



УДК (551.243:550.834.05):553.982.23(571.5-14)

ВЫДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЛОВУШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АНГАРСКОЙ ЗОНЫ СКЛАДОВ (СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА)

М. И. Баранова

Проанализировано геолого-тектоническое строение осадочного чехла Сибирской платформы в западной части рифейского Иркиннеево-Чадобецкого авлакогена в районе восточной периклинали Иркиннеевского структурного мыса. На Абаканском лицензионном участке выделены клиновидные вдвиги, ориентированные в южном направлении, что указывает на латеральное давление с севера. В районе восточного замыкания Иркиннеевского структурного мыса в пределах Мунтульской площади пройдена сеть сейсмических профилей. Их интерпретация позволила подтвердить крупное поднятие, проявленное по нижним горизонтам осадочного чехла и выраженное в гравиметрическом поле контрастными положительными значениями. Изучение морфологии сейсмического облика Бичилейского поднятия и анализ парагенеза структур Ангарской зоны складок позволили предположить, что природа этого поднятия связана с латеральным отклонением выделенного субширотного правого сдвига влево и формированием дуплекса сжатия. Клиновидное строение осадочной толщи может объясняться сближением жестких блоков земной коры – Байкитского и Богучано-Манзинского и, как следствие, «выжиманием» рифейских толщ к югу и северу от субширотной шовной зоны авлакогена с образованием вдвигов и надвигов. Опыт изучения клиновидного вдвига на Абаканском месторождении показывает высокую значимость таких структур для газовой геологии и позволяет считать прилегающие районы потенциально перспективными на обнаружение структурных ловушек углеводородов вдвигового типа.

Ключевые слова: Иркиннеевский структурный мыс, клиновидные вдвиги, складчато-покровное строение, зона сдвига, структурные ловушки углеводородов.

DOI 10.20403/2078-0575-2016-1-36-43

IDENTIFICATION OF STRUCTURAL TRAPS OF HYDROCARBONS BASED ON INTERPRETATION OF SEISMIC DATA FROM THE WESTERN ANGARA ZONE OF FOLDINGS (SIBERIAN PLATFORM)

M. I. Baranova

In the paper, the author analyses the geological-tectonic structure of the Siberian Platform sedimentary cover in the western part of the Irkineeva-Chadobets aulacogen within the eastern pericline of the Irkineeva structural nose. At the Abakansky license block there are southward-trending intercutenous wedges, which indicate lateral pressure from the north. Within the western termination of the Irkineeva structural nose in the Muntulskaya area there is an explored network of seismic profiles. Their interpretation enabled identification of a large high revealed from the lower horizons of the sedimentary cover and marked by contrast positive values in the gravimetric field. Study of seismic morphology of the Bichiley high as well as analysis of paragenesis of structures of the Angara zone of folding suggest that the nature of the high is associated with the lateral leftward trending of the identified sublatitudinal right shift and formation of compression duplex. The wedge-form structure of the sedimentary succession may be explained by the convergence of rigid Earth's crust blocks—Baikit and Boguchany-Manza—and, consequently, “forcing-out” of the Riphean strata southwards and northwards from the sublatitudinal suture zone of the aulacogen with the formation and tectonic wedges and overthrusts. Previous study of the intercutenous wedge at the Abakanskoye field has revealed the high relevance of such structures in geological exploration for gas and indicates the adjacent areas as promising for wedge-type structural traps of hydrocarbons.

Keywords: Irkineeva structural nose, intercutenous wedges, fold-sheet structure, displacement zone, structural traps of hydrocarbons.

Складчатая система Енисейского кряжа в зоне сочленения с Сибирской платформой образует входящий угол в виде Иркиннеевского структурного мыса, который является частью субширотного Иркиннеево-Чадобецкого авлакогена, выделенного Ю. А. Косыгиным и др. [3] по отложениям рифея (рис. 1). Далее эта линейная депрессия продолжается на восток и в районе Ковинской излучины р. Ангара образует тройное сочленение, разделя-

ясь на южную Братскую и северную Ванаварскую ветви [4]. Авлакоген представляет собой мобильную зону, разграничивающую жесткие блоки: Байкитский с севера, Богучано-Манзинский с юга, Ангаро-Анабарский с востока (см. рис. 1). В его пределах выделяются контрастные складки субширотного простирания. Это Ангарская зона складок (АЗС), с которой связаны открытые газовые (Имбинское, Агалеевское, Абаканское) и газоконденсатные (Бе-

