



УДК (550.843:551.22):551.732.2(571.5)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ КАРТИРОВАНИЯ ИНТРУЗИВНЫХ ТЕЛ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ МУНТУЛЬСКОГО УЧАСТКА)

С. В. Котова, Г. Д. Ухлоva, Е. Г. Келлер, И. В. Литаврин

Рассмотрено развитие траппового магматизма на Мунтульской площади, расположенной в зоне сочленения Байкитской антеклизы и Присаяно-Енисейской синеклизы. Основной уровень локализации пластовых интрузий здесь – отложения усольской свиты. Выполнена стратиграфическая привязка и корреляция отражающего горизонта, отождествляемого с кровлей Усольского силла по сейсмическим разрезам. По данным бурения и характеру волнового поля сейсмических разрезов установлено, что интрузивные тела были распространены только в восточной части изучаемой территории. На сейсмических разрезах в интервалах с развитием Усольского силла наблюдаются резкое увеличение временной мощности и «скачкообразное» изменение конфигурации отражающего горизонта на фоне субгоризонтального залегания выше- и нижележащих слоев; на локальных участках отмечается хаотичное распределение непротяженных осей синфазности различной интенсивности под кровлей силла. Кроме того, на сейсмических разрезах выявлен ряд субвертикальных тел, в которых отсутствуют регулярные сейсмические отражения. Предположительно, данные тела связаны с зонами деструкции. В местах примыкания осадочного чехла к данному телу наблюдается серия крутопадающих отражений. Для повышения качества визуализации использовались разрезы различных динамических атрибутов сейсмической записи.

Ключевые слова: Сибирская платформа, магматизм, нижний кембрий, Усольский силл, сейсмический разрез, волновое поле.

ANALYSING THE POSSIBILITY TO MAP INTRUSIVE BODIES BASED ON SEISMIC DATA IN EASTERN SIBERIA: A CASE STUDY FROM THE MUNTUL'SKY SITE

S. V. Kotova, G. D. Ukhlova, E. G. Keller, I. V. Litavrin

The paper considers trap magmatism at the Muntul'skaya area located in the junction zone of the Baikite antecline and the Cis-Sayan-Yenisei syncline. Within the area of interest the sills are mainly localized in the Usol'e Formation. The reflector matched with the Usol'e sill top in seismic sections was tied to and correlated with stratigraphic units. The drilling data and wavefield parameters of the seismic sections imply that intrusive bodies are distributed only in the eastern part of the studied area. Within the Usol'e sill intervals the seismic sections show a sharp increase in time thickness; sudden changes in the reflecting horizon geometry with a near-horizontal occurrence of over- and underlying layers; a local rambling distribution of non-extended events of a various intensity under the sill top. Besides, there are a number of near-vertical bodies in the seismic sections with no regular seismic reflections. These bodies are probably associated with destruction zones. There are several steeply dipping reflections, where the sedimentary cover adjoins the body. Various seismic amplitude attributes were used to increase the imaging quality.

Keywords: Siberian Platform, magmatism, Lower Cambrian, Usol'e sill, seismic section, wavefield.

Территория Восточной Сибири характеризуется сложными сейсмогеологическими условиями, отрицательно влияющими на точность построения сейсмогеологических моделей строения отложений. К одному из таких неблагоприятных факторов относится насыщенность разреза интрузиями. При появлении интрузий как кинематические, так и динамические параметры волнового поля сейсмических разрезов могут искажаться за счет перепада скоростей. Поэтому картирование интрузий по данным сейсморазведки – важная задача при интерпретации сейсмических данных.

Как известно, на древних платформах, в первую очередь Сибирской, отчетливо проявляются последствия магматических процессов в виде штоков и даек, вдоль которых высокотемпературные расплавы проникали в осадочный чехол. Эти расплавы

могли изливаться в приповерхностной части чехла, образуя обширные по площади и нередко весьма мощные трапповые покрытия, а также внедряться в ослабленные зоны на расстоянии в десятки и даже сотни километров от дайки. Эти зоны, именуемые обычно силлами, образуют квазислоистые структуры, имеющие в краевых частях сложную форму [6].

Западная часть Сибирской платформы характеризуется присутствием большого числа дифференцированных интрузий, сильной раздробленностью чехла и связанными с ней многочисленными секущими интрузиями. Характерная особенность данных тел – их сложное строение [2].

Скорости распространения волн в интрузиях существенно больше, чем во вмещающих породах, не подвергшихся действию магматических процессов. На рассматриваемой территории ин-



трузии расположены внутри соленосной толщи (рис. 1). Скорость в магматических породах в среднем 6,0–7,0 км/с, а в солях она колеблется от 3,3 до 4,5 км/с. Поэтому зона контакта силла с вмещающими породами представляет собой акустически контрастную границу и должна хорошо проявляться в волновом поле сейсмического разреза. Однако волновая картина может быть весьма неустойчива. Это объясняется тем, что на временных разрезах происходит потеря послонной корреляции отраженных волн. В областях резкого изменения мощностей траппов и силлов наблюдается расслоение (дифракция) волн, что также мешает прослеживанию регулярных отражений [6].

