



УДК 550.832

## О ВЫЯВЛЕНИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОД ГЛУБОКОЕ БУРЕНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГИБА

А.П.Афанасенков, М.Т.Бондаренко, Ю.М.Киссин, Е.М.Тарасенко, И.К.Кондратьев (ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»)

Продемонстрирована методика выявления и изучения литофизических свойств перспективных структур в юрско-меловых отложениях Енисей-Хатангского регионального прогиба по материалам сейсморазведки. При редкой сети профилей с удаленной опорной скважиной эффективна пластовая акустическая инверсия данных сейсморазведки. Дан прогноз параметров ловушек в пределах локальной структуры, в том числе толщины пластов-коллекторов, зон распространения коллекторов и покрышек.

**Ключевые слова:** Енисей-Хатангский региональный прогиб; прогноз коллекторов; пластовая акустическая инверсия; сейсморазведка.

В настоящее время вырос интерес к изучению перспектив нефтегазоносности Енисей-Хатангского регионального прогиба, где плотность сейсморазведки и разведочного бурения пока недостаточна. В этих условиях применение стандартных способов динамической интерпретации данных сейсморазведки для выявления и изучения литофизических свойств перспективных нефтегазоносных объектов оказывается малоэффективным.

В пределах территории Енисей-Пясинского междуречья с 1966 г. пробурены глубокие поисковые скважины на 12 структурах (Гольчихинская, Хабейская, Яковлевская, Байкаловская, Пайяхская, Муксунихинская, Озерная, Верхне-Кубинская, Джангодская, Рассохинская, Тундровая, Средне-Пясинская), но только на 5 из них открыты месторождения: Хабейское (по 400 тыс. т/сут газа из гольчихинской и малышевской свит); Байкаловское (промышленные притоки газа из байкаловской и шуратовской свит, приток нефти из двух пластов нижнехетской свиты); Пайяхское (приток нефти  $Q_n = 33$  т/сут из двух приподощвенных пластов нижнехетской свиты); Озерное (приток газа  $Q_r = 2$  тыс. т/сут из низов сиговской свиты); Джангодское (промышленный приток газа из прикровельного коллектора суходудинской свиты). В остальных случаях при испытаниях получена вода, вода с пленкой нефти или сухо либо по данным ГИС не выявлено перспективных пластов для испытаний.

В настоящее время в регионе активно проводятся работы по изучению строения нефтегазоперспективно-

го юрско-мелового комплекса. Они в основном сводятся к уточнению и детализации структурных карт с привлечением новых сейсмических данных и стратификации отложений [1]. Однако возможности сейсморазведки использованы здесь не в полной мере. Очевидно, что при проектировании параметрического бурения, подготовке участков под лицензирование, а также глубокое поисково-разведочное бурение, наряду с благоприятными структурной обстановкой и гипсометрическим положением объектов, важнейшим фактором служит наличие коллекторов и покрышек. Поэтому исследование выявленных антиклинальных поднятий путем применения новых эффективных методов динамической интерпретации материалов сейсморазведки, полученных в прошлые годы, является актуальной и экономически целесообразной задачей.

На региональном этапе геолого-разведочных работ в районе при выборе способа интерпретации сейсмических данных имеет значение следующее. При редкой сети скважин, расстояния между которыми составляют десятки и сотни километров, возможны изменения физических свойств целевых пластов по латерали, что затрудняет использование исходной геоакустической модели в процессе динамической интерпретации. Кроме того, слабая дифференциация по скорости перспективного юрско-мелового комплекса отложений предъявляет повышенные требования к точности прогнозирования пластовой скорости (акустической жесткости).

Для прогнозирования физических свойств целевых горизонтов по сейсмическим данным в сейсмогеологических условиях Восточной Сибири успешно использовалась отечественная система динамической интерпретации (ОТДИ) [2], обладающая оригинальными особенностями, отличающими ее от всех имеющихся в мире аналогов:

- наличие дополнительных процедур обработки сейсмических временных разрезов повышает их качество;

- с помощью входящей в ОТДИ уникальной программы пластовой акустической инверсии (ПАИ) можно получать разрезы акустических импедансов  $I_p(x, t)$  (или пластовых скоростей  $V_p$  при отсутствии данных об объемной плотности пород) с минимальной временной мощностью пластов, соответствующей реальной разрешающей способности сейсморазведки в конкретных сейсмогеологических условиях. Это позволяет с высокой точностью (единицы процентов) определять акустические свойства целевых пластов [3];

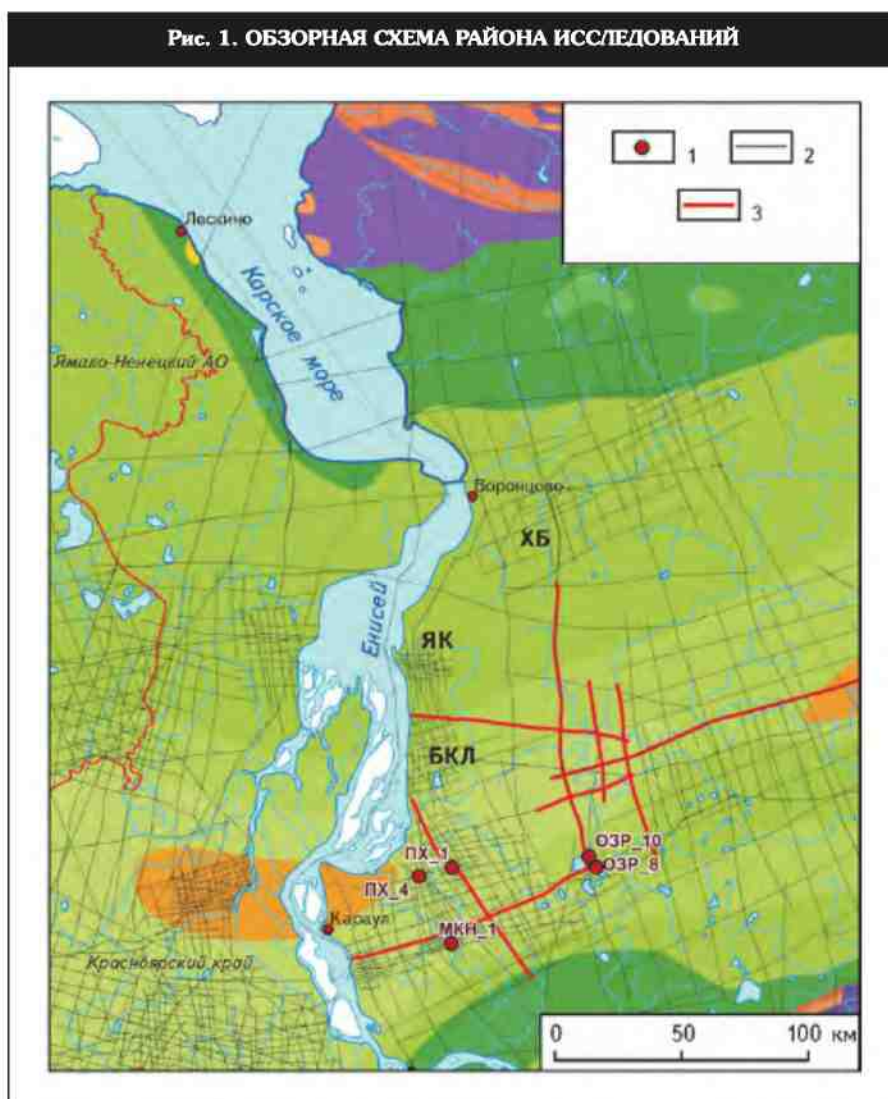
- оригинальный способ регуляризации ПАИ путем задания диапазонов изменения импедансов  $I_p$  в реперных пластах и межреперном пространстве позволяет надежно оценивать акустические свойства слоев при удалении до десятков, а в благоприятных случаях и до сотен километров от опорных скважин.

