаемых временных разрезах. Хороший результат по устранению влияния поверхностных условий на динамику волнового поля был достигнут благодаря комбинированию процедуры деконволюции и спектрального отбеливания на определенных этапах обработки.

В большинстве районов Восточной Сибири существуют огромные проблемы с учетом ВЧР и способом расчета длинно- и среднепериодных статических поправок. Сложное, резко неоднородное блоковое строение ВЧР, характеризующееся зонами развития трапповых формаций и мощных туфогенных отложений, отрицательно влияет на качество материала. Помимо потери энергии и изменения формы сейсмического импульса, такое строение ВЧР ведет к возникновению существенных временных задержек. Мощность ВЧР до границы стабилизации скоростей в некоторых регионах может достигать 700–1000 м и даже более (Сурингдаконский выступ). Основным источником информации о ВЧР служат преломленные и частично рефрагированные волны. Получив приближенную скоростную модель по преломленным волнам и применив ее для замещения низкоскоростного слоя в ВЧР, можно компенсировать скоростные аномалии, вычисляя соответствующие временные задержки. Однако МПП имеет ряд ограничений и получаемые модели часто оказываются достаточно далеки от реального строения изучаемой толщи.

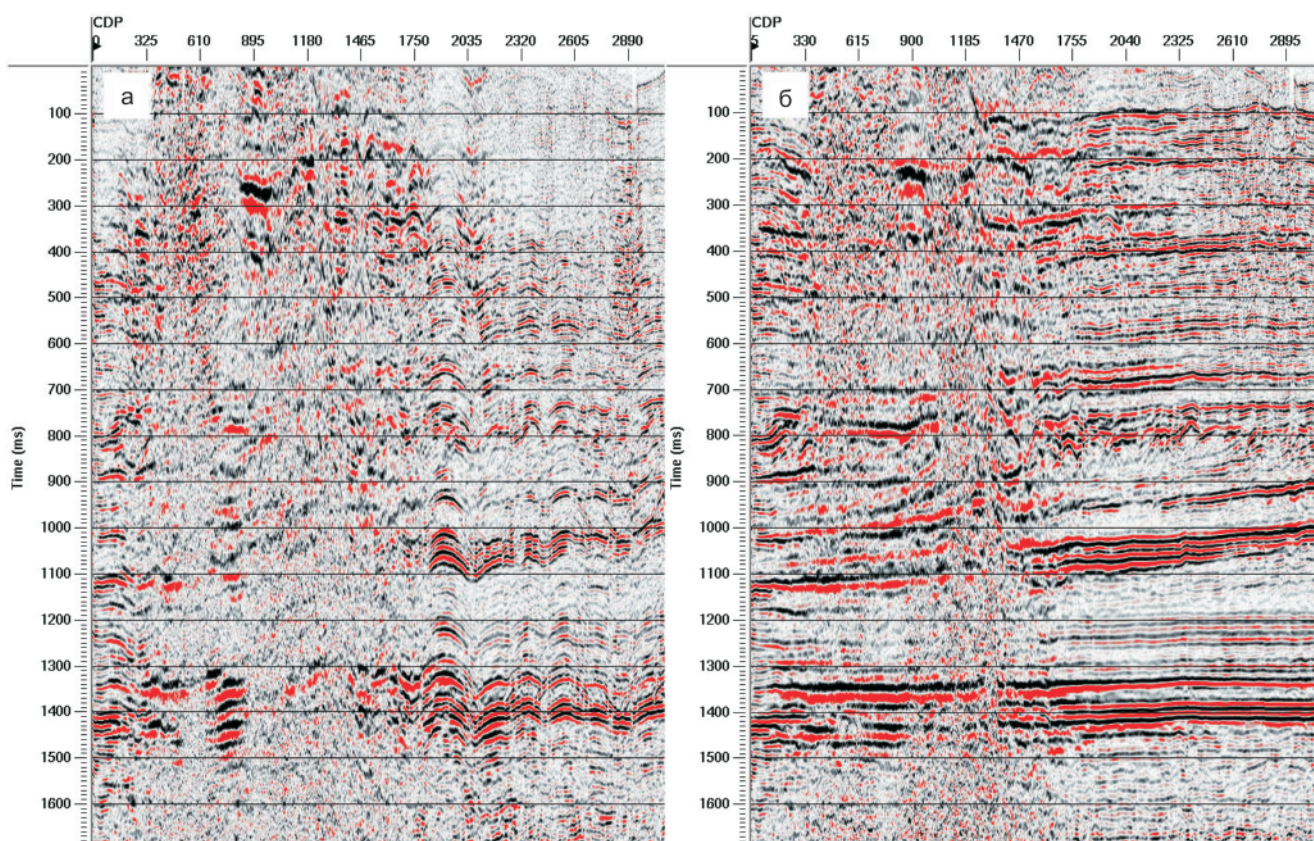


Рис. 5. Временной разрез до (а) и после (б) автоматической коррекции статических и кинематических поправок

На рис. 5, а приведен фрагмент временного разреза после учета статических поправок с использованием первых вступлений преломленных волн. Несмотря на то что первые вступления были прослежены в ручном режиме с последующим подбором параметров модели, очевидна явная недостаточная коррекция по части короткопериодных статических поправок. На рис. 5, б показан результат специального многоитеративного подхода к автоматической коррекции средне- и короткопериодных статических поправок, чередующихся с анализом скоростей суммирования. Благодаря комбинированию различных алгоритмов автоматической коррекции, удалось восстановить прослеживаемость горизонтов даже в условиях очень сильных искажений, вызванных влиянием ВЧР. Однако для достижения такого результата требуются существенные временные затраты на подбор параметров автоматической коррекции и интерактивный анализ скоростей.

