



УДК 550.834:551.72.02(571.5-15)

К ВОЗМОЖНОСТИ КОРРЕЛЯЦИИ РИФЕЙСКИХ РАЗРЕЗОВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

И. С. Новосельцев, С. Н. Смолин, **Л. Ю. Казакул**

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

Проведено сравнение структуры (рисунка записи) полей энергии отраженных волн разрезов рифейских отложений, полученных в рамках Реапак-технологии по профилям МОГТ, расположенным на географически удаленных территориях Енисейского кряжа, Восточной Сибири и приграничной части Западно-Сибирской плиты. Показано, что рисунок записи поля энергии отраженных волн опознаваем на достаточно больших расстояниях. При выборе конкретных «эталонов» это позволяет определять отложения рифея в новых малоизученных районах и оценивать их литологические характеристики.

Ключевые слова: рифейские отложения, рисунок записи поля энергии отраженных волн, Реапак-технология, сейсмический материал, акустическая жесткость.

TO THE POSSIBILITY OF CORRELATION OF THE GEOLOGICAL SECTIONS OF WESTERN PART OF THE SIBERIAN PLATFORM

I. S. Novoseltsev, S. N. Smolin, **L. Yu. Kazakul**

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

The authors have compared the reflected energy pattern of the Riphean deposits, derived from Reapak-based treatment of CDP seismic profiles of the remote territories of the Yenisei Ridge, East Siberia, and the border area of the West Siberian Plate. The reflected energy patterns turned out to be identifiable at a rather long distance. It enables identifying the Riphean deposits in new and poorly explored areas and estimate their lithological features.

Keywords: Riphean deposits, reflected energy pattern, Reapak technology, seismic data, acoustic impedance.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-4-40-50

К настоящему времени накоплен значительный геологический материал по строению рифейских разрезов западной части Сибирской платформы. Многие проблемы решены, но при корреляции этих отложений между географически удаленными территориями (Енисейский кряж, восточная приграничная часть Западно-Сибирской плиты, Туруханский район, Юрубчено-Тохомская зона, рис. 1), остается ряд разногласий. Так, например, на рабочем стратиграфическом совещании по верхнему докембрию и кембрию Средней Сибири, проведенном 23–27 мая 2005 г. в Новосибирске, были высказаны особые мнения, в частности Е. М. Хабаровым.

Авторы настоящей статьи попробовали подойти к преодолению этой проблемы через интерпретацию разрезов сейсмических профилей после их дополнительной специальной обработки в системе РеапакРК+. Анализ сейсмического материала МОГТ осуществлялся путем стандартного подхода к обработке и интерпретации имеющегося сейсмического материала, который недостаточно хорошо решает задачу корреляции рифейских отложений. В то же время применение системы РеапакРК+ к сейсмическим разрезам МОГТ обеспечивает дополнительные возможности корреляции при анализе Реапак-атрибутов (отраженной энергии, доминирующего знака коэффициента отражения, размеров отражателей, их плотности, наклонов и других характеристик) [3].

Указанные атрибуты визуализируются в виде полей в численном изображении, закодированном цветом, а в качестве подложки использованы разрезы ЭКО. Это значительно расширяет информационное пространство сейсмических данных, выявляя обычно скрытые или плохо выраженные особенности волнового поля отраженных волн. Так обеспечивается получение более уверенных и обоснованных выводов.

Практическое применение данной технологии обработки сейсмического материала показало, что для анализа Реапак-атрибутов обычно наиболее информативны разрезы полей энергии отраженных волн, которые тесно связаны с акустическими жесткостями сред и зависят от литологии: чем выше разница акустических жесткостей граничащих сред, тем больше отраженная энергия, и наоборот, литологически достаточно однородные толщи имеют минимальные значения энергии. Например, максимальными значениями отраженной энергии характеризуются карбонатные разрезы, насыщенные пластами солей, а минимальными – литологически однородные разрезы (карбонатная или глинисто-сланцевая толща). Кроме того, существенную помощь в разделении полей временных разрезов, типичных для толщ разного структурного строения, оказывает построение и анализ сейсмических палеоразрезов по различным отражающим горизонтам. В настоящей работе для построения палеоразрезов исполь-