Это важно при обработке сейсмических материалов на больших площадях, где имеется, как правило, малое число скважин с данными АК, а также на региональном этапе геолого-разведочных работ с редкой сетью глубоких скважин.

В результате применения системы ОТДИ выполнено изучение перспективного объекта в юрско-меловых отложениях по региональным профилям, расположенным восточнее р. Енисей на малоизученной территории Агапского лицензионного участка в пределах Енисей-Пясинского междуречья (рис. 1).

В качестве исходного принят профиль 3590014, на трассе 2160 которого расположена параметрическая скв. Пайяхская-1 (см. рис. 1, 4), вскрывшая отложения средней юры до глубины 4207 м (леонтьевская свита), с полным комплексом ГИС, включающим АК и сейсмокар-

Рис. 1. ОБЗОРНАЯ СХЕМА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

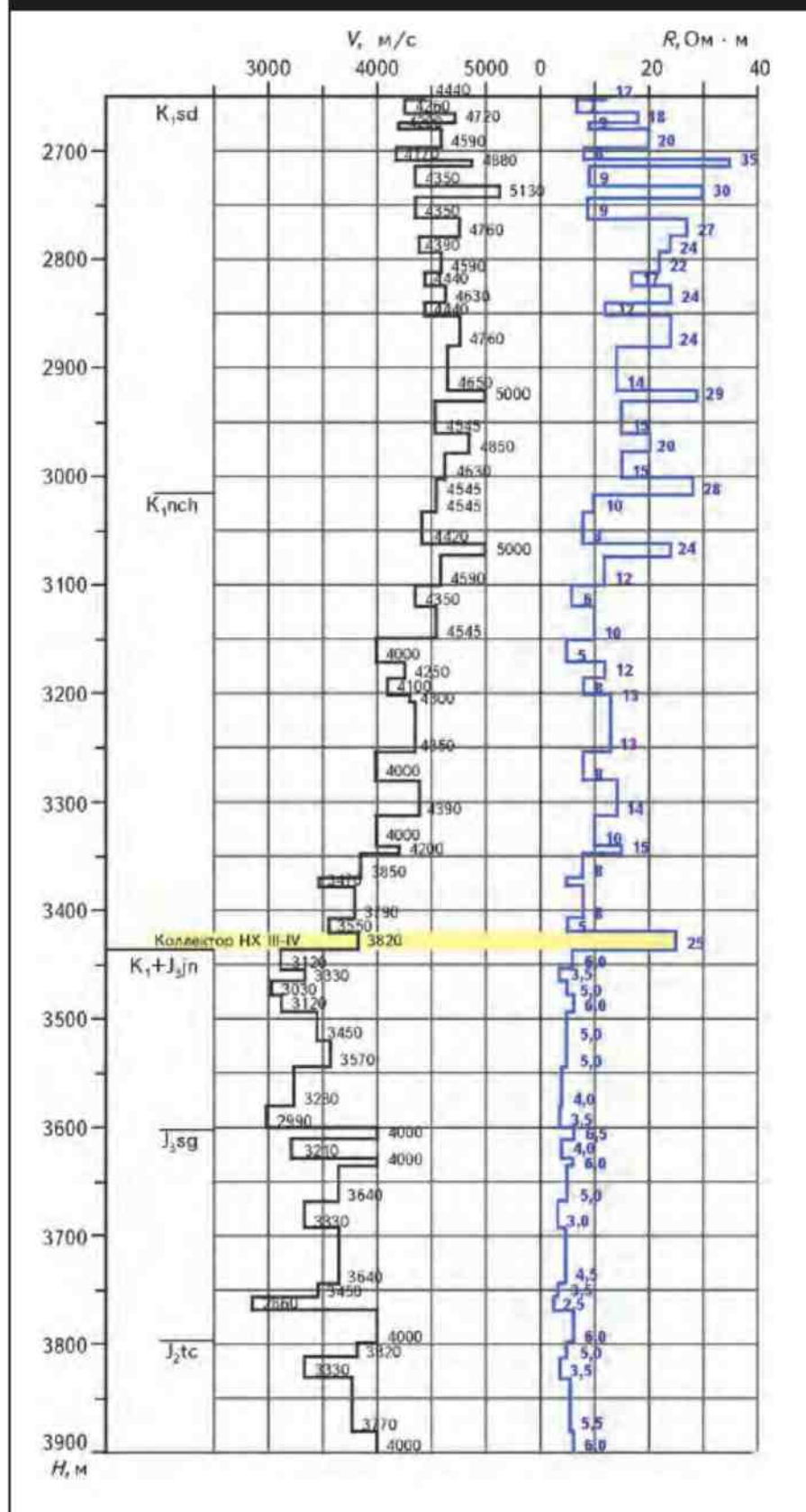


1 – скважины; профили: 2 – региональные, 3 – региональные, рассматриваемые в статье; месторождения: ЯК – Яковлевское, ХБ – Хабейское, БКЛ – Байкаловское