В ряде случаев недоучтенная короткопериодная составляющая статических поправок приводит к практически полной потере видимости перспективного объекта (рис. 6).

Различные тестовые (конкурсные) обработки профилей показывают отсутствие геологической информации об объектах исследования, резко снижающее эффективность обработки, что подтверждается опытом многолетней работы. Поэтому не рекомендуется разделять обработку и интерпретацию сейсмических данных в таких сложных ре-

гионах, как Восточная Сибирь. В последнее время все чаще используется термин «интерпретационная обработка», особенно при необходимости построения скоростной модели на этапе обработки, а это сложный многоитеративный процесс.

В 2016 г. среди 17 организаций был проведен конкурс по обработке сейсмических данных. Его целью была оценка того, насколько опыт работы и знание геологии в регионе влияет на эффективность обработки данных. Было выбрано пять профилей в различных частях Сибирской платформы. По результатам проведенного конкурса можно сделать вывод: на большей части Восточной Сибири привычные для простых сейсмогеологических условий методики и подходы к обработке данных оказываются несостоятельными. На рис. 7 приведено сопоставление результатов обработки в шести организациях, не постеснявшихся показать итоговые материалы.

Эффективность комплексирования различных методов

В сложных сейсмогеологических условиях Восточной Сибири для построения достоверных геологических моделей монометодное использование сейсморазведки не всегда эффективно, требуются комплексные исследования: детальные исследования керна скважин параллельно с наземными и скважинными геофизическими методами, совместное использование наземных и аэрогеофизических методов.