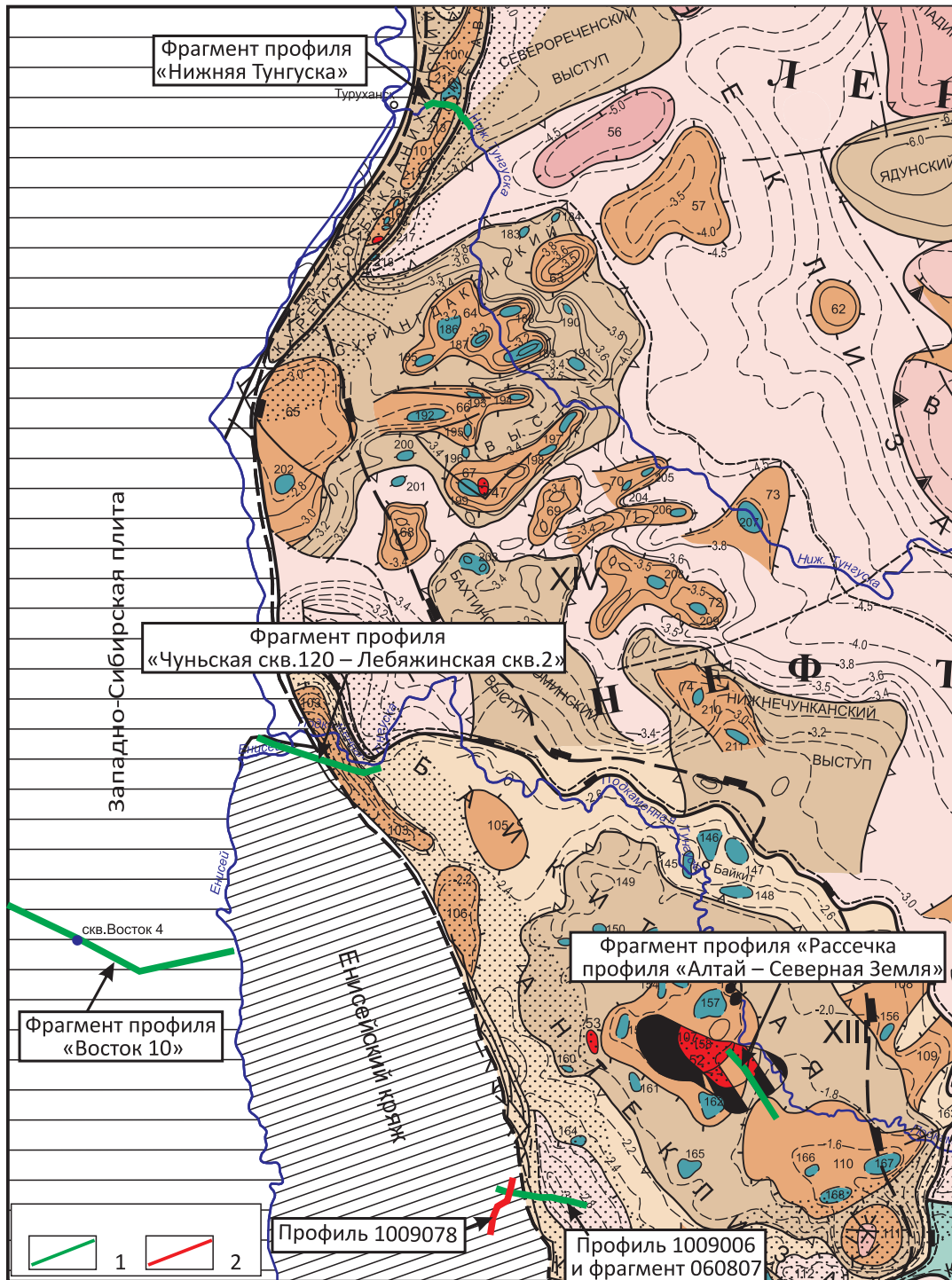


Рис. 1. Фрагмент «Тектонической карты нефтегазоносных провинций Сибирской платформы» м-ба 1:5 000 000

1 – фрагменты профилей МОГТ, используемые для сравнения с тестовым профилем; 2 – тестовый профиль

зовался отражающий горизонт R_k , стратиграфически привязанный к кровле базального пласта в подошве кординской свиты или к его аналогу, поскольку этот пласт обычно наиболее хорошо динамически выражен в поле отраженных волн.

Для сравнения временных разрезов ЭКО с использованием полей энергии отраженных волн сейсмических профилей, расположенных на ук-

занных географически удаленных территориях, в качестве эталонного принят сейсмический разрез 1009078, который характеризует строение северо-восточной части Енисейского кряжа в районе Каменской зоны (рис. 2). Он выбран по следующим причинам:

1) сейсмический материал отличается хорошим качеством, что обеспечивает получение хо-

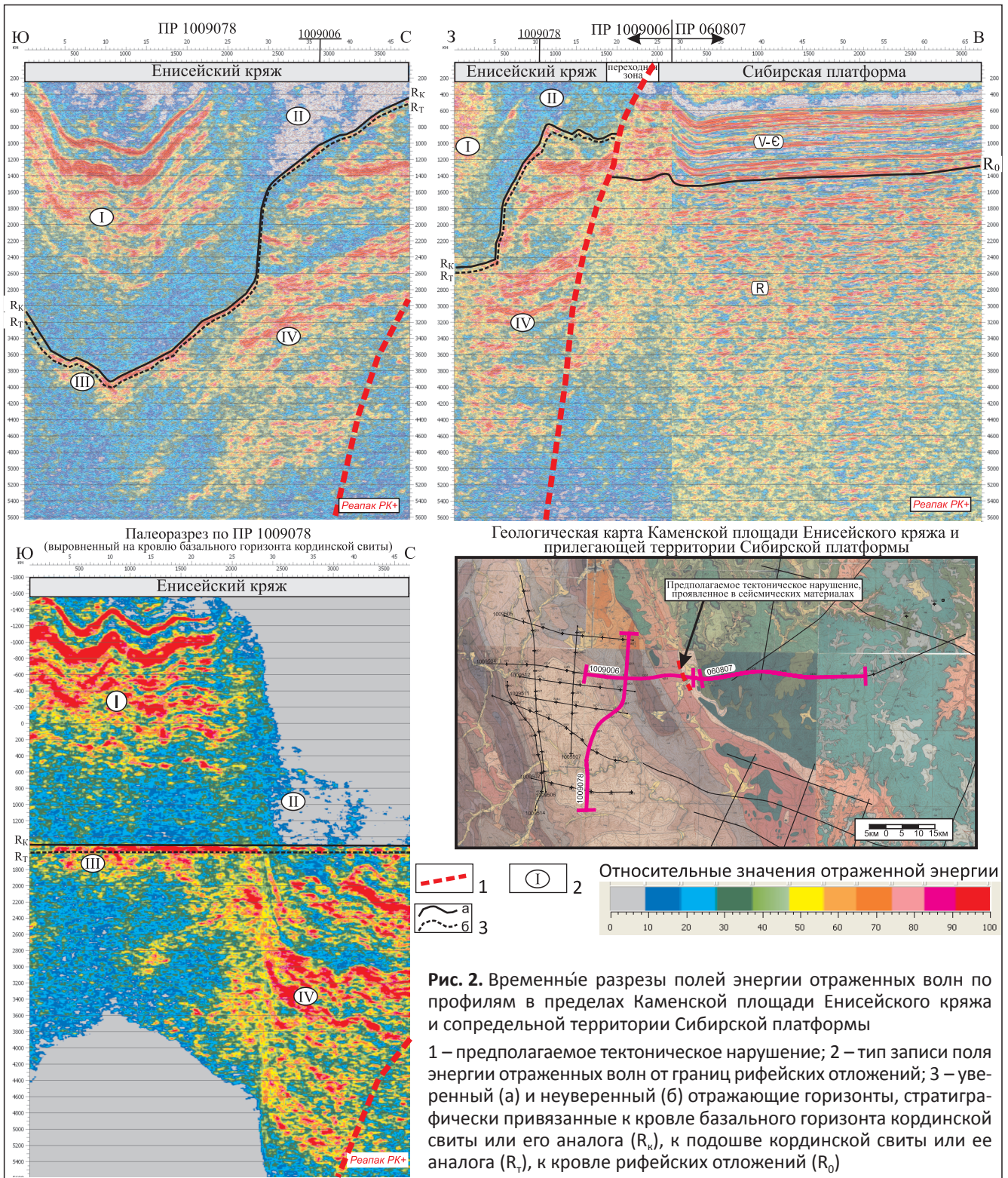


Рис. 2. Временные разрезы полей энергии отраженных волн по профилям в пределах Каменской площади Енисейского кряжа и сопредельной территории Сибирской платформы
 1 – предполагаемое тектоническое нарушение; 2 – тип записи поля энергии отраженных волн от границ рифейских отложений; 3 – уверенный (а) и неуверенный (б) отражающие горизонты, стратиграфически привязанные к кровле базального горизонта кординской свиты или его аналога (R_k), к подошве кординской свиты или ее аналога (R_r), к кровле рифейских отложений (R_0)

рошо выраженных разрезов ЭКО и полей энергии отраженных волн, пригодных для сопоставления с сейсмическим материалом, полученным на других, в том числе географически удаленных территориях;

2) рифейские отложения восточной части Енисейского кряжа достаточно хорошо изучены, что позволяет составить геологический разрез до глубины 10–11 км и соотнести его с сейсмическими данными во временной области до 4 с (рис. 3).