На юге Сибирской платформы хорошо изучен широко распространенный Усольский силл, названный так из-за его локализации главным образом в отложениях усольской свиты. Тем не менее данный силл, как и все остальные, мигрирует по разрезу и может встречаться в разных свитах венда и нижнего кембрия. На большей части Сибирской платформы он представлен единым телом, но на ряде площадей делится на два, два-три пластовых тела, редко более. При подобном делении более мощное пластовое тело обычно принимается за основное, а остальные относятся к категории сопутствующих. Суммарные мощности на участках таких разветвлений изменяются достаточно плавно и близки к мощности силла, представленного единым телом. Характерной чертой строения Усольского силла является присутствие в нем аномальных раздувов и пережимов. На некоторых площадях отмечается ступенчатое перемещение силла на более высокие уровни при одновременном сокращении его мощности, вплоть до полного выклинивания [5, 4]. На рис. 2 показан пример отображения ступенчатого перемещения Усольского силла по данным сейсморазведки.

Предполагается, что в пределах Мунтульской площади Усольский силл залегает только в восточной части. На северо-востоке от площади исследования основное тело Усольского силла закартировано в доусольских отложениях венда (в собинской и катангской свитах). Одновременно в части районов, в том числе на Агалеевской площади, присутствуют и сопутствующие пластовые интрузии в усольской свите. Установлено развитие траппового магматизма в усольской свите в окрестностях Мунтульского участка в скважинах, расположенных к югу от площади работ (Имбинская 2, Имбинская 180, Имбинская 1). На севере и востоке подтверждено наличие траппов в собинской свите (скважины Нижнемадасенская 138, Ильбокичская 1, Ильбокичская 4, Агалеевские 1–4). В Беляжской скв. 1, находящейся на северо-западе от Мунтульского участка, трапповый магматизм отсутствует (рис. 1, 3).

По данным А. В. Мигурского, в пределах Ангарской зоны складок проявляется аномальное строение Усольского силла [5]. На Имбинской площади

наблюдается резкое увеличение мощности на востоке от 74 (Имбинская скв. 1) до 153 м (Имбинская скв. 180) и далее на запад до 332 м (Имбинская скв. 2) в сторону границы выклинивания. В этом же месте фиксируется и подъем горизонтов вмещающих пород на 119 м в подтрапповой толще и на 394 м в надтрапповой. Более контрастный подъем последней почти полностью обусловлен увеличением мощности интрузий. Увеличенные толщины силла наблюдаются на Агалеевской площади (см. рис. 3).

До сих пор не существует четких критериев выделения траппов по сейсморазведочным данным. Когда интрузивное тело имеет большую скорость, чем вмещающая среда, кровля траппа должна формироваться как динамически выраженный положительный экстремум. В настоящее время качество сейсмического материала повышается, что способствует увеличению вертикальной разрешенности данных сейсморазведки. Тем не менее анализ материалов показывает, что частота сигнала при наземных сейсмических исследованиях значительно варьирует, но чаще всего составляет 40–80 Гц. В этом случае на временных разрезах отображаются слои мощностью от 20 м. Если мощность интрузивного тела меньше, а его строение неоднородно, определение границ становится невозможным. Мощность Усольского силла, как правило, более 50 м, поэтому он достаточно хорошо картируется по данным сейсморазведки.

В ходе работы были детально проанализированы особенности волнового поля сейсмических разрезов Мунтульского участка (рис. 4). Данный район характеризуется не только сложными поверхностными сейсмогеологическими условиями, но и активными тектоническими процессами, что затрудняет динамический анализ. Кроме того, имеющаяся сеть профилей МОГТ 2D слишком редкая для создания объективной непротиворечивой модели строения Усольского силла. Для более точного выявления особенностей локализации магматических образований в разрезе осадочного чехла необходимо проведение сейсморазведочных работ МОГТ 3D. Стратиграфическая привязка кровли Усольского силла осуществлялась по Имбинской скв. 2, в которой подтверждено наличие траппов в составе усольской свиты (рис. 5). Для повышения качества визуализации использовались разрезы динамических атрибутов, таких как Envelope Trace, Relative Acoustic Impedance (рис. 6).

На разрезах Envelope Trace кровля силла характеризуется увеличением энергии. На разрезах также четко отображаются субвертикальные аномальные зоны в виде динамически ослабленных участков. На разрезах Relative Acoustic Impedance кровля траппа приходится на переход с минимальных значений на максимальные.