таж. По ней составлена геоакустическая модель  $V_{AK}(H)$  (рис. 2). Кровля яновстанской свиты  $J_3+K_1jn$  (далее  $jn$ ) имеет пониженную пластовую скорость  $V_{пл}$  (3100 м/с) по сравнению с вышележащими отложениями неокома (3500-4500 м/с). Непосредственно над яновстанской свитой залегает нефтеносный песчаник неокома НХ III-IV нижнехетской свиты, характеризующийся повышенной скоростью  $V_{пл} = 3800$  м/с и высоким удельным сопротивлением, откуда получен промышленный приток нефти дебитом 33 м<sup>3</sup>/сут.

Рассмотрим, в какой мере сейсмический материал по региональному профилю 3590014 согласуется с данными АК. На рис. 3 показана привязка сейсмической трассы 2160 ( $\Gamma$ ) этого профиля к геоакустической модели (А) скв. Пайяхская-1, перенесенной на ось времен  $t$ . Согласно нормированной функции взаимной корреля-

Рис. 2. ГЕОАКУСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ скв. ПАЙЯХСКАЯ-1



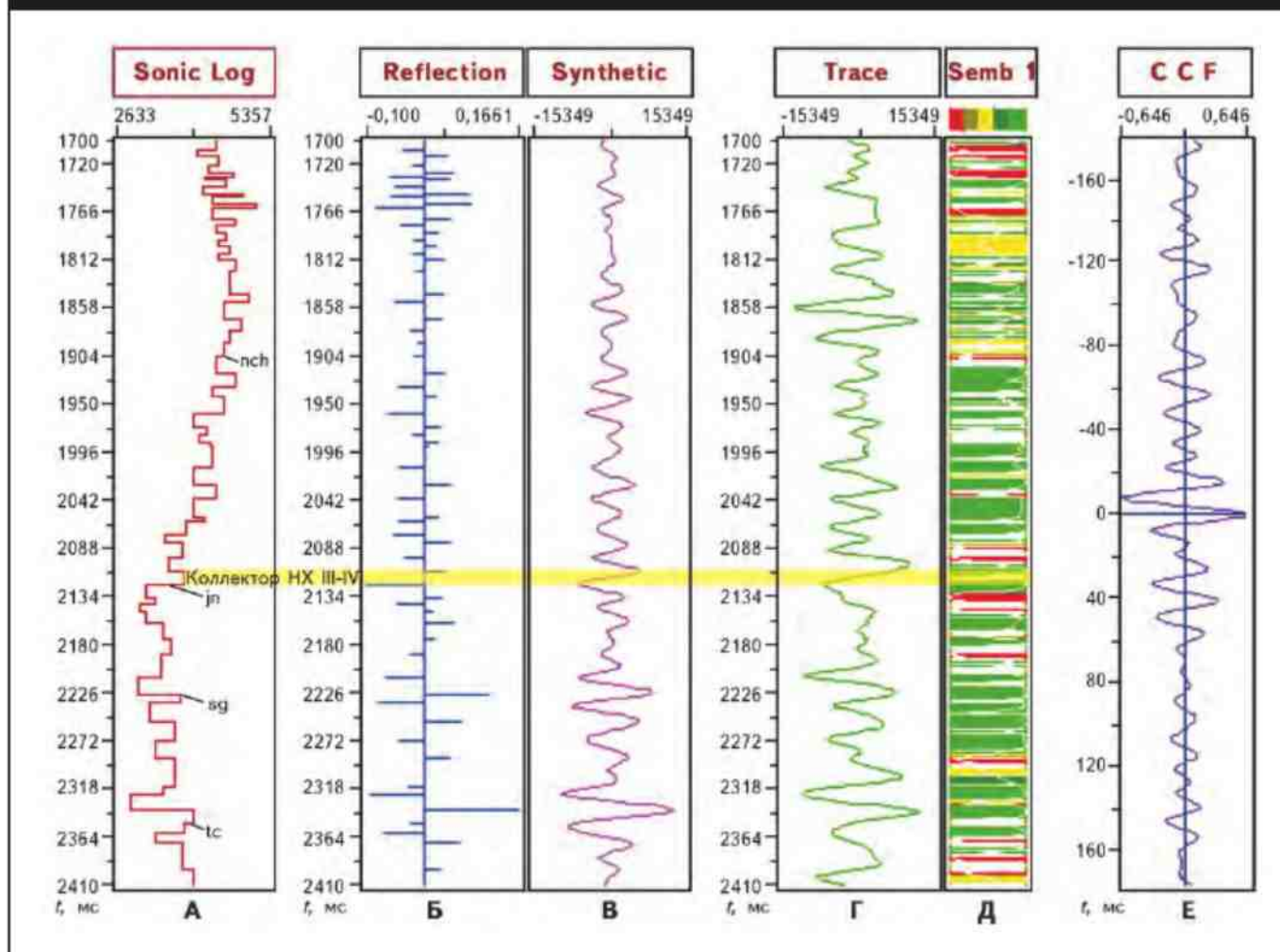
ции ФВК ( $E$ ) между синтетической ( $B$ ) и реальной ( $Г$ ) трассами, исходное значение коэффициента их корреляции равно 0,81.

Для реализации сейсмической инверсии по временным разрезам необходимо, чтобы амплитуды динамически выраженных отражений на синтетической и реальной трассах были достаточно близки. Проведено незначительное (5-7 %) изменение скоростей исходной модели в областях «сильных» отражений реальной трассы, исходная модель укрупнена, чтобы выполнялось основное требование ПАИ: минимальная временная мощность пластов сейсмоакустической модели  $\tau_{\min}$  должна соответствовать реальной разрешающей способности сейсморазведки (в данном случае  $\tau_{\min} = 6$  мс) [3]. После корректировки модели значение коэффициента корреляции между синтетической и реальной трассами выросло до 0,85.