При визуальном анализе рисунка записи поля энергии отраженных волн (далее – рисунок записи) на временном разрезе и палеоразрезе профиля 1009078 выделяются четыре характерных типа (см. рис. 2).

Первому (I) и второму (II) типам свойственно наличие маломощного выдержанного временного интервала (около 90 мс). Он характеризуется в основном высокой интенсивностью записи энергии волнового поля

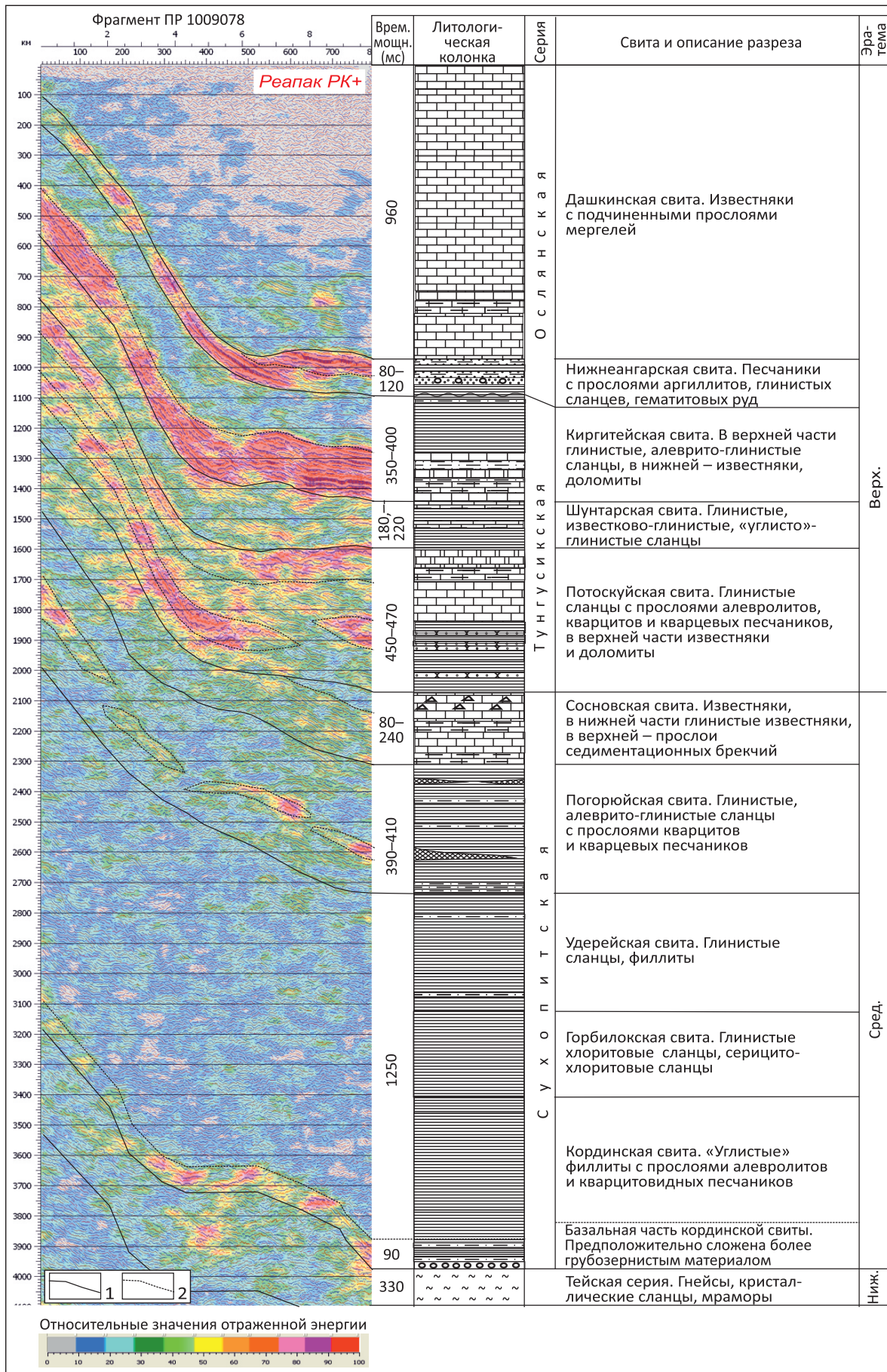


Рис. 3. Привязка рифейских отложений Каменской зоны Енисейского кряжа к типу I поля энергии отраженных волн фрагмента профиля 1009078