Анализ особенностей волнового поля показал, что для силлов характерны следующие особенности:

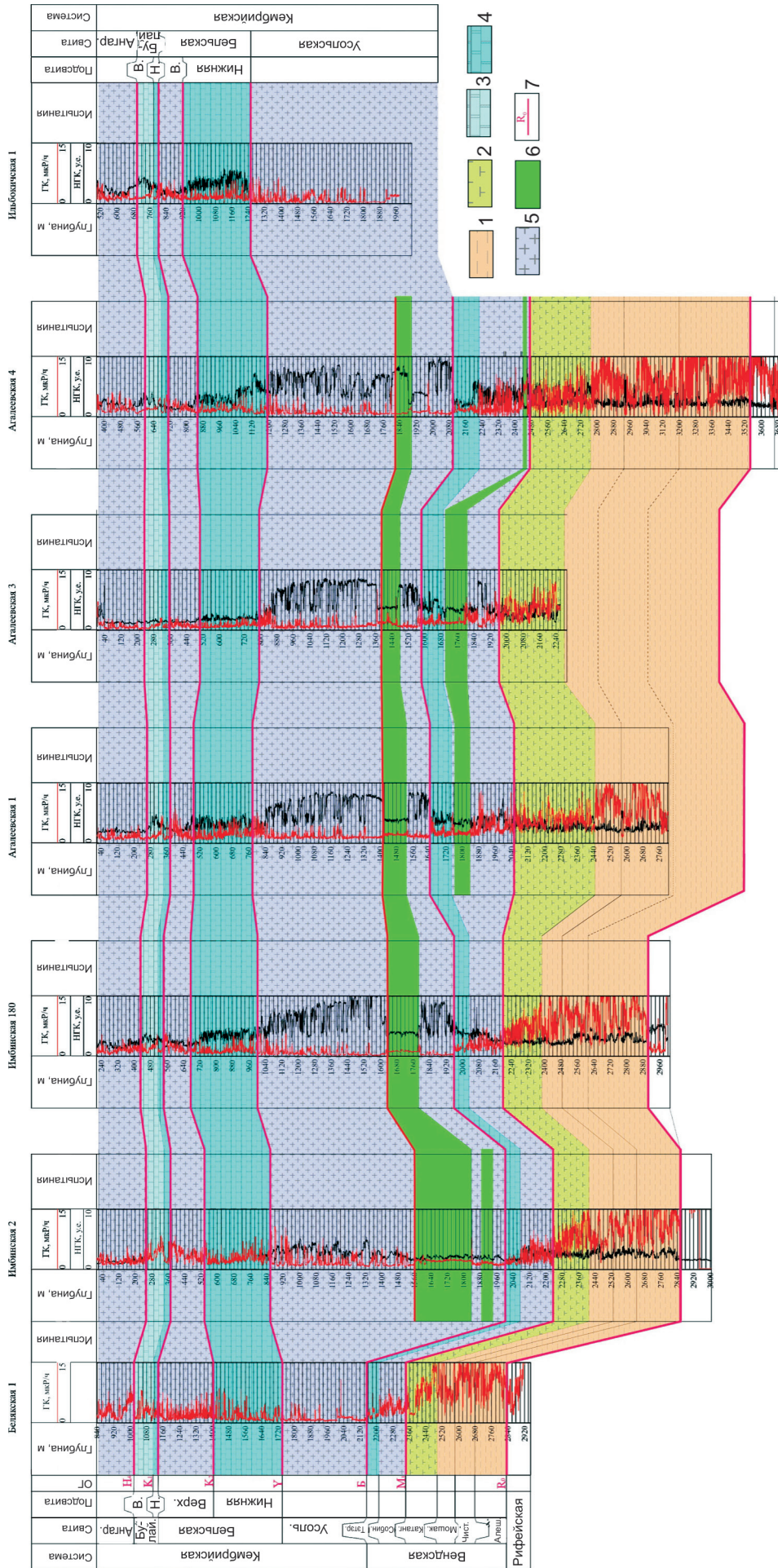


Рис. 1. Схема корреляции по линии скважин Белаяск 1 – Илюбовская 1

1–6 – формации: 1 – терригенная, 2 – карбонатно-глинистая (мергели, глинистые известняки), 3 – карбонатная (известняки, доломиты), 4 – сульфатно-карбонатная, 5 – соленосная (галит, сульфаты), 6 – интрузии; 7 – отражающие горизонты