Профиль 3590014 (рис. 4) пересекается с широтным профилем 0496052, восточное окончание которого в разрезе круто поднимается к Озерной структуре, где он пересекается с меридиональным профилем 0296002 (рис. 5). Передавая геоакустическую модель и корреляцию пластов поочередно от одного пересечения профилей к следующему, с применением системы ОТДИ вдоль двух последних профилей получены сейсмоакустические разрезы, на которых в единой цветовой гамме прослежены: региональный низкоскоростной отражающий горизонт  $j_n$ , песчанистые целевые свиты: нижнехетская, сиговская, малышевская с относительно повышенными скоростями, а также низкоскоростные глинистые покровы нижнехетского, сиговского, малышевского коллекторов и отложений вымской свиты.

Следуя по профилю 0296002 с юга на север, видно, что в районе трассы 2800 он пересекает запад-

Рис. 3. ПРИВЯЗКА ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ скв. ПАЙЯХСКАЯ-1 К ТРАССЕ 2160 ПРОФИЛЯ 3590014



ное окончание вытянутой в широтном направлении приподнятой зоны, приуроченной к северо-западному склону Озерного вала, с локальной вершиной, контролируемой субмеридиональным профилем 3790013 и субширотным профилем 6210110 (рис. 6, 7). Для уточнения размеров структуры в плане, по кровле перспективных отложений нижнехетской и малышевской свит построены детальные карты изохрон с сечением 20 мс, оконтурены возможные ловушки УВ. На прогнозных картах (рис. 8, 9) они показаны жирной линией, повторяющей замыкающую изогипсу. Отметим, что опорная скважина ПХ-1 удалена от изучаемой структуры на 70 км, а по системе профилей, задействованных при передаче модели и корреляции пластов, — на 120 км.

Для выяснения наличия и расположения песчаных пластов-коллекторов в пределах прогнозных контуров нефтегазоносности, с применением ПАИ построены сейсмоакустические разрезы  $V_{ди}(t, x)$  по контролирующим структуру профилям (см. рис. 6, 7) с корреля-

цией кровли яновстанской свиты (jn) (жирная сплошная линия), кровли песчаных коллекторов нижнехетской (nch), сиговской (sg) и малышевской (ml) свит (пунктирные линии), а также кровли глинистых покрышек над коллекторами (тонкие линии). Такие же построения выполнены для всех профилей в пределах прогнозных карт. Затем путем оцифровки пластовых скоростей  $V_{ди}$  вдоль целевых горизонтов построены прогнозные карты пластовых скоростей этих горизонтов в свитах nch, sg и ml. Пластовая скорость, как известно, является мерой песчаности и, следовательно, связана с литологией пород.

Отсчитав временной интервал коллектора  $\Delta T$  на сейсмоакустическом разрезе в месте ловушки и учитывая пластовую скорость (в нашем случае  $V_{пл}$  около 4000 м/с), получаем представление о толщине пласта-коллектора  $H = V_{пл} \Delta T / 2$ . Так, общая мощность нижнехетского песчаника в пределах ловушки составляет около 30 м, сиговского песчаника — 30-50 м, малышевского песчаника — 20 м.

Рис. 4. ФРАГМЕНТ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА ПО ПРОФИЛЮ 3590014