Границы: 1 – стратиграфических подразделений; 2 – литологических комплексов

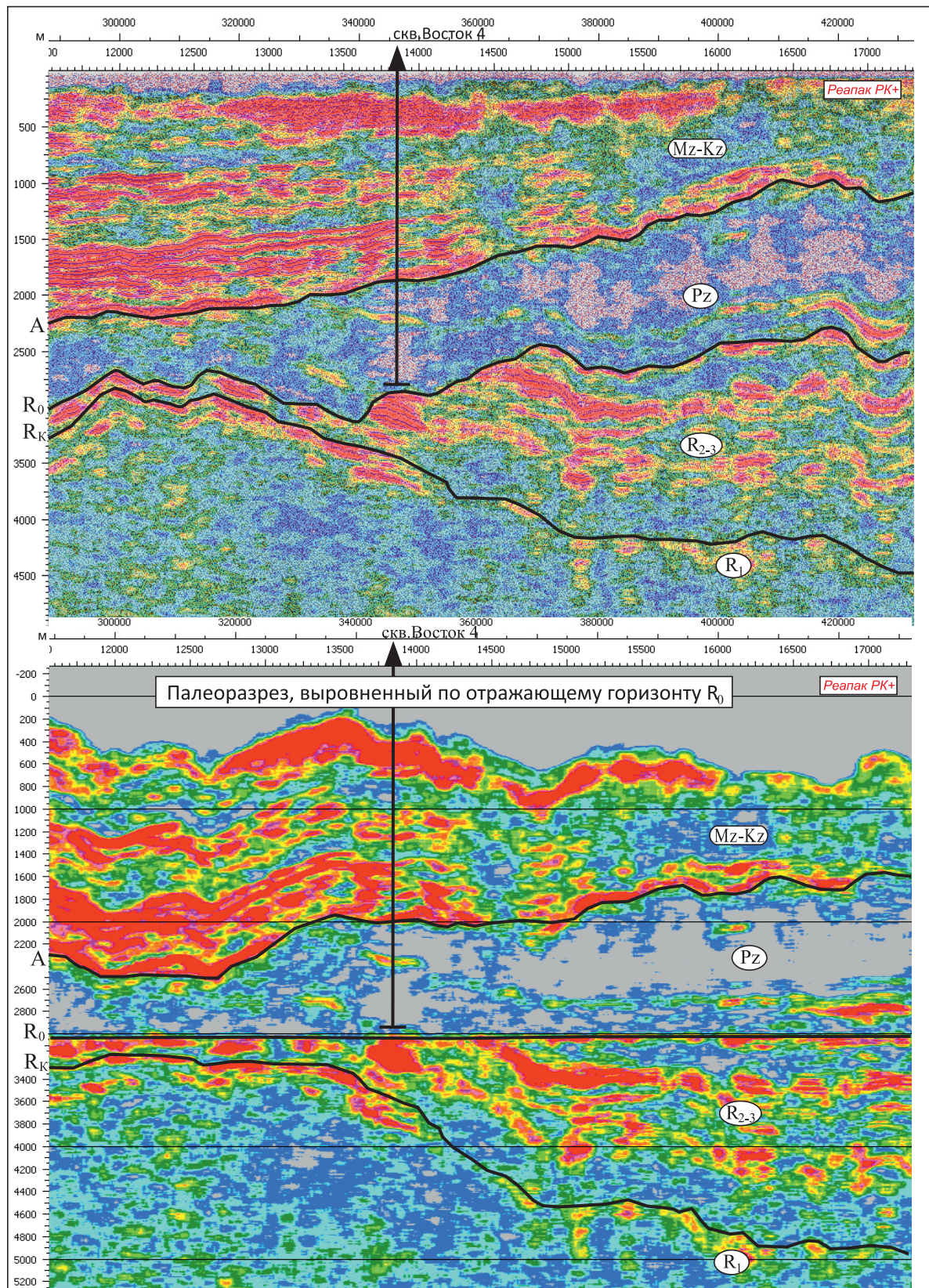


Рис. 4. Фрагмент временного разреза поля энергии отраженных волн по профилю «Восток 10»

(до 100 усл. ед.), располагается между отражающими горизонтами (ОГ) R_T (кровля тейской серии) и R_K (кровля базального горизонта в нижней части кординской свиты) и на первом типе записи сменяется вверх по разрезу протяженным временным интервалом ($\approx 1000\text{--}1200$ мс) со слабой интенсивностью записи энергии волнового поля (10–46 усл. ед.), име-

ющей мозаичный хаотический рисунок. На втором типе записи отмечается слабая и очень слабая интенсивность энергии волнового поля (0–28 усл. ед.).

Далее на первом типе записи выделяется протяженный временной интервал (около 1700–1900 мс) с высокой интенсивностью энергии волнового поля, имеющий в основном упорядоченный

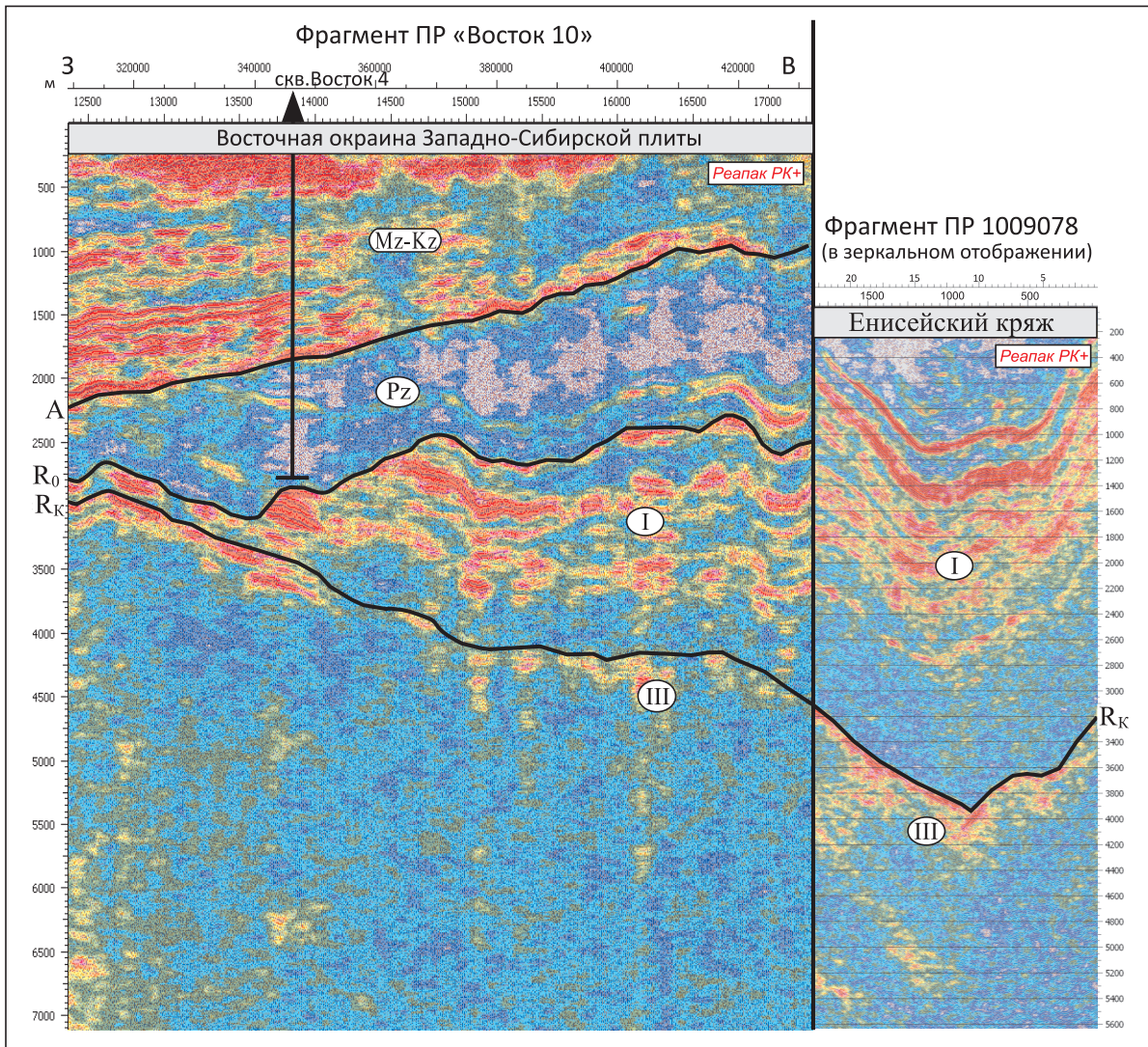


Рис. 5. Сравнение фрагментов полей энергии отраженных волн по профилям «Восток 10» и 1009078
Усл. обозн. см. на рис. 2

полосчатый волнообразный рисунок. Венчает разрез временной интервал со слабо энергетически выраженной интенсивностью энергии волнового поля, имеющий мозаичный хаотический рисунок. Третий (III) и четвертый (IV) типы записи расположены ниже ОГ R_T , под первым и вторым типами соответственно. Третий тип записи в целом имеет мозаичный рисунок. Повышенными значениями энергетического поля характеризуется только верхняя его часть (до 100 усл. ед.), составляющая временной интервал 200–400 мс. Четвертому типу свойственна высокая интенсивность энергии волнового поля (до 100 усл. ед.) и в целом упорядоченный наклонно-полосчатый рисунок. На текущем профиле 1009006 до тектонического нарушения, проявленного как на геологической карте, так и в сейсмических материалах, выделяются преимущественно те же типы рисунка записи, которые далее на восток меняются и в этой работе не рассматриваются из-за их неоднозначности.