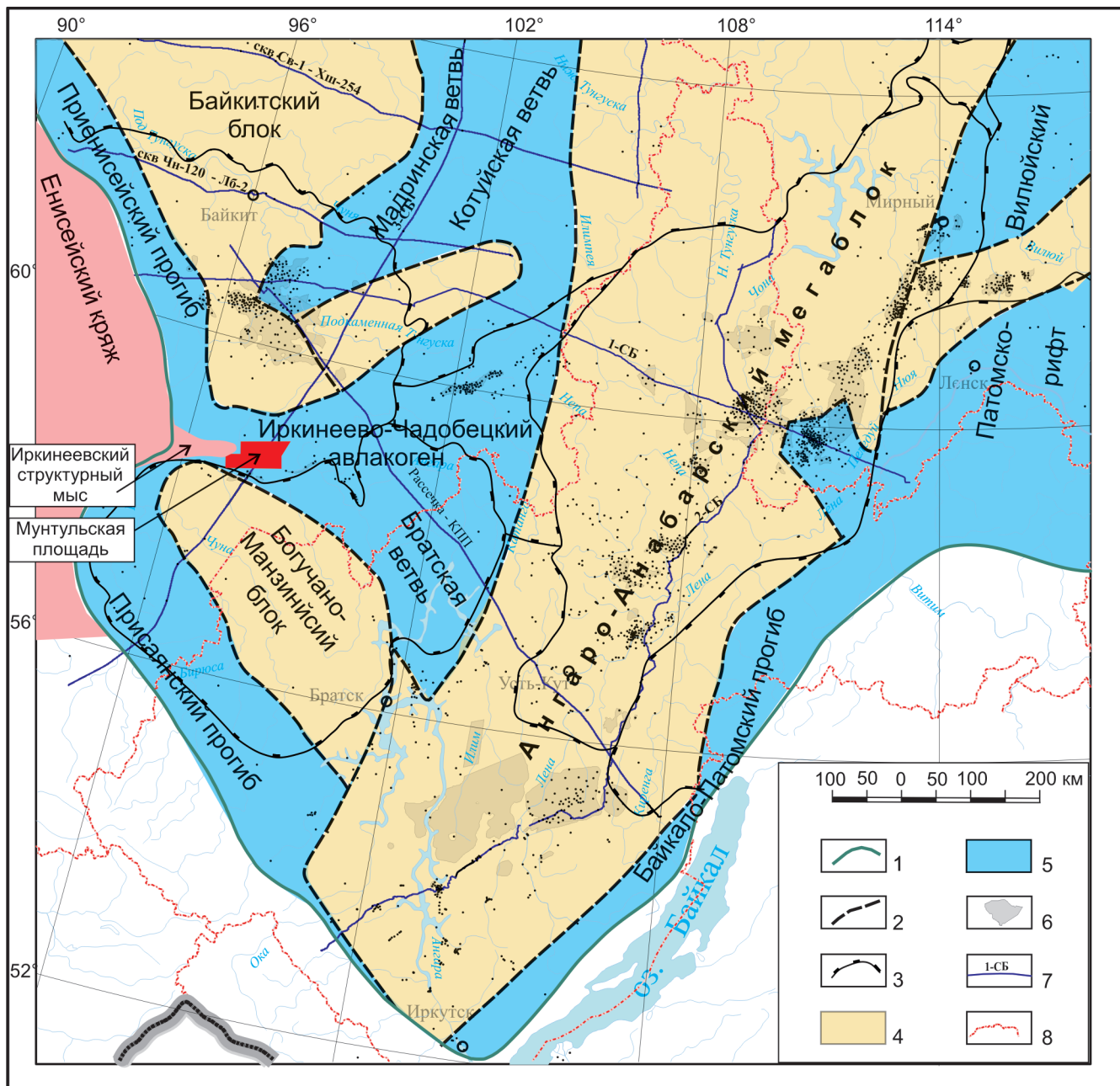


Рис. 1. Неопротерозойская геодинамическая карта юга Лено-Тунгусской НГП (по А. В. Мигурскому и др., 2014), с упрощениями и дополнениями

Границы: 1 – Лено-Тунгусской НГП, 2 – основных структур неопротерозоя, 3 – современных надпорядковых структур по кровле венда; основные структуры неопротерозоя: 4 – жесткие блоки, 5 – мобильные зоны, 6 – месторождения углеводородов, 7 – опорные и региональные сейсмические профили; 8 – административные границы