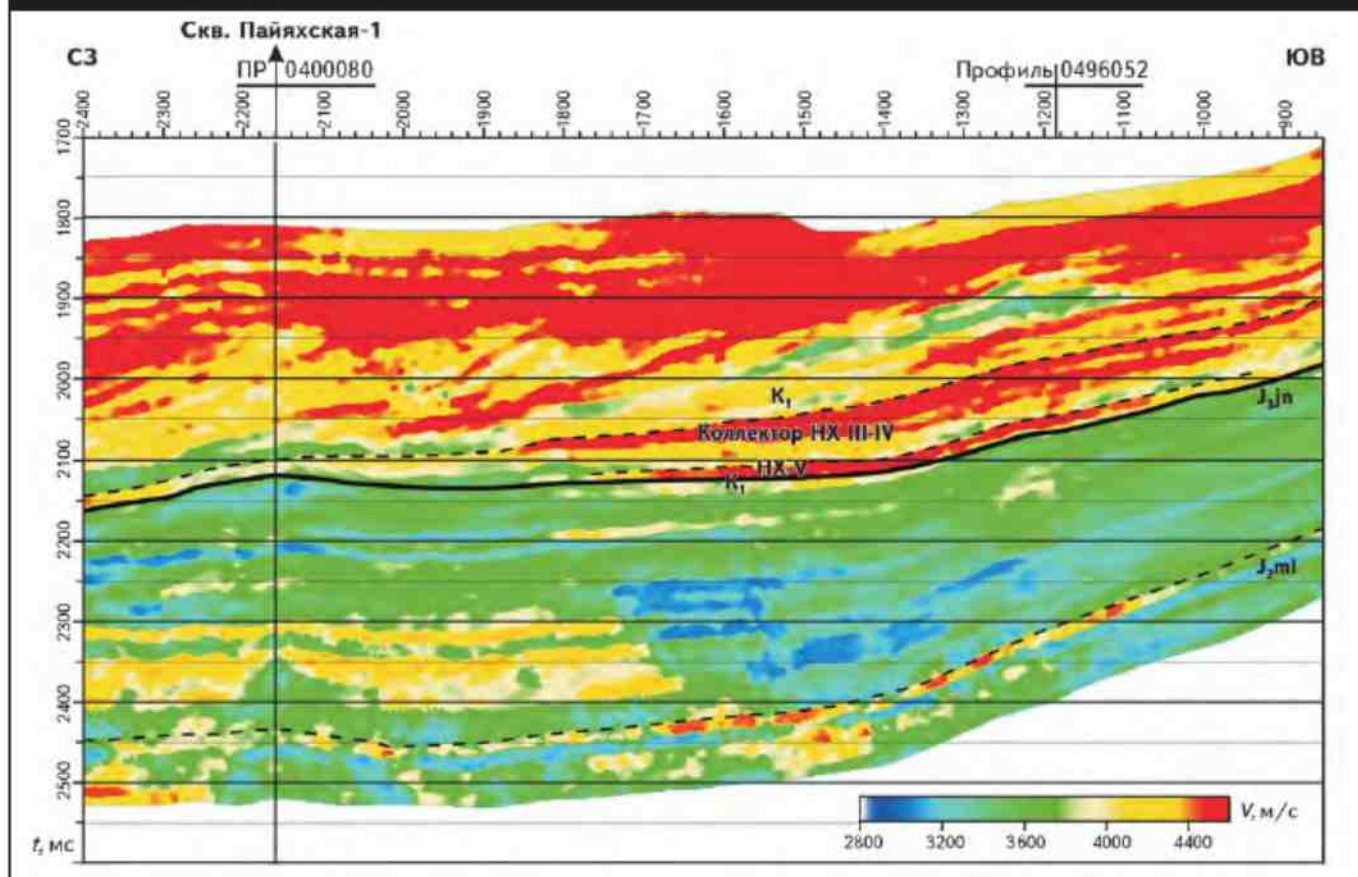


Рис. 5. СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ПРОФИЛЮ 0296002

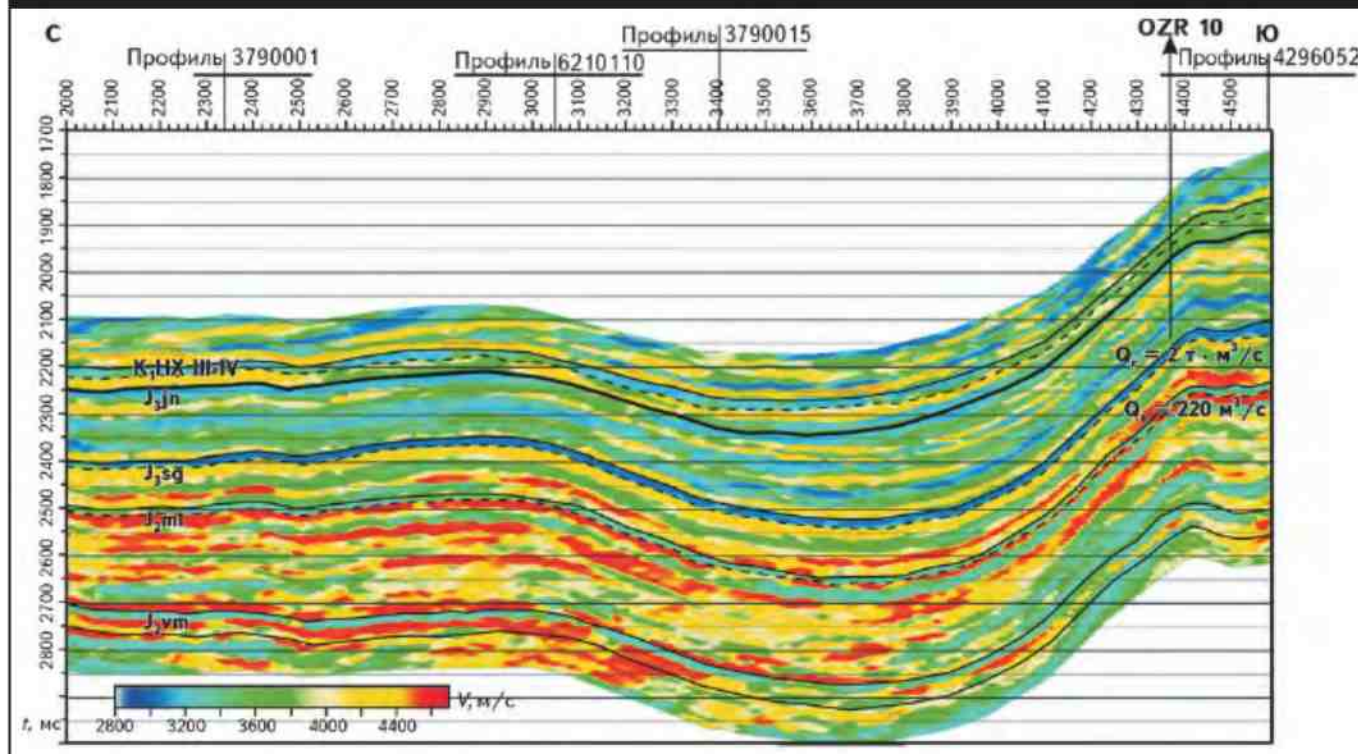


Рис. 6. СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ПРОФИЛЮ 3790013

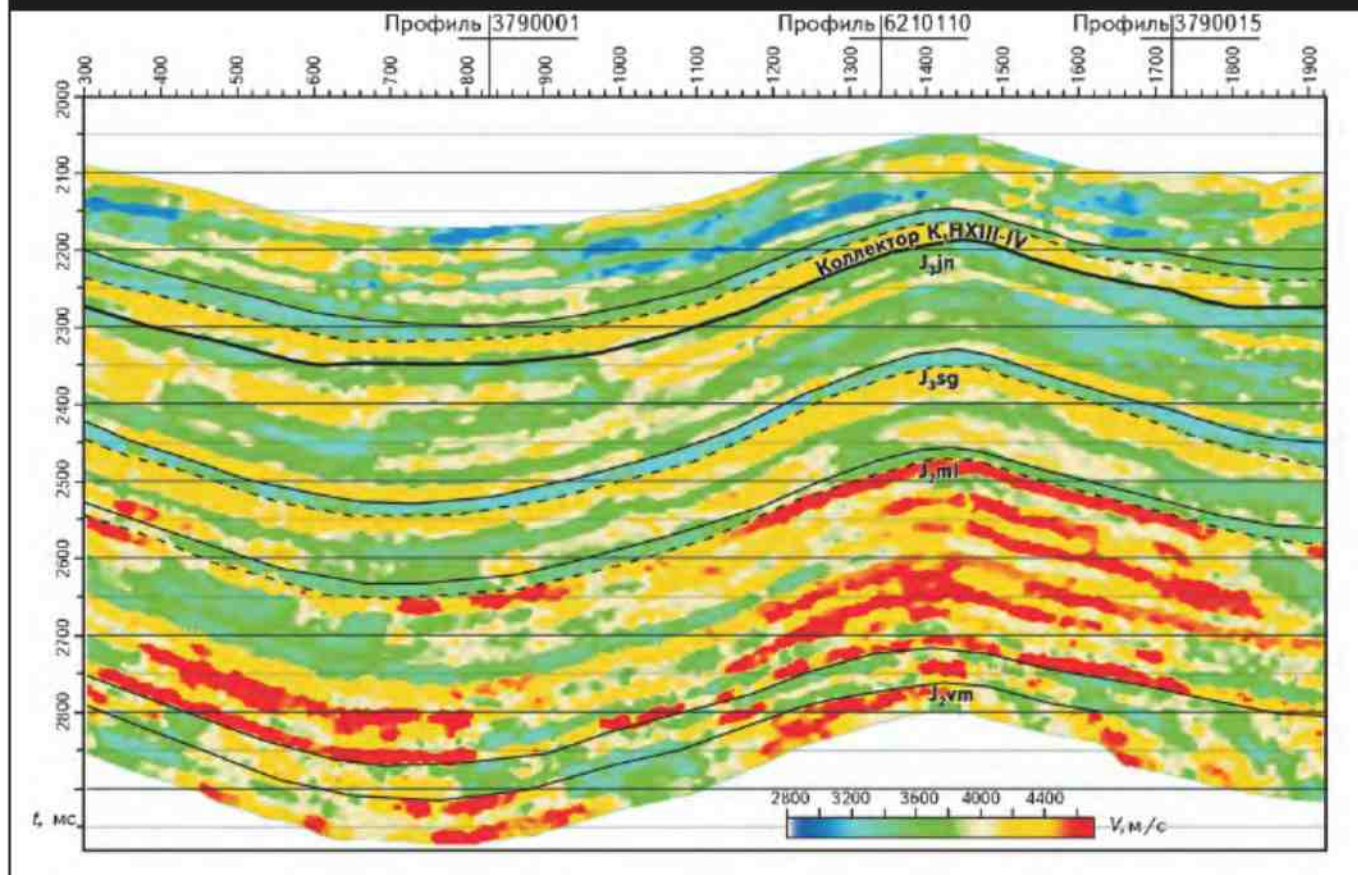