На рис. 3 приведен фрагмент профиля 1009078 (CDP 0–800) с I типом рисунка записи, совмещенный

с геологическим разрезом рифейских отложений и временной мощностью свит. Пересчет мощностей осуществлялся из расчета интервальной скорости 5000 м/с. Геологическая колонка построена по данным геологического картирования м-ба 1:200 000, проведенного в 1960-х гг., тематических работ [4, 5] и с учетом решений стратиграфических совещаний [2, 3] и поэтому имеет обобщающий вид. Следует отметить хорошее соответствие рисунка записи и литологии геологического разреза. Так, например, временному интервалу наиболее пониженных значений энергетического поля разреза (0–40 усл. ед.) соответствует достаточно однородный литологический разрез глинистых сланцев кординской, горбилокской и удерейской свит, а интервалу с наиболее высокими значениями (до 100 усл. ед.), имеющему полосчатый рисунок, – толща, состоящая из переслаивающихся пластов различной акустической жесткости погорюйской, сосновской, потоскуйской, шунтарской, киргитейской и нижнеангарской свит.

Таким образом, I и II типы рисунка записи, по всей видимости, отображают строение геологиче-

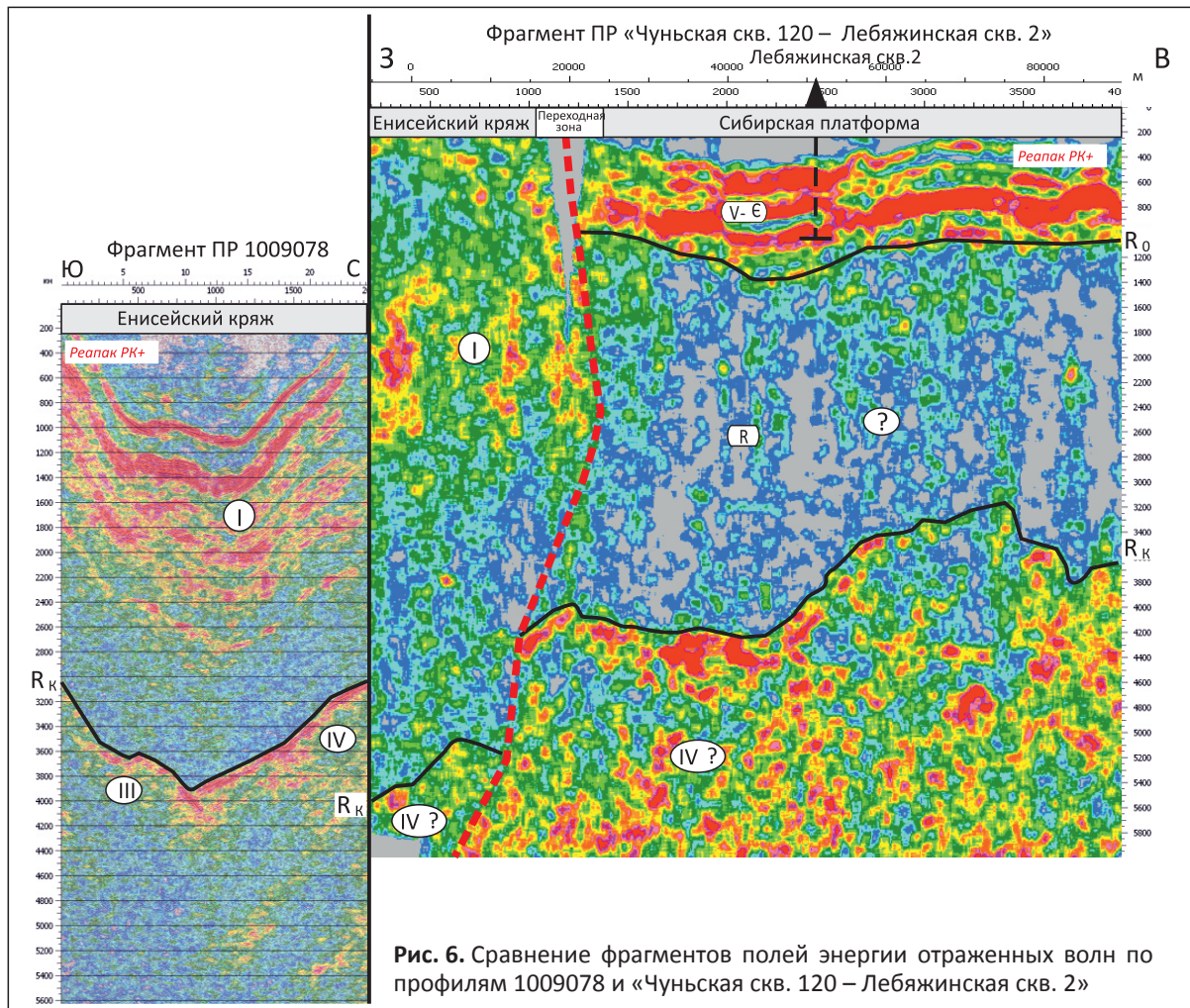


Рис. 6. Сравнение фрагментов полей энергии отраженных волн по профилям 1009078 и «Чуньская скв. 120 – Лебяжинская скв. 2»

ского разреза, в состав которого входят отложения сухопитской, тунгусикской и ослянской серии среднего и верхнего рифея. Их различие можно объяснить разной мощностью и повышенной дислокацией отложений, что подтверждается геологическим строением этого района (см. рис. 2). Очевидно, повышенная дислокация отложений так активно проявилась только в верхней части разреза, что позволяет говорить о горизонтальных смещениях рифейских толщ относительно друг друга. Третий тип рисунка записи, скорее всего, отображает строение тейской серии нижнего рифея, а снижение интенсивности записи энергетического поля вниз по разрезу, возможно, свидетельствует о переходе к образованиям фундамента. Четвертый тип рисунка записи, по-видимому, показывает строение такого геологического разреза, который в южном направлении переходит в разрез, отображенный III типом, при этом из разреза выпадают верхняя и средняя части.

К сожалению, качество обработки сейсмических материалов, характеризующих рифейскую часть геологического разреза (например, ПР 060807, см. рис. 2), не позволяет проследить изменения структуры энергетического поля отраженных волн от рифейских образований в сторону Байкитской антеклизы.