рямбинское, Ильбокичское) месторождения. Выявленное сравнительно недавно Абаканское месторождение самое западное в АЗС и пока единственное в левобережье р. Ангара. Непосредственно к северу от него находится восточное замыкание Иркинеевского структурного мыса, генетическую связь которого с АЗС исследователи предполагали еще в середине прошлого века [1]. На его восточном продолжении расположен Мунтульский участок, в пределах которого в 2013–2014 гг. ОАО «Удмуртгеофизика» были проведены работы МОГТ-2D. Полученные данные обработаны специалистами СНИИГГиМС. Всего было пройдено 16

профилей, ориентированных как в меридиональном, так и в субширотном направлении. Их интерпретация существенно приблизила исследователей к познанию геодинамической обстановки этой части АЗС, а возможность неоднозначной трактовки генезиса выявленных структур дала пищу для размышлений.

С точки зрения автора, для того чтобы приблизиться к пониманию происхождения структур, выделенных на основе интерпретации сейсмических профилей в районе Мунтульской площади, необходимо знать геолого-тектоническую ситуацию во всем регионе. Поэтому далее кратко охарактери-

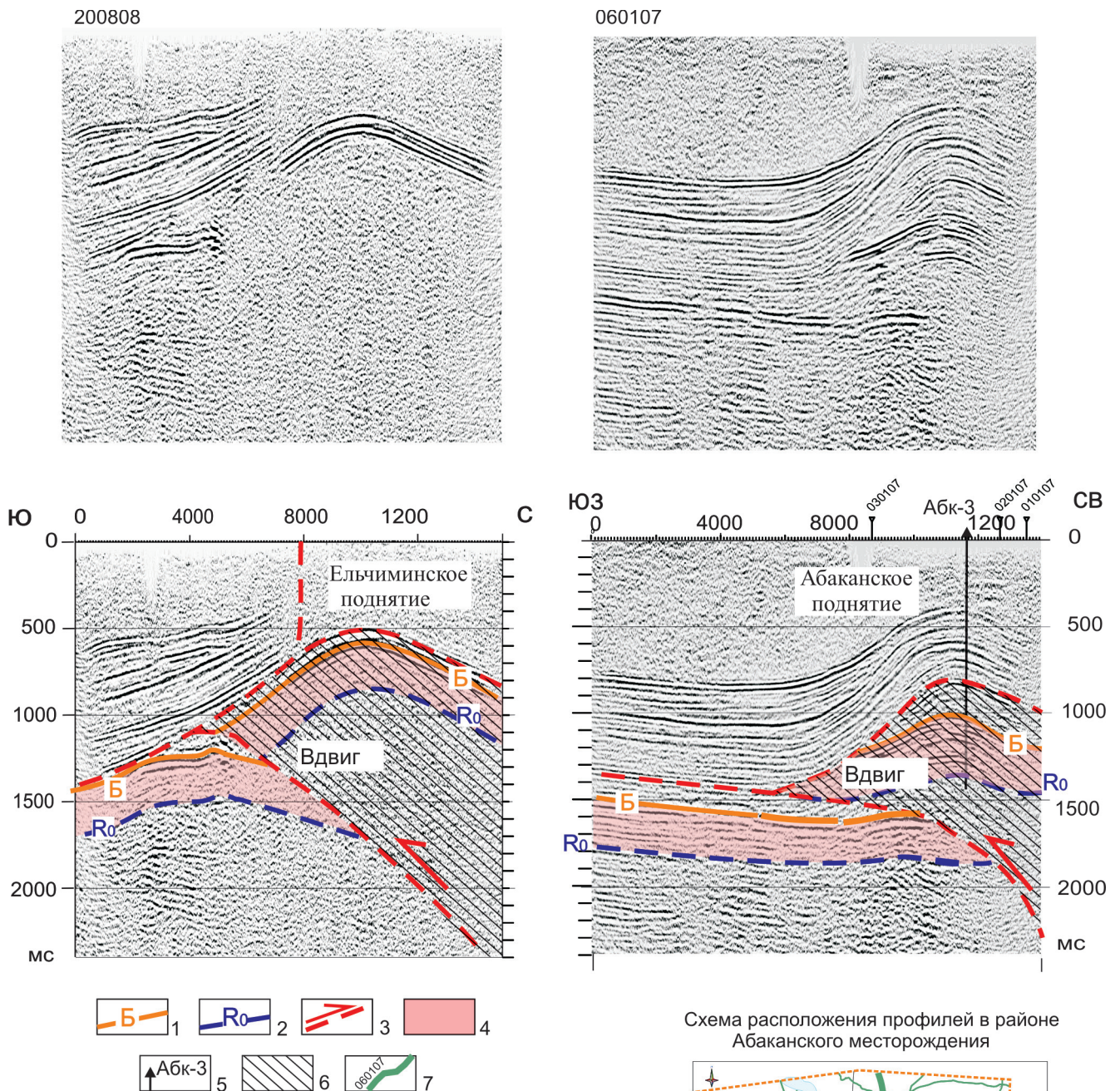
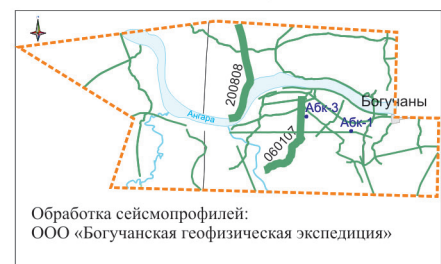