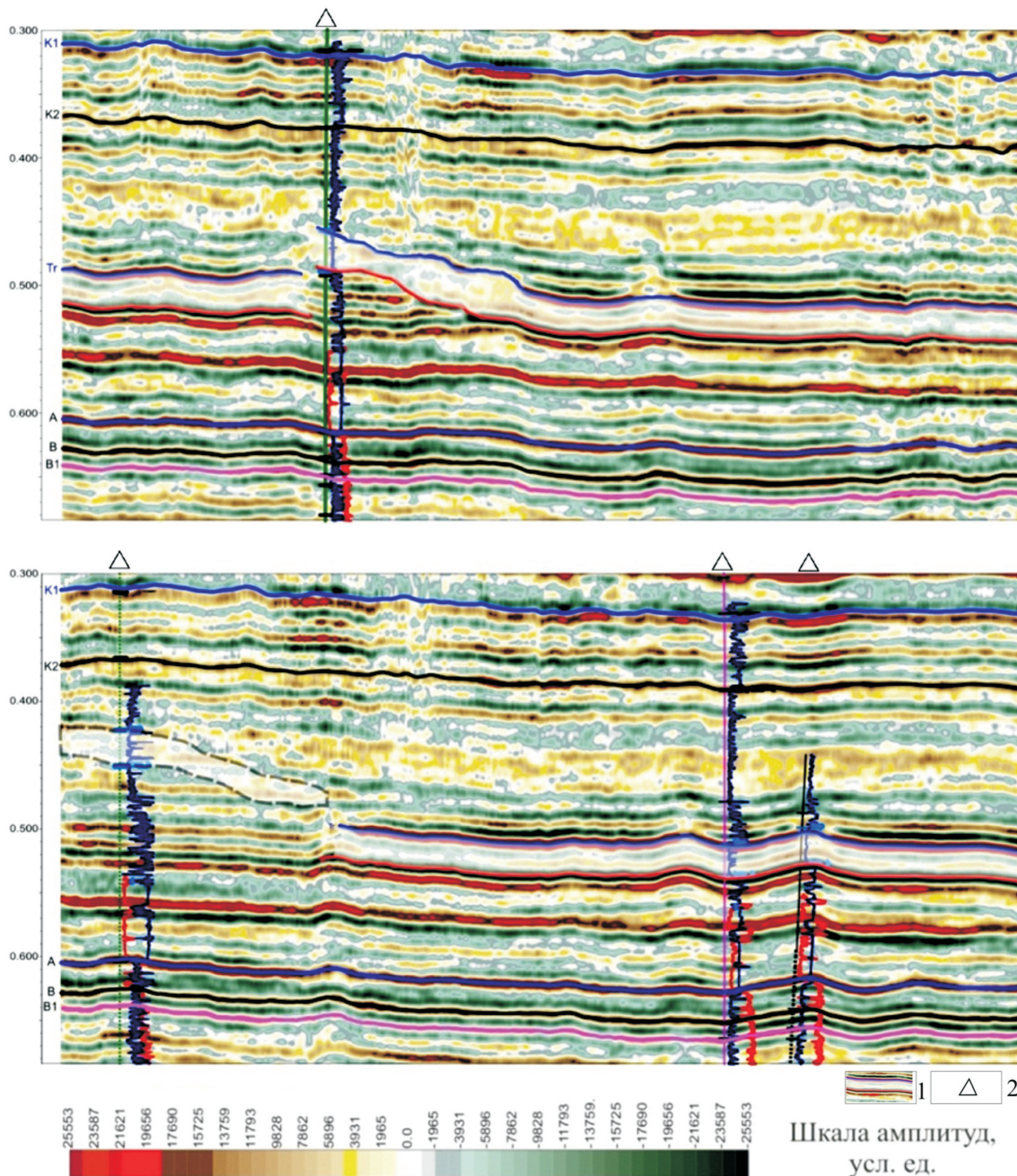


Рис. 2. Пример отображения миграции Усольского силла по разным стратиграфическим уровням по данным сейсморазведки МОГТ

1 – трапп; 2 – скважины

– наличие резкого увеличения временной мощности;

– «скачкообразное» изменение конфигурации отражающего горизонта, соответствующего кровле силла на фоне субгоризонтального залегания выше- и нижележащих слоев;

– хаотическое распределение непротяженных осей синфазности различной интенсивности под кровлей силла на локальных участках (см. рис. 4).

Кроме того, на временных разрезах отображаются аномальные участки вблизи зон развития траппового магматизма. Заметное сокращение мощности, вероятно, связано с участками выщелачивания солей, а наличие высокоамплитудных отражений в подобных зонах – с воз-

можным заполнением освободившегося пространства магмой. Данные Л. Н. Константиновой подтверждают наличие мощных соляных пачек в разрезе Нижнемадашенской скв. 138 и Агале-евской скв. 1 [3].

В результате на всей площади был прослежен отражающий горизонт, приуроченный к кровле Усольского силла и закартирована западная граница его развития (рис. 7).