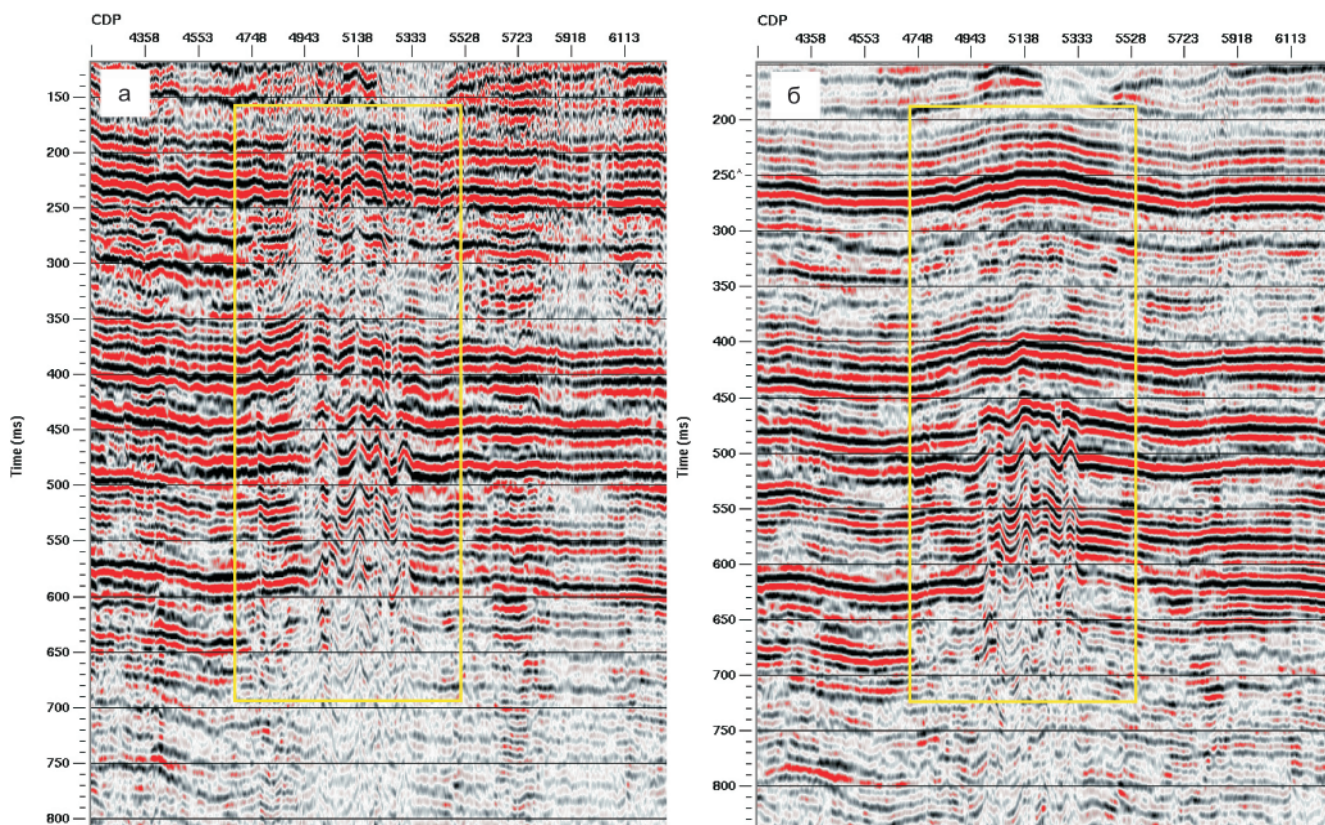


Рис. 6. Сравнение результатов автоматической коррекции статических поправок для Непско-Ботуобинской антеклизы: а – обработка 2007 г. (сторонняя организация), б – обработка 2016 г. (СНИИГГиМС)