Рис. 2. Абаканская площадь. Структурные ловушки углеводородов, образованные вдвигами в рифей-венд-кембрийской толще. Временные сейсмические профили с элементами интерпретации (обработка ООО «Богучанская геофизическая экспедиция», 2011)

Схема расположения профилей в районе Абаканского месторождения



Обработка сейсмoproфилей:
ООО «Богучанская геофизическая экспедиция»

Сейсмические отражающие горизонты: 1 – подошва кембрийских отложений, 2 – кровля рифея; 3 – предполагаемые разрывы с указанием направления движения толщи; 4 – отложения венда; 5 – глубокие скважины и их номера; 6 – вдвиги; на врезке: 7 – проинтерпретированные сейсмические профили и их номера

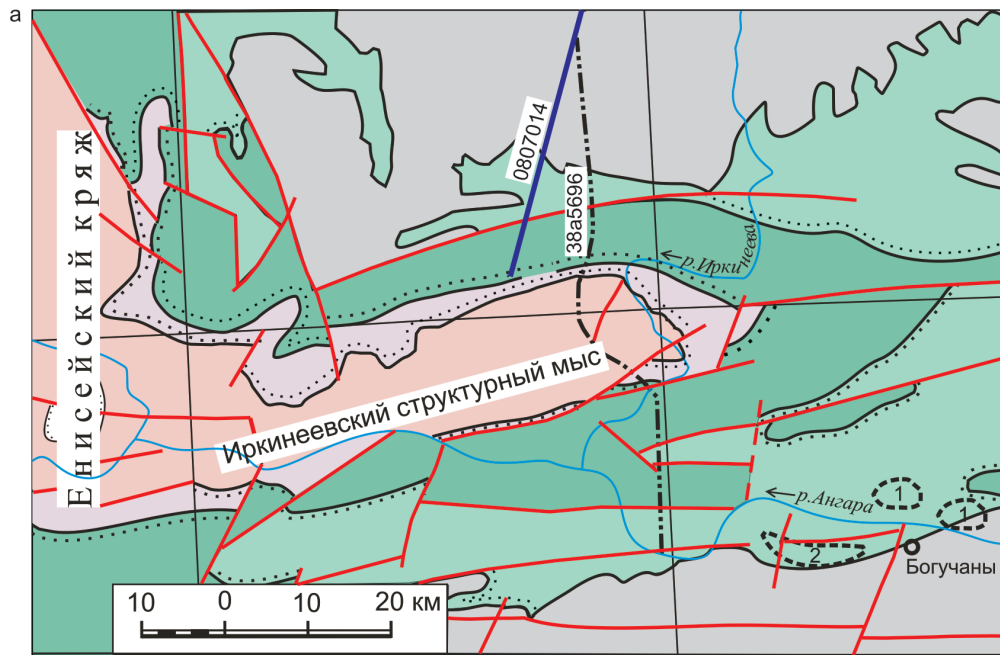
зовано строение осадочного чехла в исследуемой части Сибирской платформы.

С юга изучаемая площадь граничит с Абаканским лицензионным участком, в пределах которого пробурены глубокие скважины и пройдены сейсмические профили. Анализ сейсмических образов выявил в рифей-венд-кембрийской части осадочного чехла клиновидные структуры, вдвинутые в осадоч-

ную толщу в южном направлении (рис. 2). С одной из таких положительных структур здесь связана крупнейшая газовая залежь.

Таким образом, в южном обрамлении восточного замыкания Иркинеевского структурного мыса развиты клиновидные вдвиги.