Кроме силлов, на сейсмических разрезах отмечается ряд изолированных друг от друга субвертикальных тел, распределенных по площади неравномерно. На временных разрезах указанные тела характеризуются как субвертикальные зоны с хаотичной формой сейсмической записи, прояв-

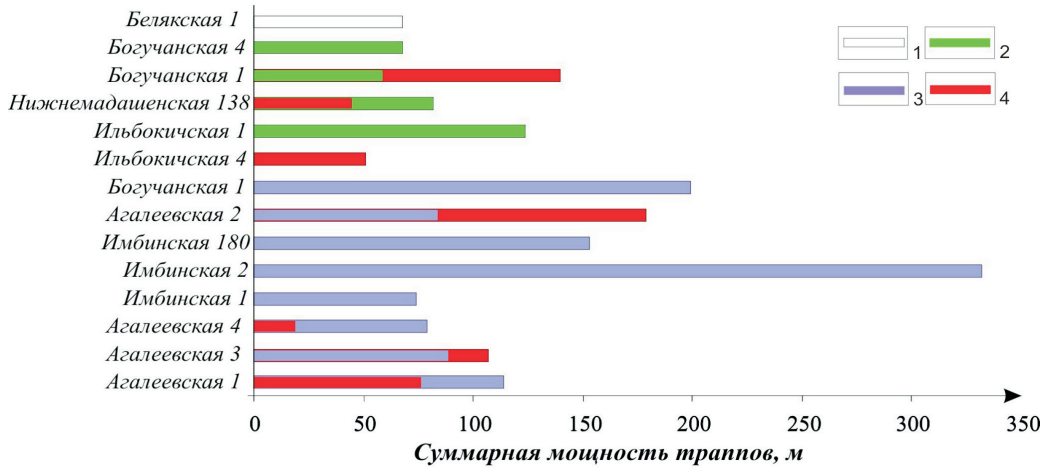


Рис. 3. Распределение траппов по скважинам
Траппы: 1 – отсутствуют, 2 – выше усольской свиты, 3 – в усольской свите, 4 – в собинской и катангской свитах

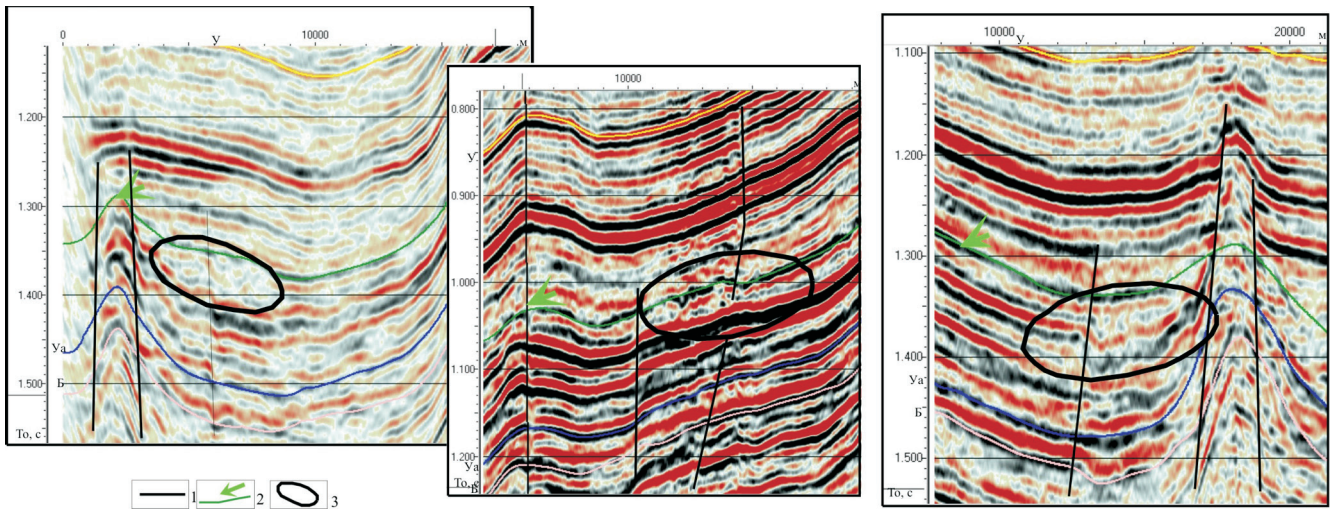


Рис. 4. Аномалии сейсмической записи, характерные для траппового магматизма в усольской свите
1 – тектонические нарушения; 2 – кровля Усольского силла; 3 – аномальные зоны

ляющиеся практически по всему интервалу разреза. В местах примыкания осадочных пород наблюдается серия крутопадающих отражений. По данным гравиразведки эти зоны совпадают с положительными аномалиями гравитационного поля. На временных разрезах четко отображаются аномальные раздувы мощностей, которые уменьшаются по мере удаления от указанных тел.