Чтобы понять, как далеко к западу в пределах Западно-Сибирской плиты распространены рифейские отложения и к какому типу они относятся, по наработанной методике был проанализирован фрагмент профиля «Восток 10», проходящий через скв. Восток-4 (рис. 4), которая не достигла рифейских отложений, остановившись в самой нижней части кембрийских. На сейсмическом разрезе чуть ниже забоя скважины по резкому перепаду записи отраженных волн была выделена граница R_0 , и по ней построен палеоразрез. На рис. 4 видно, что расположенные ниже протяженные отражающие горизонты срезаются границей R_0 , например в результате размыва, что позволяет отнести ее к кровле рифейских отложений. При сравнении полей энергии отраженных волн, полученных на тестовом профиле 1009078 (Енисейский кряж) и по фрагменту профиля «Восток 10» (восточная окраина Западно-Сибирской плиты) на последнем можно выделить I и III типы рисунка записи (рис. 5). На этом основании можно предположить наличие в данном районе отложений рифея, по распределению акустической жесткости отложений, являющихся аналогами тейской, сухопитской, тунгусикской, ослянской серий Енисейского кряжа. Отложения рифея, соответствующие I типу рисунка записи, значительно сокращаются с востока на запад – от 2,0 с (около 5 км) до 0,2 с (около 500 м).

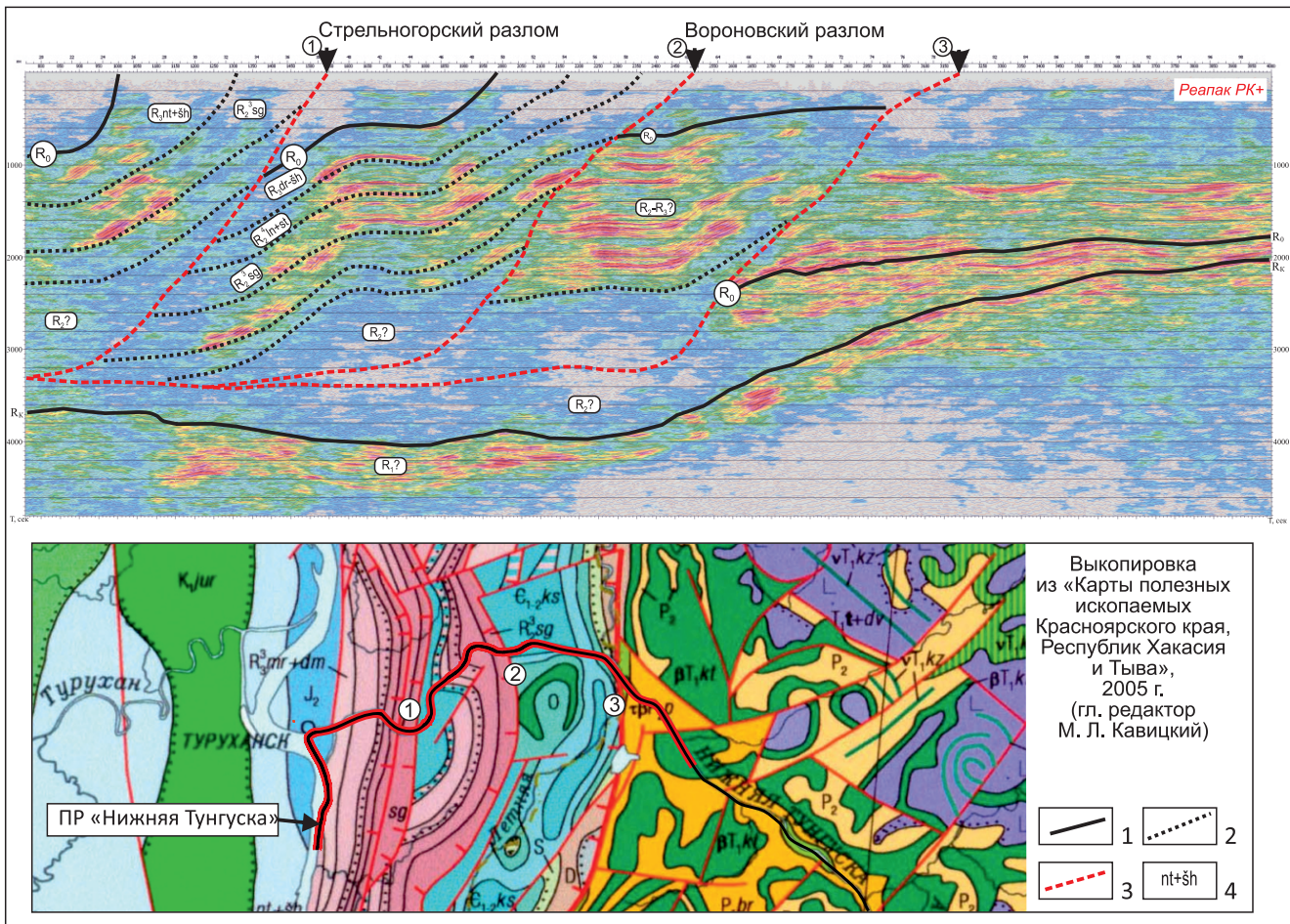


Рис. 7. Интерпретация поля энергии отраженных волн по фрагменту профиля «Нижняя Тунгуска»

1 – отражающие горизонты: R_k – стратиграфически привязанный к кровле аналога базального горизонта кординской свиты сухопитской серии, R_0 – к кровле рифейских отложений; 2 – отражатели, характеризующие структуру рифейских толщ; 3 – предполагаемые крупные тектонические нарушения, закартированные на поверхности; 4 – свиты отложений верхнего рифея (sg – стрельногорская, ln – Линок, st – сухотунгусская, dr – деревнинская, nt – нижнетунгусская, sh – шорихинская)

По северной оконечности Енисейского кряжа проходит профиль «Чуньская скв. 120 – Лебяжинская скв. 2». При сопоставлении с тестовым профилем 1009078 (рис. 6) отмечается достаточно слабое соответствие, рисунок записи имеет мозаичный характер. Полосчатость, как на профиле 1009078, не отмечается. Возможно, это связано с проявлением многочисленных разрывных нарушений, типичных для окраины Енисейского кряжа. Тем не менее видно: в поле отраженной энергии проявляется низкоэнергетическая толща, ограниченная снизу и сверху отложениями с повышенными значениями отраженной энергии, что напоминает I тип рисунка записи в Каменской зоне.

Территории, расположенные севернее, характеризуются профилем «Нижняя Тунгуска», проходящим по долине одноименной реки (рис. 7). В нижней части долины вблизи п. Туруханска рифейские отложения, разбитые высокоамплитудными разломами на ряд блоков, выходят на дневную поверхность и хорошо изучены. Представление о геологии рифейских отложений в Туруханском районе получены по результатам изучения обнажений рр. Сухая

Тунгуска, Нижняя Тунгуска и др., а также по материалам бурения скважин на Голоярской, Нижнелетнинской и Сухотунгусской площадях. В нижней части разреза залегает терригенная стрельногорская свита, в верхней – преимущественно карбонатные свиты Линок, сухотунгусская, деревнинская, буровой, шорихинская, мироедихинская и туруханская [1]. На основе известных данных на фрагменте временного разреза по указанному профилю определены местоположение и форма основных структурообразующих разломов, а также положение рифейских толщ, выходящих на поверхность (см. рис. 7). Разрез поля энергии отраженных волн одного из блоков, ограниченных разломами 2 и 3, сопоставляется с фрагментом временного разреза по тестовому профилю 1009078 (Енисейский кряж, Каменская зона) (рис. 8). Отмечается хорошее соответствие типов рисунка записи, можно выделить I и III типы.