Рис. 7. СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ПРОФИЛЮ 6210110

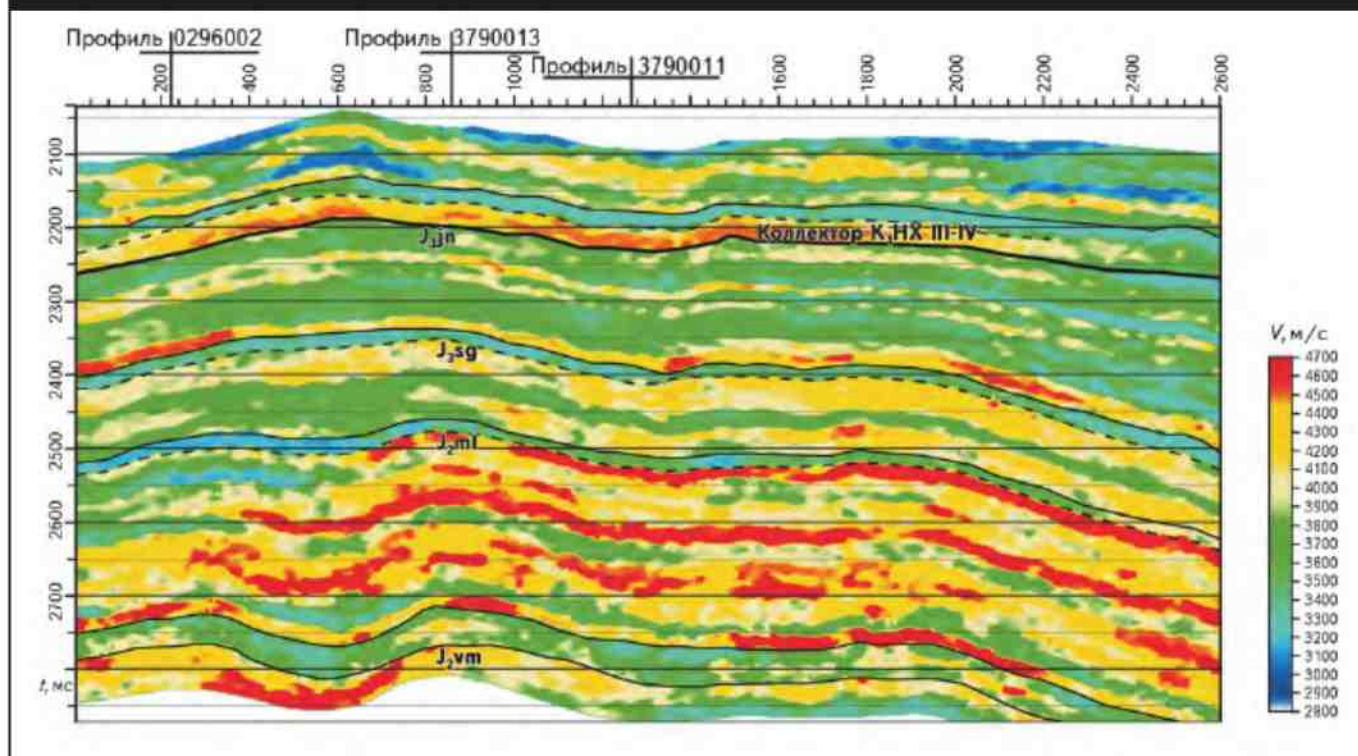


Рис. 8. КАРТЫ ПРОГНОЗНЫХ ПЛАСТОВЫХ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ПЛАСТА ПЕСЧАНИКА (А) И ГЛИНИСТОЙ ПОКРЫШКИ ПЕСЧАНИКА (Б) МАЛЫШЕВСКОЙ СВИТЫ