Подобные аномальные тела связаны с разрывными нарушениями. По данным многих исследователей установлено, что трапповые интрузии поднимаются по ослабленным субвертикальным зонам деструкции (трещиноватые зоны, разрывные нарушения). Существуют разные варианты объяснения этого явления. Одни исследователи считают, что интрузия сама способствует образованию разлома в осадочной толще с общей направленностью к земной поверхности. Другие предполагают, что интрузия образуется в пределах тектонически ослабленных и, возможно, нарушенных зон древнего заложения, активных в течение длительного времени. Породы, находящиеся в напряженном состоянии, наиболее легко поддаются выщелачиванию. Возможен переток масс соли по тектонически ослабленным зонам. Повышенная трещиноватость

пород способствует как поступлению больших объемов агрессивных растворов, так и выносу растворенного материала. Поэтому в периоды траппового магматизма вследствие возросшей проницаемости чехла могли происходить интенсивные перетоки подземных вод и увеличение их минерализации из-за повышенной растворимости галита при общем повышении температуры недр. При последующем охлаждении недр из таких пересыщенных рассолов осуществлялось выпадение соли [1].

Выводы

Выполнены стратиграфическая привязка и корреляция отражающего горизонта, приуроченного к кровле Усольского силла.

Выявлены аномалии волнового поля, связанные с развитием траппового магматизма в усольской свите. На временных разрезах наблюдается резкое увеличение временной мощности; «скачкообразное» изменение конфигурации отражающего горизонта, соответствующего кровле силла на фоне субгоризонтального залегания выше- и нижележащих слоев; хаотическое распределение непротяженных осей синфазности различной интенсивности под кровлей силла на локальных участках.

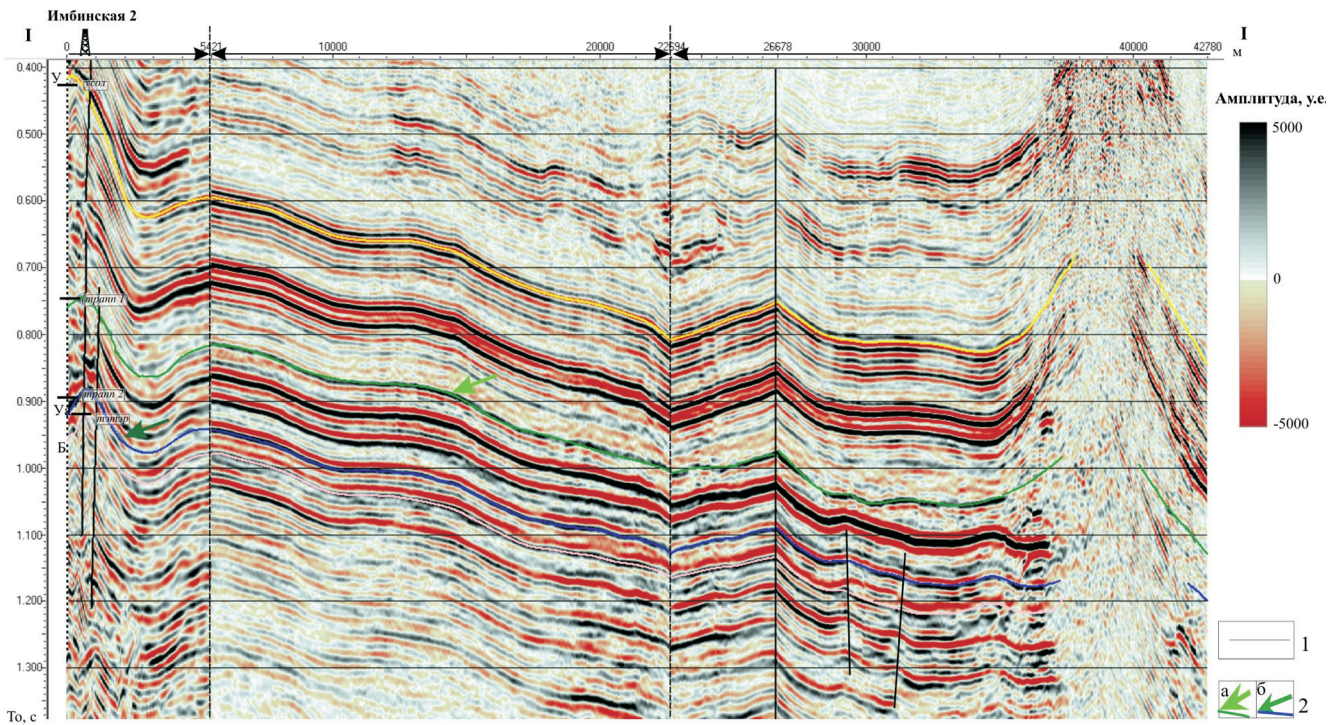


Рис. 5. Фрагмент временного разреза по составному профилю I–I. Привязка кровли траппа к Имбинской скв. 2
1 – тектонические нарушения; 2 – кровля Усольского силла (а – основного, б – сопутствующего)