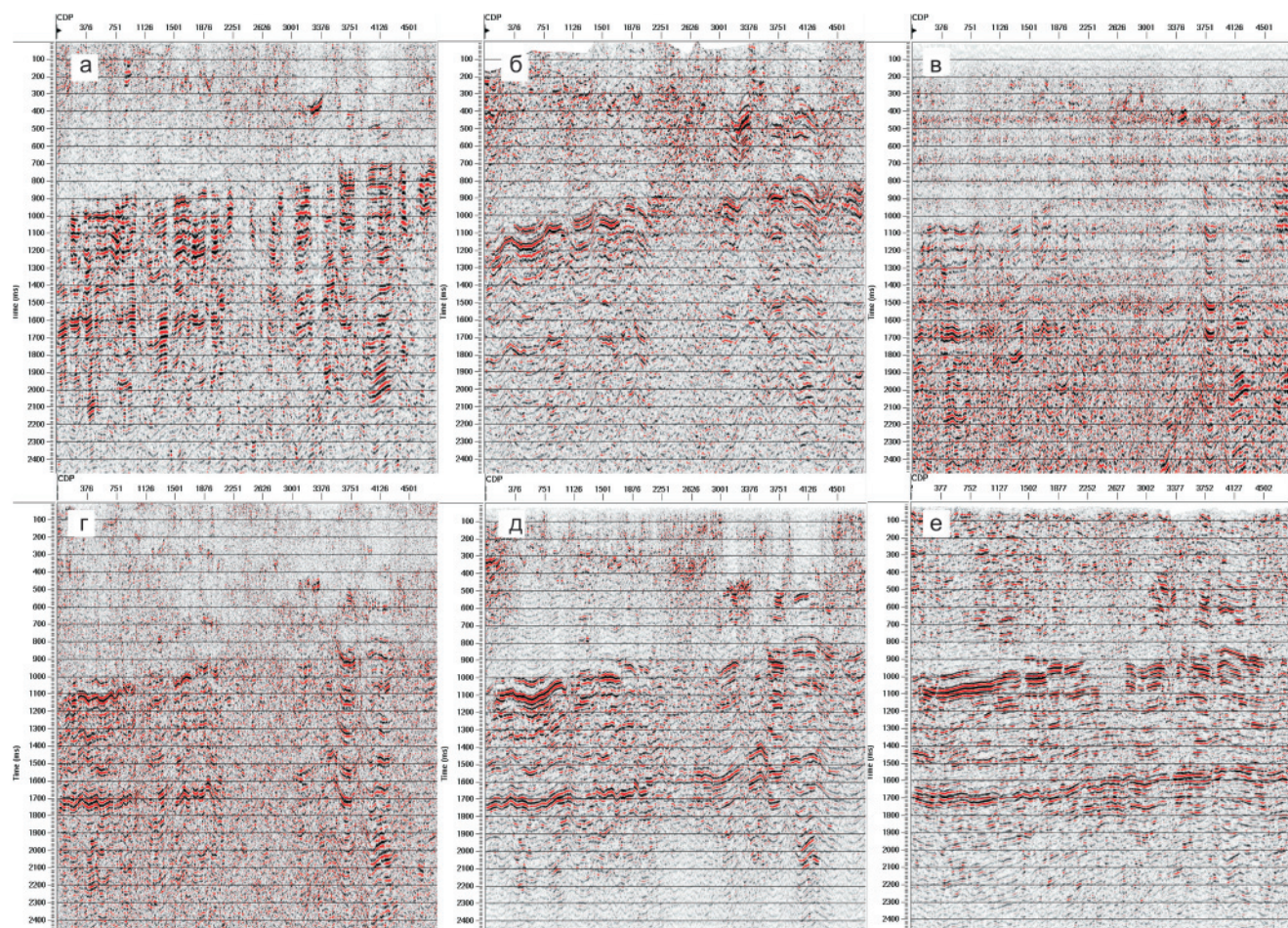


Рис. 7. Результаты тестовой обработки профиля в зоне сочленения Байkitской антеклизы и Курейской синеклизы: а–д – обработка в сторонних организациях, е – обработка в СНИИГГиМС

Комплексирование геофизических данных поможет сейсморазведке в построении моделей статических и кинематических поправок и позволит получать дополнительную информацию о геологической среде.

В стандарт интерпретации данных сейсморазведки на поисковом и разведочном этапах входят:

- комплексирование с ВСП, в том числе и многокомпонентным (для осуществления детальной стратиграфической привязки отражающих горизонтов и построения более достоверной модели);
- расчет сейсмических разрезов в глубинном масштабе (до суммирования), т. е. построение глубинно-скоростной модели с привлечением различных геологических данных на этапе обработки;
- петрофизическая обработка данных ГИС с анализом кернового материала и построением зависимостей керн – ГИС, ГИС – ГИС;
- сейсмофациальный анализ с учетом фаций и седиментологического описания керна;
- петрофизическое обоснование проведения различных видов инверсий сейсмических разрезов;
- инверсионные преобразования сейсмических разрезов (акустическая инверсия, инверсия с использованием алгоритмов нейронных сетей и расчетом разрезов α ПС, β ГК и др.);
- синхронная инверсия по сейсмограммам (с расчетом кубов скорости Р- и S-волн, соотношения V_p/V_s , Р- и S-импедансов, плотности) и стохастическая инверсия;
- расчет эффективной мощности пластов, пористости, проницаемости;
- прогноз флюидонасыщения, открытых и закрытых трещин с учетом данных электроразведки.

На этапе региональных работ такой детальный анализ в полной мере невозможен. Но практически на всех участках региональных ГРП выполняется комплексирование сейсморазведочных, электроразведочных и геохимических работ, иногда еще гравиметрические и аэрогеофизические исследования. Тем не менее результаты такого комплексирования трудно оценить, поскольку чаще всего результаты по разным видам исследований распределены между разными организациями-исполнителями. В итоге они представлены отдельными книгами, наборами графических материалов и не связаны между собой. При будущих геолого-разведочных работах за счет федерального бюджета следует более тщательно подходить не только к выбору методов комплексирования, но и к форме и требованиям представления результатов работ.

При проведении сейсмических работ целесообразно закладывать полный комплекс исследований по профилям:

- сейсморазведка;
- высокоточная гравиметрическая съемка;
- электроразведка (ЗСБ, МЗСБ и МТЗ);
- геохимическое опробование;

– геологические маршруты при наличии на площади обнажений.

Для повышения геологической эффективности геофизических исследований в состав комплекса рекомендуется включать аэроэлектромагнитные зондирования, направленные на изучение геоэлектрического разреза осадочного чехла, а в совокупности с наземной электроразведкой – и кристаллического фундамента на глубине от первых десятков метров до первых километров.

По данным Г. М. Тригубовича и др. (2016), участки возможного развития проводящих осадков и зоны резкого погружения фундамента могут быть изучены магнитотеллурическими зондированиями (МТЗ). Наблюдения рекомендуется проводить, как и для опорных сейсмических профилей, в полосе частот $3 \cdot 10^2$ – $3 \cdot 10^{-4}$ Гц с шагом по профилю 2 км.

Эффективность использования электромагнитных зондирований обусловлена независимостью качества электроразведочных материалов от поверхностных сейсмогеологических условий, что позволяет почти всегда получать интерпретируемый материал. Из-за своего значительного удельного электрического сопротивления кристаллический фундамент, в отсутствие структурного этажа (рифейской толщи), практически всегда является опорным геоэлектрическим горизонтом, надежно картируемым электромагнитными зондированиями. Важнейшая характеристика последних – высокая чувствительность к наличию коллекторов, которые в силу особенностей геологического строения Сибирской платформы являются основным элементом, определяющим перспективы нефтегазоносности изучаемого разреза. Электроразведочные данные в комплексе с сейсморазведочными позволяют (рис. 8):

- уточнить модель ВЧР (на геоэлектрических разрезах хорошо отображается блоковое строение);
- прогнозировать характеристики разломов (проводящие, экранирующие);
- картировать зоны распространения траппов, зоны засоления;
- прогнозировать области улучшенных коллекторов, к которым в условиях Сибирской платформы относят резервуары с различными типами пустотности (так как эти резервуары в разной степени заполнены солеными водами, они обладают очень низким сопротивлением и, соответственно, контрастно проявляются в геоэлектрических полях).

Применительно к задаче изучения ВЧР мало-глубинные электромагнитные зондирования весьма эффективны при прогнозе распространения зон многолетней мерзлоты, наличия водоносных горизонтов, неглубоко залегающих трапповых тел, разрывных нарушений. Детально изучить геоэлектрическую структуру ВЧР можно до глубины 300 м.