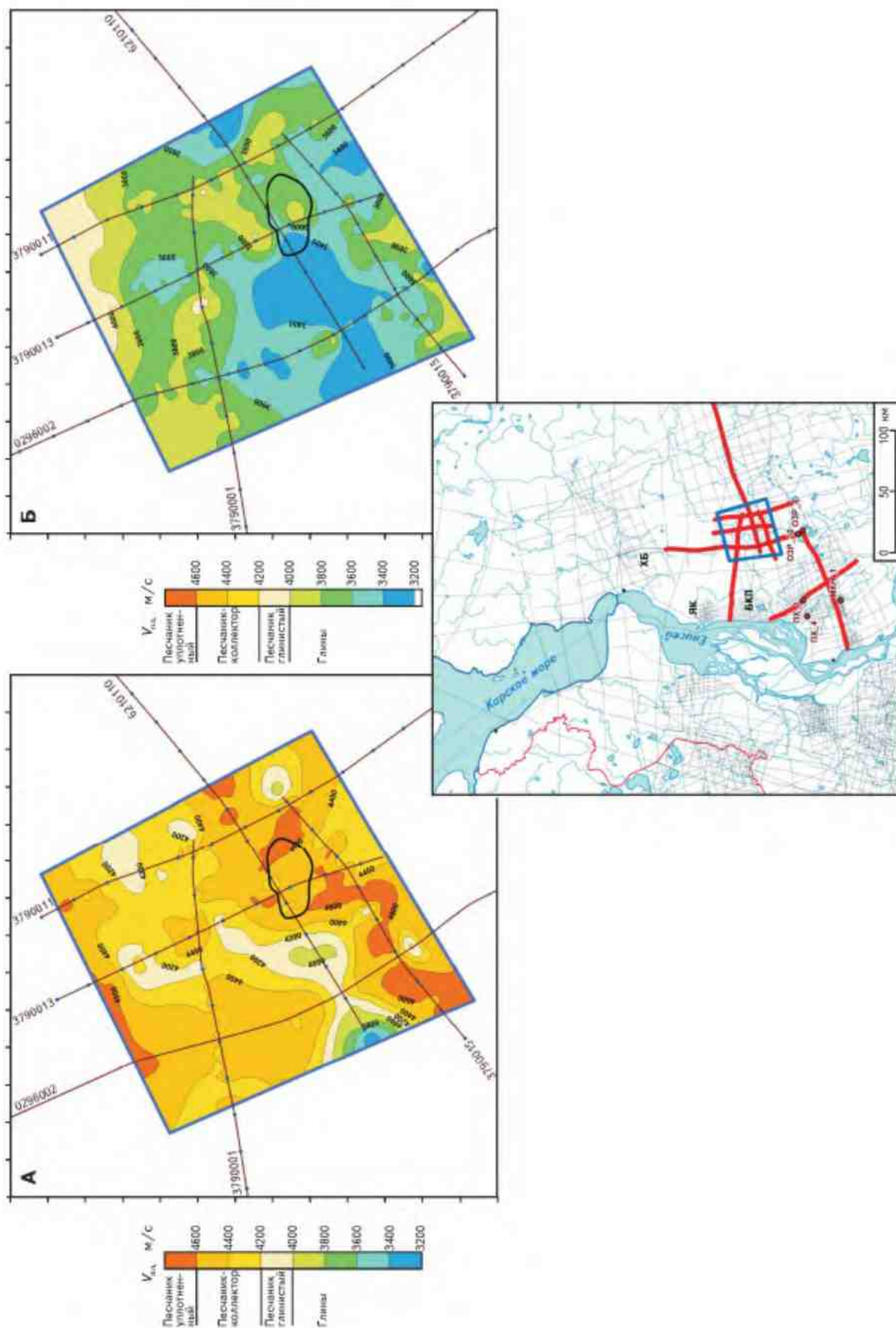
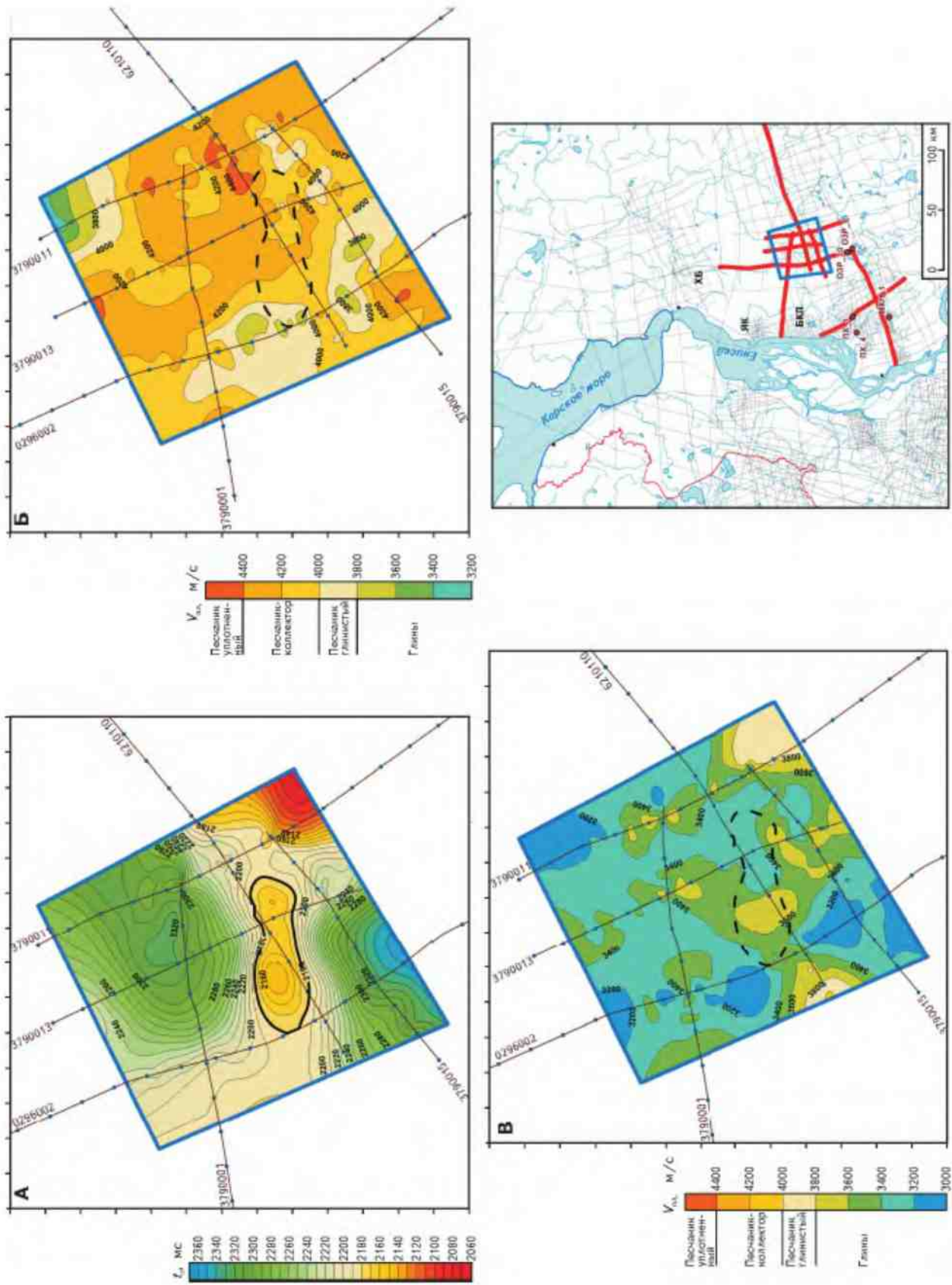