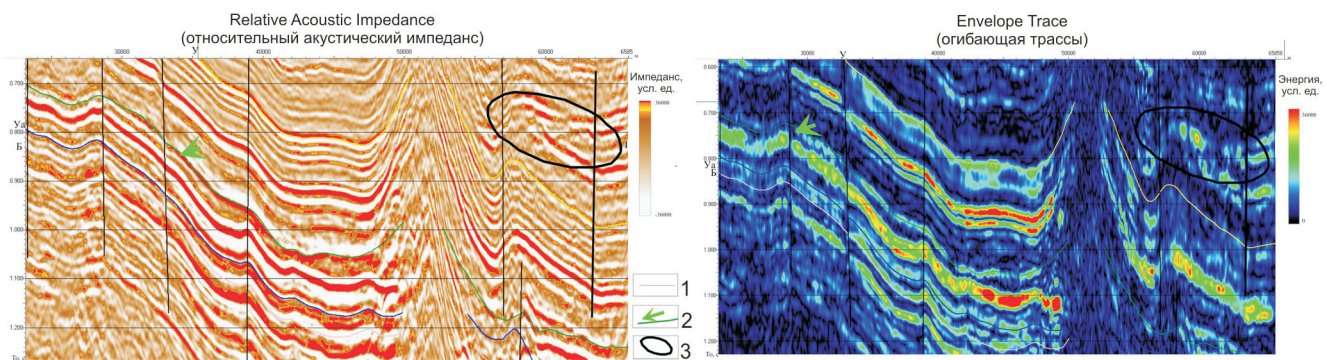


Рис. 6. Картирование силла по динамическим атрибутам волнового поля
1 – тектонические нарушения; 2 – кровля Усольского силла; 3 – аномальные зоны

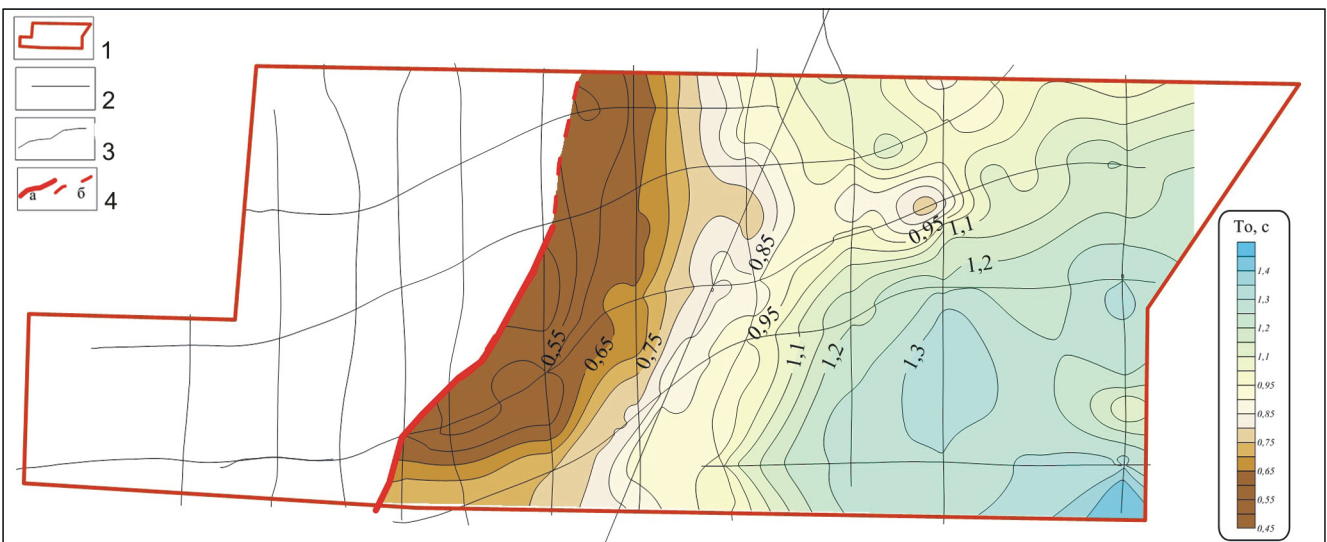


Рис. 7. Схема изохрон по кровле Усольского силла
1 – контур Мунтульского участка; 2 – сейсмические профили; 3 – изохроны, с; 4 – предполагаемая граница выклинивания Усольского силла: а – уверенная; б – неуверенная



На сейсмических разрезах определен ряд суб-вертикальных тел, секущих весь разрез. В них отсутствуют регулярные сейсмические отражения. В местах примыкания осадочного чехла к данному телу, наблюдается серия крутопадающих отражений.

Распространение интрузивных тел наблюдается только в восточной части изучаемой территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гажула, С. В.** Особенности траппового магматизма в связи с условиями нефтегазоносности Сибирской платформы [Электронный ресурс] / С. В. Гажула // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2008. – Вып. 3, № 1. – Точка доступа : http://www.ngtp.ru/rub/4/10_2008.pdf.