На рис. 9 приведен пример модели строения верхней части разреза (от дневной поверхности до

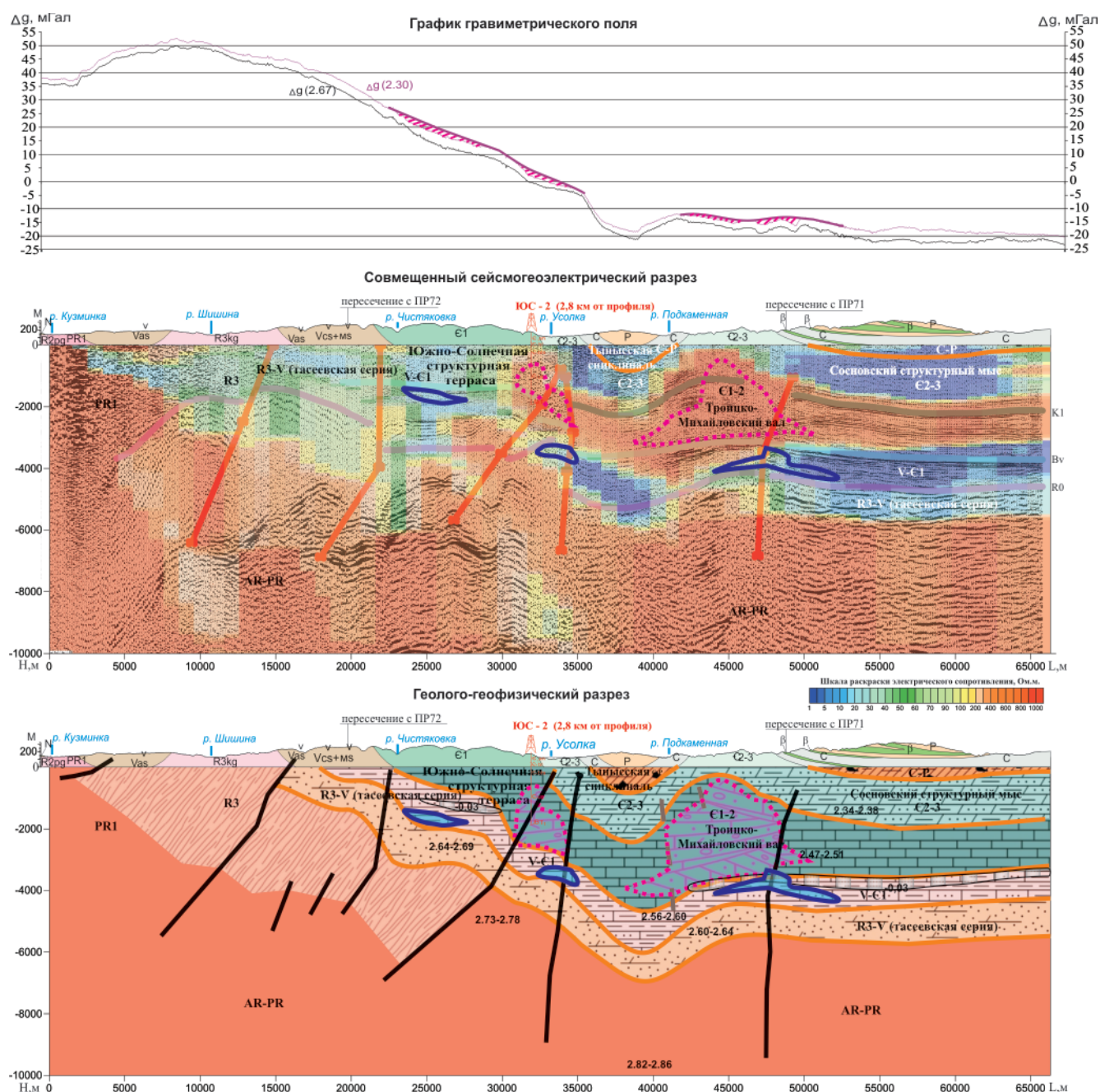


Рис. 8. Геолого-геофизический разрез, построенный по комплексу параметров (данные Е. Н. Махнач, В. Н. Беспечного и др., 2014)

глубины 300–400 м) с привлечением данных комплексной аэрогеофизической съемки (высокоточная магниторазведка, аэроэлектроразведка МПП, гамма-спектрометрия); высокоточной гравиразведки; наземной электроразведки ЗСБ; сейсморазведки; материалов бурения.