Рис. 9. КАРТЫ ИЗОГИПС ПО КРОВЛЕ ПЕСЧАНИКА НХ-Ш-IV НИЖНЕХЕТОКСКОЙ СВИТЫ (А), ПРОГНОЗНЫХ ПЛАСТОВЫХ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ПЛАСТА ПЕСЧАНИКА НХ-Ш-IV (Б), ПРОГНОЗНЫХ ПЛАСТОВЫХ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ГЛИНИСТОЙ ПОКРЫШКИ ПЕСЧАНИКА НХ-Ш-IV (В) НЕОКОМА





На карте изохрон по кровле песчаника нижнехетской свиты НХ III-IV по замыкающей изогипсе 2180 мс околнута прогнозная ловушка УВ (см. рис. 8, А). В пределах прогнозного контура, в том числе в своде структуры, пластовая скорость распределена мозаично, но в целом соответствует песчаникам-коллекторам (оттенки желтого цвета, соответствующие значениям  $V_{пл}$  от 4000 до 4400 м/с) (см. рис. 8, Б). Некоторое ухудшение коллекторских свойств пласта происходит на западном краю ловушки, где появление зоны светло-желтого цвета обозначает глинизацию коллектора. Это хорошо видно также на сейсмоакустическом разрезе по профилю 0296002 (см. рис. 5), проходящем вблизи западного окончания структуры. На этом профиле, к северу от пересечения с профилем 6210110, четко видна зона глинизации коллектора. По изменению скорости в покровке нижнехетская ловушка, согласно шкале скорость/литология, состоит из разновидностей глинистых пород ( $V_{пл} < 3800$  м/с) (см. рис. 8, В).

Для залегающего ниже пласта-коллектора малышевской свиты, в связи с глубинным трендом, шкала скоростей сдвинулась в сторону увеличения граничных значений  $V_{пл}$  для тех же литотипов. На карте прогнозных пластовых скоростей песчаника малышевской свиты (см. рис. 9, А) в пределах прогнозного контура пластовая скорость соответствует песчанику-коллектору с возможным уплотнением на восточном окончании ловушки (переход желтых оттенков в рыжий цвет, соответствующий значениям  $V_{пл} > 4600$  м/с). Здесь же (см. рис. 9, Б) показана покровка этой ловушки. Видно, что она повсеместно состоит из глин, которым соответствуют зеленые и синие оттенки на шкале пластовых скоростей ( $V_{пл} < 4000$  м/с).

Таким образом, с применением пластовой акустической инверсии была получена дополнительная информация о свойствах коллекторов и покровок, что повысило качество подготовки структуры к лицензированию и поисковому бурению.

### Выводы

Пластовая акустическая инверсия является основной составной частью оптимизационной технологии ОТДИ сейсморазведки. Она позволяет с высокой точностью (единицы процентов) определять акустические свойства целевых пластов в условиях низкой скоростной дифференциации разреза, а также при большом удалении объекта от опорной скважины (на десятки, а в благоприятных условиях — на сотни километров). Эти преимущества делают ПАИ эффективным инструментом прогнозирования свойств коллекторов на этапе региональных геолого-разведочных работ в Енисей-Хатангском региональном прогибе.

### Литература

1. Трубина Т.Б. Геофизические работы с целью подготовки нефтегазоперспективных объектов под лицензирование на Пясинской площади / Т.В.Трубина // Отчет ООО НПЦ «Геостра». — Уфа: 2014.
2. Кондратьев И.К. Эффективность прогнозирования коллекторов способами динамической интерпретации в Восточной Сибири / И.К.Кондратьев, В.И.Рыжков, М.Т.Бондаренко, Е.В.Лапина // Технологии сейсморазведки. — 2010. — Вып. 4.
3. Кондратьев И.К. Детальность и точность решений в задаче сейсмической волновой инверсии / И.К.Кондратьев, П.А.Лисицын, Ю.М.Киссин // Геофизика. — 2005. — Вып. 3.

#### © Коллектив авторов, 2016

*Александр Петрович Афанасенков*,  
первый заместитель генерального директора,  
кандидат геолого-минералогических наук,  
info@vniigni.ru;

*Мария Томасовна Бондаренко*,  
ведущий научный сотрудник,  
кандидат технических наук,  
bondarenko@vniigni.ru;

*Юрий Михайлович Киссин*,  
ведущий научный сотрудник,  
jk@vniigni.ru;

*Екатерина Михайловна Тарасенко*,  
геофизик I-й категории,  
etarasenko@vniigni.ru;

*Игорь Константинович Кондратьев*,  
главный научный сотрудник,  
доктор технических наук,  
ikon@vniigni.ru.

### CONCERNING PROMISING OIL AND GAS OBJECTS FOR DEEP DRILLING ACCORDING TO THE RESULTS OF REGIONAL SEISMIC SURVEY IN THE YENISEI-KHATANGA REGIONAL TROUGH

*Afanasenkov A.P., Bondarenko M.T., Kissin Yu.M., Tarasenko E.M., Kondratiev I.K. (FSBI "All-Russian Research Geological Oil Institute")*

The technique of finding and research of the lithophysical properties of the promising structures in the Jurassic-Cretaceous deposits in the territory of the Yenisei-Khatanga regional trough is shown. In case of sparse network of regional seismic profiles and remote reference well, acoustic stratum inversion of seismic data is effective. The forecast for the parameters of the traps within the limits of local structure such as reservoir thickness and reservoir and cap rocks range zones is presented.

**Key words:** Yenisei-Khatanga regional trough; reservoir forecast; acoustic stratum inversion; seismic survey.