2. **Головешкин, А. Е.** Учет влияния траппового магматизма при зональном прогнозе нефтеносности на западе Сибирской платформы [Текст] / А. Е. Головешкин, Т. В. Афанасьева, Вл. Н. Зинченко // Прогноз зон нефтегазонакопления и локальных объектов на Сибирской платформе : сб. науч. тр. – Л. : ВНИГРИ, 1988. – С. 116–128.

3. **Константинова, Л. Н.** Прогноз коллекторов нефти и газа в вендском и верхневендско-нижнекембрийском нефтегазоносных комплексах Байкитской нефтегазоносной области (Сибирская платформа) : Автореф. дис. ... к. г.-м. н. [Текст] / Л. Н. Константинова. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2002. – 24 с.

4. **Левин, Ф. Д.** Новые данные о строении трапповых полей южной части Восточной Сибири по материалам аэрогеофизических съемок [Текст] / Ф. Д. Левин // Современные аэрогеофизические методы и технологии. – 2009. – Т. 1, вып. 1.

5. **Мигурский, А. В.** Дизъюнктивная тектоника и нефтегазоносность платформенных областей (на примере юга Сибирской платформы) : Автореф. дис. ... д. г.-м. н. [Текст] / А. В. Мигурский. – Новосибирск : ИНГГ СО РАН, 1997. – 40 с.

6. **Пузырев, Н. Н.** Методы и объекты сейсмических исследований. Введение в общую сейсмо-

логию [Текст] / Н. Н. Пузырев. – Новосибирск : НИЦ ОИГГМ, 1997. – 301 с.

REFERENCES

1. Gazhula S.V. [Trap magmatism features in connection with hydrocarbon saturation conditions in the Siberian Platform]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika – Petroleum geology. Theory and practice*, 2008, vol. 3, no. 1. (In Russ.).

2. Goloveshkin A.E., Afanasyeva T.V., Zinchenko V.I. [Effect of trap magmatism in zonal prognosis of petroleum potential in the Western Siberian Platform]. *Prognoz zon neftegazonakopleniya i lokal'nykh ob'ektov na zarade Sibirskoy platformy. Sb. nauchnykh trudov* [Prediction of petroleum accumulation zones and local targets in the Siberian Platform. Collected papers]. Leningrad, VNIIGRI Publ., 1988, pp. 116–128. (In Russ.).

3. Konstantinova L.N. *Prognoz kollektorov nefti i gaza v vendskom i verkhnevendsko-nizhnnekembriyskom neftegazonosnykh kompleksakh Baykitskoy neftegazonosnoy oblasti (Sibirskaya platforma)* [Prediction of oil and gas reservoirs in the Vendian and Upper Vendian – Lower Cambrian petroleum plays of the Baikit petroleum region (Siberian Platform)]. PhD thesis in geology and mineralogy. Novosibirsk, 2002. 23 p. (In Russ.).

4. Levin F.D. [New data on the structure of trap fields in the southern part of the eastern Siberia from airborne geophysical survey]. *Sovremennye aerogeofizicheskie metody i tekhnologii – Modern airborne geophysical methods and technologies*. 2009, iss. 1, vol. 1. (In Russ.).

5. Migurskiy A.V. *Diz'yunktivnaya tektonika i neftegazonosnost' platformennykh oblastey (na primere yuga Sibirskoy platformy)* [Disjunctive tectonics and petroleum content of platforms]. Doctoral thesis in geology and mineralogy. IPGG SB RAS, Novosibirsk, 1997. 40 p. (In Russ.).

6. Puzyrev N.N. *Metody i ob'ekty seysmicheskikh issledovaniy. Vvedenie v obshchuyu seysmologiyu* [Methods and targets of seismic survey. Introduction to general seismology]. Novosibirsk, NITs OIGGM Publ., 1997. 301 p. (In Russ.).

© С. В. Котова, Г. Д. Ухлова, Е. Г. Келлер, И. В. Литаврин, 2015

КОТОВА Светлана Викторовна, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, геофизик I кат. E-mail: kot_afonina@mail.ru

УХЛОВА Галина Дадар-ооловна, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, к. г.-м. н., начальник Сибирского центра обработки, интерпретации и экспертизы геофизических данных. E-mail: ukhlovag@sniiggims.ru

КЕЛЛЕР Елена Геннадьевна, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, вед. геолог. E-mail: ukhlovag@sniiggims.ru

ЛИТАВРИН Илья Владимирович, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, геофизик I кат. E-mail: ukhlovag@sniiggims.ru

KOTOVA Svetlana, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: kot_afonina@mail.ru
UKHLOVA Galina, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: ukhlovag@sniiggims.ru

KELLER Elena, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: ukhlovag@sniiggims.ru
LITAVRIN Ilya, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: ukhlovag@sniiggims.ru