Таким образом, можно утверждать, что перспективы развития изучений сложнопостроенных отложений Восточной Сибири – за комплексированием методов.

Основные выводы

1. В сложных сейсмогеологических условиях Восточной Сибири только высокоплотные методики дают надежду на получение информативных сейсмических разрезов.

2. Ограничение кратности за счет уменьшения длины расстановки предпочтительнее, чем ограничение кратности за счет увеличения шага ПВ/ПП.

3. Разуплотнение шага ПВ/ПП ведет к фатальному падению соотношения сигнал/помеха и гарантированной неудаче в процессе подбора высокочастотных статических поправок и кинематическом анализе.

Сопутствующие работы мало отличаются от таковых при стандартных работах 2D, и при этом на них приходится значительная часть затрат. Стоимость высокоплотной сейсморазведки вполне сопоставима со стоимостью стандартной. По разным оценкам, в зависимости от района удорожание составляет от 20 до 40% за каждое удвоение кратности.

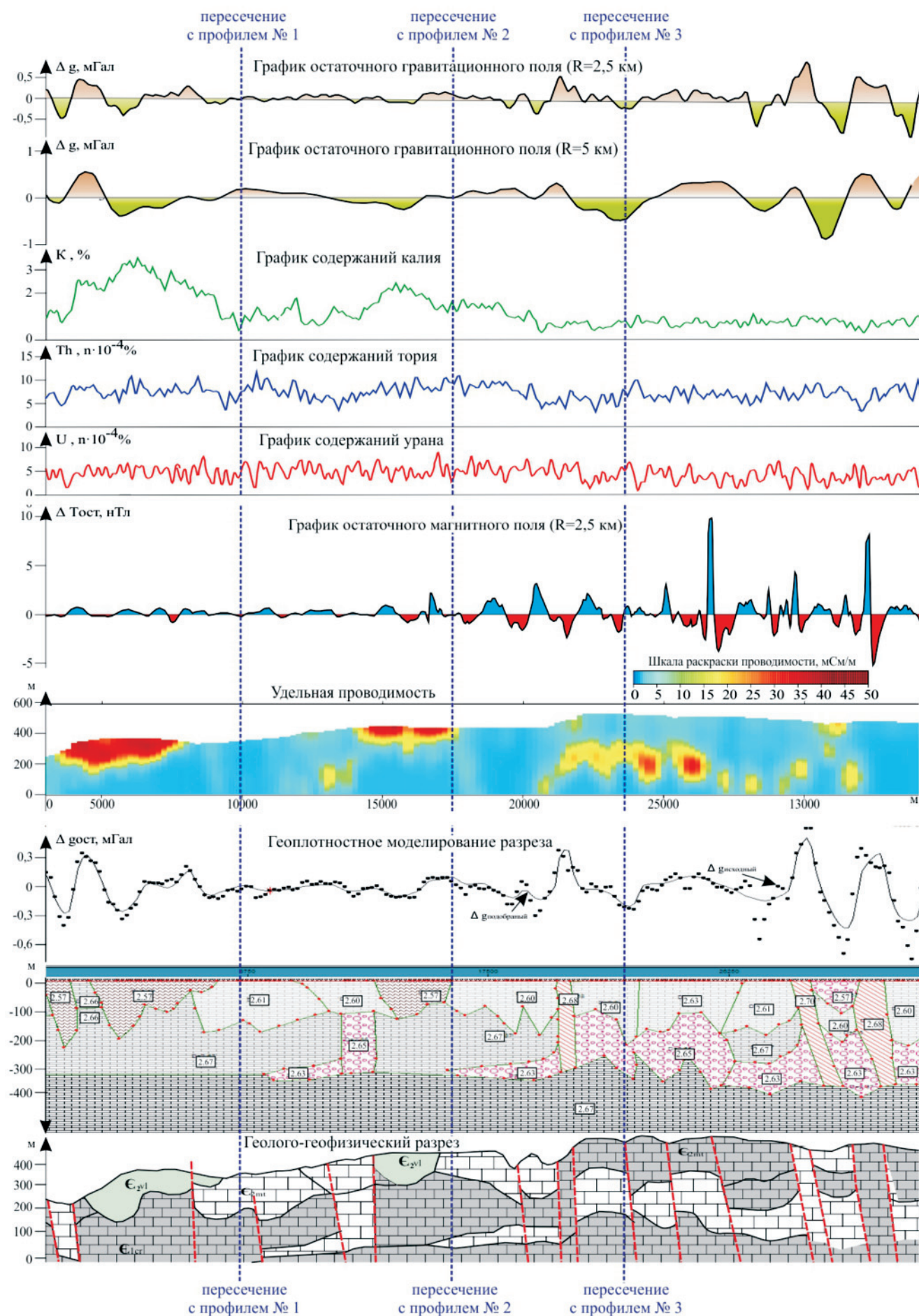


Рис. 9. Пример модели строения ВЧР по комплексу параметров (данные Е. Н. Махнач и др., 2012)



сти, с тенденцией к удешевлению по мере дальнейшего уплотнения.

4. Отсутствие геологической информации об объектах исследования резко снижает эффективность обработки, поэтому не рекомендуется разделять обработку и интерпретацию сейсмических данных в таких сложных регионах, как Восточная Сибирь.

5. Перспективы развития сложно построенных отложений Восточной Сибири – за комплексированием методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Детков В. А., Зарипов С. М. Повышение экономической эффективности сейсморазведочных работ на нефть и газ // Нефть. Газ. Инновации. – 2017. – № 1. – С. 14–19.