При сравнении полей энергии отраженных волн, полученных по тестовому профилю 1009078 (Енисейский кряж) и по фрагменту профиля «Рассечка профиля „Алтай – Северная Земля“» (Юрубчено-Тохомская зона Сибирской платформы), на

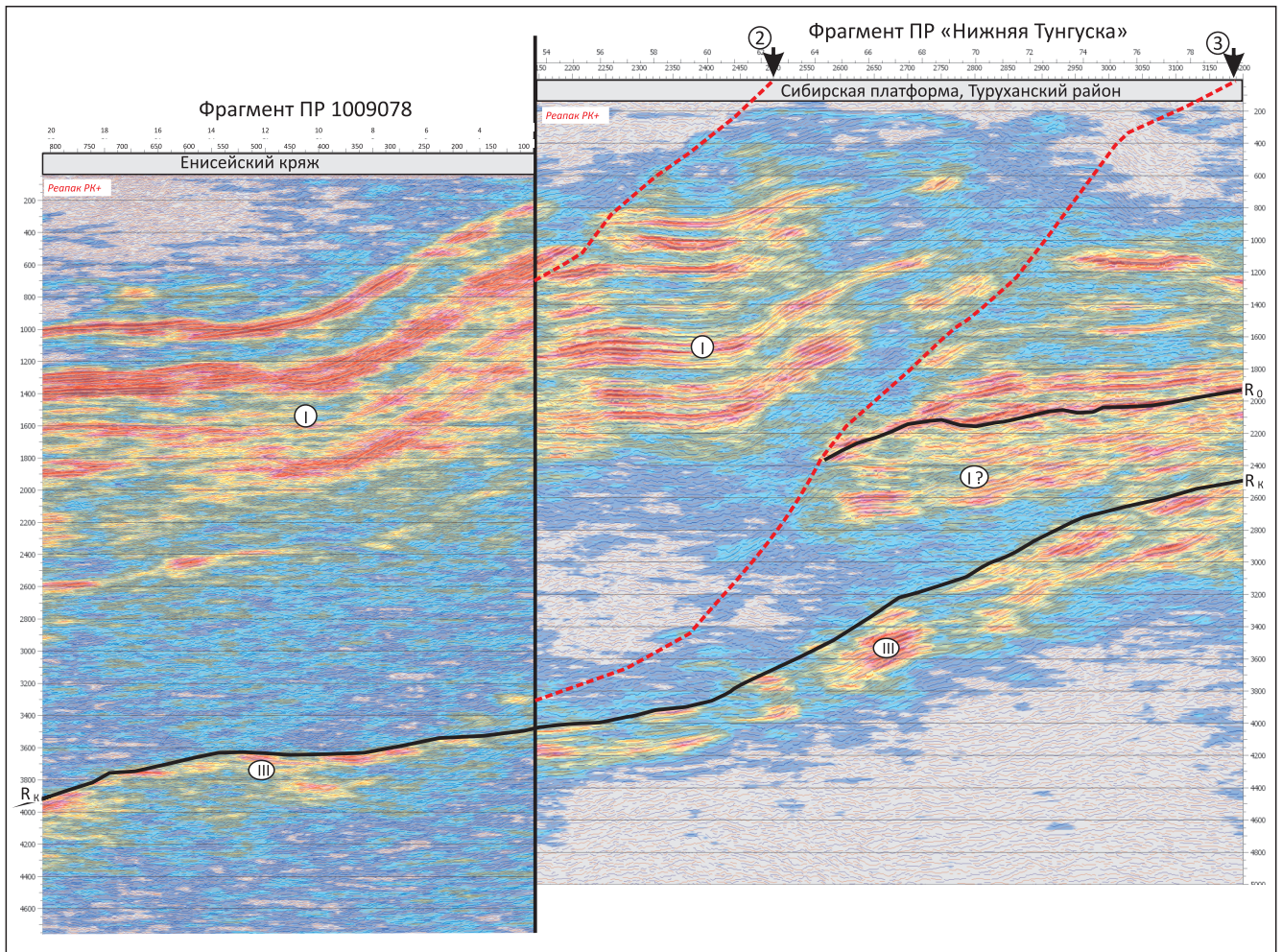


Рис. 8. Сравнение фрагментов полей энергии отраженных волн по профилям 1009078 и «Нижняя Тунгуска»
Усл. обозн. см. на рис. 2

последнем в интервале развития рифейских отложений уверенно выделяется IV тип рисунка записи (рис. 9). Отмечается угловое несогласие отложений венда и рифея. Временная мощность резко уменьшается с юго-востока на северо-запад: с 3,5 с (около 8,8 км) до 1,0 с (2,5 км). Непосредственно на рассматриваемом фрагменте профиля рифейская толща на 445 м вскрыта Юрубченской скв. 106. В результате сопоставления разрезов базовых Юрубченских скв. 30, 110 и Мадринской скв. 156 (они расположены в непосредственной близости от рассматриваемого фрагмента сейсмического профиля МОГТ) составлена сводная стратиграфическая схема рифейских отложений Юрубчено-Тохомской зоны. Здесь выделяются отложения камовской серии, состоящей из толщ терригенно-карбонатного состава с циклическим строением разреза. Необходимо заметить, что стратификация рифея в Юрубчено-Тохомской зоне до настоящего времени остается во многом неясной и спорной, особенно датировка отложений и их сопоставление с породами Енисейского кряжа [1]. По этому поводу имеются разные мнения.

Первой точки зрения, базирующейся на палеонтологических, радиологических и историко-гео-

логических данных [1], придерживаются Б. Г. Краевский и др. Они полагают, что отложения камовской серии соответствуют образованиям сухопитской, тунгусикской и ослянской серий Енисейского кряжа и имеют средне-позднерифейский возраст. Эта гипотеза не согласуется с анализом сопоставления формы записи поля энергии отраженных волн (см. рис. 9). По нашему мнению, в данном случае подходит вторая точка зрения, обоснованная Е. М. Хабаровым и др. на упомянутом рабочем совещании. Они оперируют новыми аналитическими данными – калий-аргоновыми датировками по карбонатным породам и материалами по определению соотношения в них изотопов стронция. Они считают, что рифейский разрез Юрубчено-Тохомской зоны имеет нижне-среднерифейский возраст, камовская серия в основном сопоставляется с тейской серией Енисейского кряжа.

На основании представленного материала можно утверждать, что для отложений рифея в западной части Сибирской платформы характерно следующее.

1. Поле энергии отраженных волн способно частично отображать литологическое строение отложений.