2. Литолого-стратиграфическая, петрографо-минералогическая и изотопно-геохронологическая характеристика отложений, вскрытых параметрической скважиной Аргишская 273 (бассейн р. Подкаменная Тунгуска) / Ю. А. Филиппов, М. А. Мащак, А. И. Ларичев и др. // Региональная геология и металлогения. – 2011. – № 47. – С. 28–47.

3. Новые данные о геологическом строении Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции и пути дальнейшего освоения ее нефтегазового потенциала / А. П. Афанасенков, Н. Г. Бухаров, Р. Н. Мухамедзянов и др. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2004. – № 1. – С. 34–44.

4. Череповский А. В. Наземная сейсморазведка нового технологического уровня. – М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2016. – 230 с.

REFERENCES

1. Detkov V. A., Zaripov S. M. [Increase in economic efficiency of seismic exploration for oil and gas]. *Neft'. Gaz. Innovatsii – Oil. Gas. Innovations*, 2017, no. 1, pp. 14–19. (In Russ.).

2. Filiptsov Yu. A., Mashchak M. A., Larichev A. I., et al. [Lithologic-stratigraphic, petrographic-mineralogical and isotope-geochronological characteristics of sediments exposed by parametric well Argishskaya 273 (the Podkamennaya Tunguska River basin)]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya – Regional geology and metallogeny*, St. Petersburg, 2011, no. 47, pp. 28–47. (In Russ.).

3. Afanasenkov A. P., Bukharov N. G., Mukhamedzyanov R. N., et al. [New data on the geological structure of the Yurubchen-Tokhomo oil and gas accumulation zone and ways to further development of its petroleum potential]. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie – Mineral Resources of Russia. Economics and Management*, 2004, no. 1, pp. 34–44. (In Russ.).

4. Cherepovskiy A. V. *Nazemnaya seysmorazvedka novogo tekhnologicheskogo urovnya* [Ground seismic exploration of a new technological level]. Moscow, ООО EAGE Geomodel Publ., 2016. 230 p. (In Russ.).

© М. Ю. Смирнов, Г. Д. Ухлова, Е. В. Мосягин,
В. Н. Беспечный, 2018