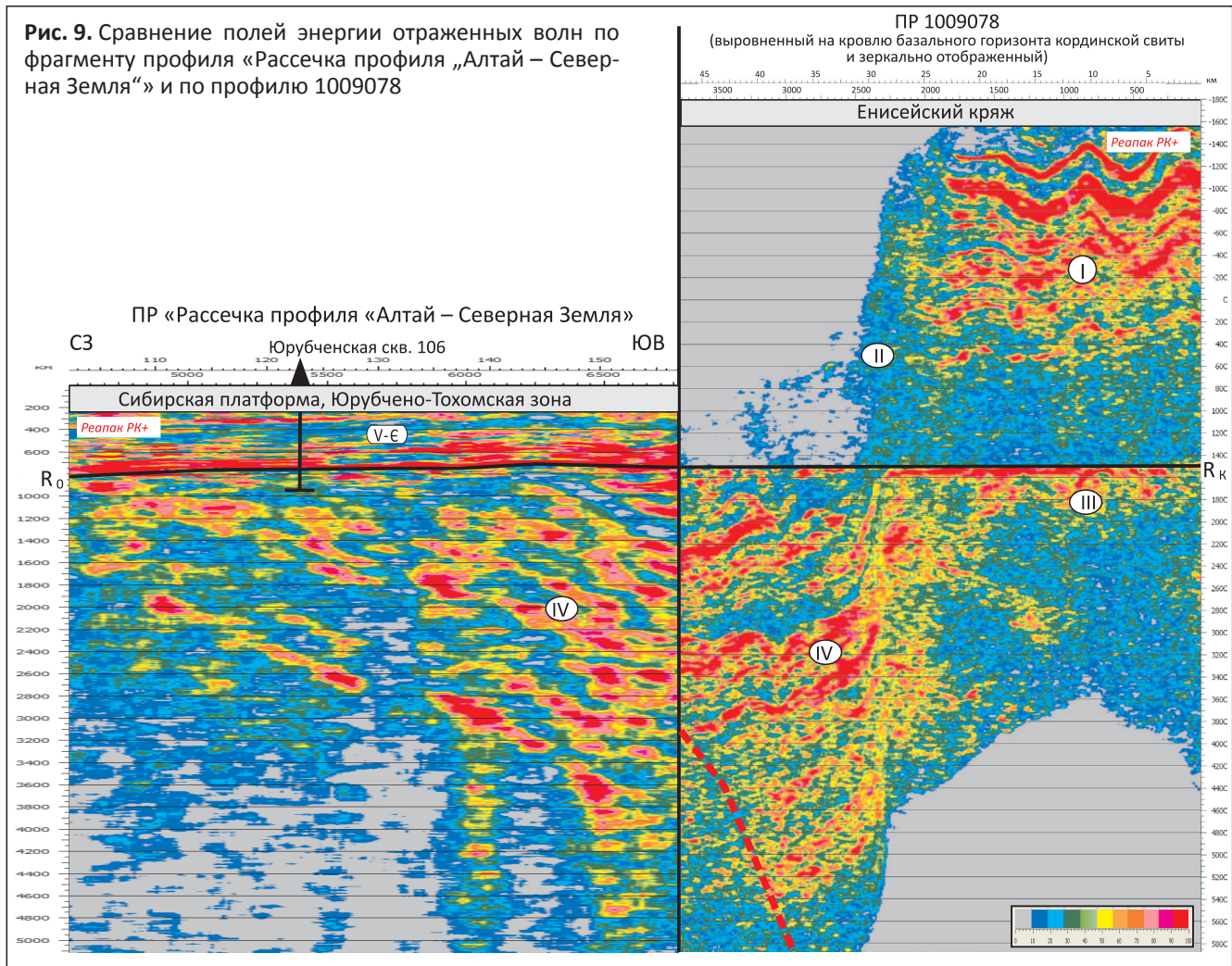


Рис. 9. Сравнение полей энергии отраженных волн по фрагменту профиля «Рассечка профиля „Алтай – Северная Земля“» и по профилю 1009078

2. Сейсмический материал по профилю 1009078 (Каменская зона Енисейского кряжа) достаточно удобен в качестве эталонного для сравнения с сейсмическими материалами по другим профилям, расположенным на достаточно большом удалении, по рисунку записи поля энергии отраженных волн.

3. Рисунок записи поля энергии отраженных волн опознаваем на довольно больших расстояниях, что позволяет говорить о подобию соответствующих отложений, по крайней мере с точки зрения изменения акустических жесткостей.

4. С помощью полей энергии отраженных волн, рассчитанных в рамках Реапак-технологии, есть возможность идентифицировать отложения рифея на новых малоизученных территориях и оценивать их литологические характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Стратиграфия** нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Н. В. Мельников, М. С. Якшин, Б. Б. Шишкин и др. – Новосибирск: Акад изд-во «Гео», 2005. – 428 с.

2. **Решения** Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертич-

ной системе Средней Сибири. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1983. – 216 с.

3. **Рудницкая Д. И., Корнилов М. В., Стражникова И. Н.** Теоретические и алгоритмические основы системы РеапакPK+ // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 2. – С. 76–87.

4. **Семихатов М. А.** Рифей и нижний кембрий Енисейского кряжа. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 242 с.

5. **Шенфиль В. Ю.** Поздний докембрий Сибирской платформы. – Новосибирск: Наука, 1991. – 185 с.

REFERENCES

1. Melnikov N.V., Yakshin M.S., Shishkin B.B., et al. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Rifey i vend Sibirskoy platformy i ee skladchatogo obramleniya* [Stratigraphy of petroleum basins of Siberia. Rhiphean and Vendian of the Siberian Platform and its folded framing]. Novosibirsk, Geo Academic Publishing House, 2005. 428 p. (In Russ.).

2. *Resheniya Vsesoyuznogo stratigraficheskogo soveshchaniya po dokembriyu, paleozoju i chetvertichnoy sisteme Sredney Sibiri* [Decisions of the all-Union stratigraphic meeting on the pre-Cambrian, Paleozoic, and Quaternary systems of the Middle



Siberia]. Novosibirsk, IPGG SB AS USSR Publ., 1983. 216 p. (In Russ.).

3. Rudnitskaya D. I., Kornilov M. V., Strazhnikova I. N. [Theoretical and algorithmic basis of ReapakRK+ system]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2012, no. 2, pp. 76–87. (In Russ.).

4. Semikhatov M. A. *Rifey i nizhniy kembriy Eniseyskogo kryazha* [Riphean and Lower Cambrian of the Yenisei Range]. Moscow, AS USSR Publ., 1962. 242 p. (In Russ.).

5. Shenfil V. Yu. *Pozdny dokembriy Sibirskoy platform* [Late pre-Cambrian of the Siberian Platform]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 185 p. (In Russ.).

© И. М. Новосельцев,
С. Н. Смолин, Л. Ю. Казакул, 2017