Интерпретация сейсмических профилей в северном обрамлении Иркинеевской структуры



08_07_014

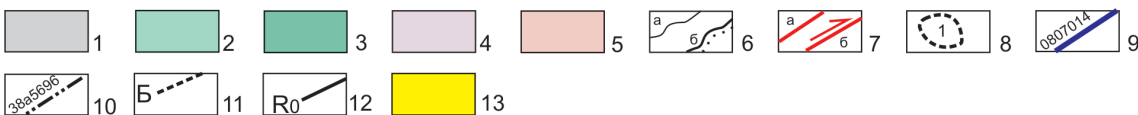
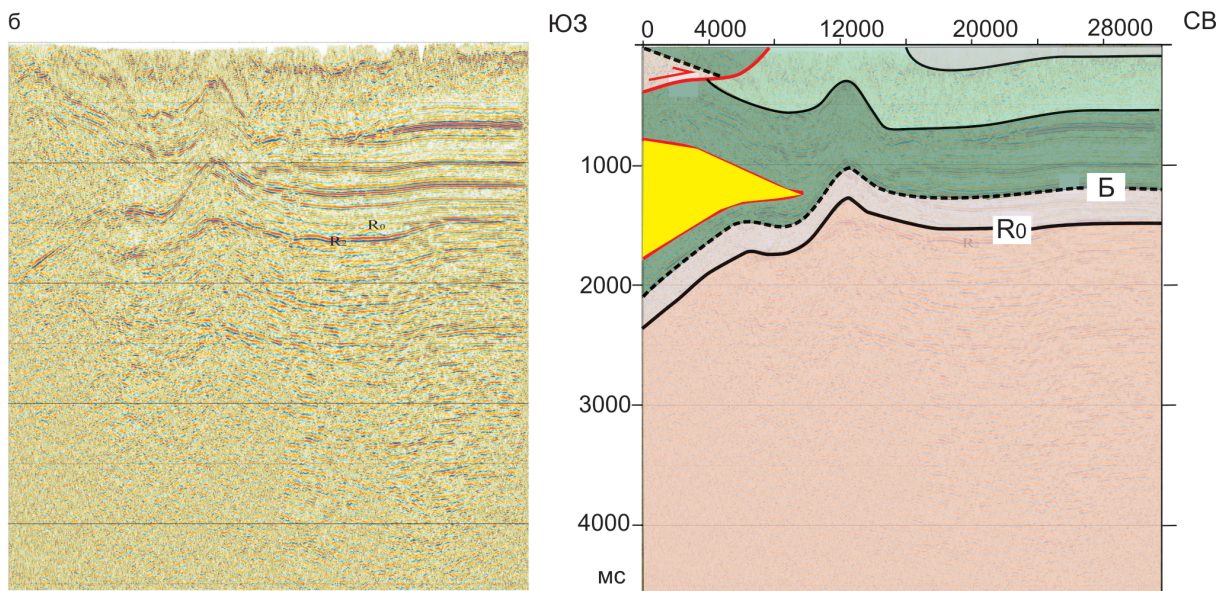


Рис. 3. Схематическая геологическая карта Иркинеевского структурного мыса м-ба 1:1 000 000 (сост. Е. К. Ковригина и др., 1974) (а) и разрез по профилю 08_07_014 с элементами геолого-геофизической интерпретации (б) (обработка ЗАО «Красноярскгеофизика»)

Отложения: 1 – ордовикские, каменноугольные, пермские, триасовые; 2 – средне-верхнекембрийские, 3 – нижнекембрийские; 4 – вендские; 5 – рифейские; 6 – геологические границы: а – согласные, б – несогласные; 7 – дизъюнктивные нарушения, в том числе (а) надвиги; 8 – газовые месторождения: 1 – Имбинское, 2 – Абаканское; 9, 10 – сейсмические профили и их номера; 11 – сейсмический отражающий горизонт Б – подошва кембрия; 12 – сейсмический отражающий горизонт R₀ – подошва венда; 13 – вдвиг

предполагает, что и в этой зоне образование складок и разрывов тоже связано с тангенциальным сжатием субмеридионального направления. Здесь в венд-кембрийской толще также развиты вдвиги с ориентировкой вдвигового клина на север. Кроме

того, в самой верхней части разреза предполагается надвиг аналогичной ориентировки (рис. 3).

Еще в начале XXI в. через Иркинеевский структурный мыс был пройден субмеридиональный сейсмический профиль 38a_56_96 (см. рис. 3), обра-

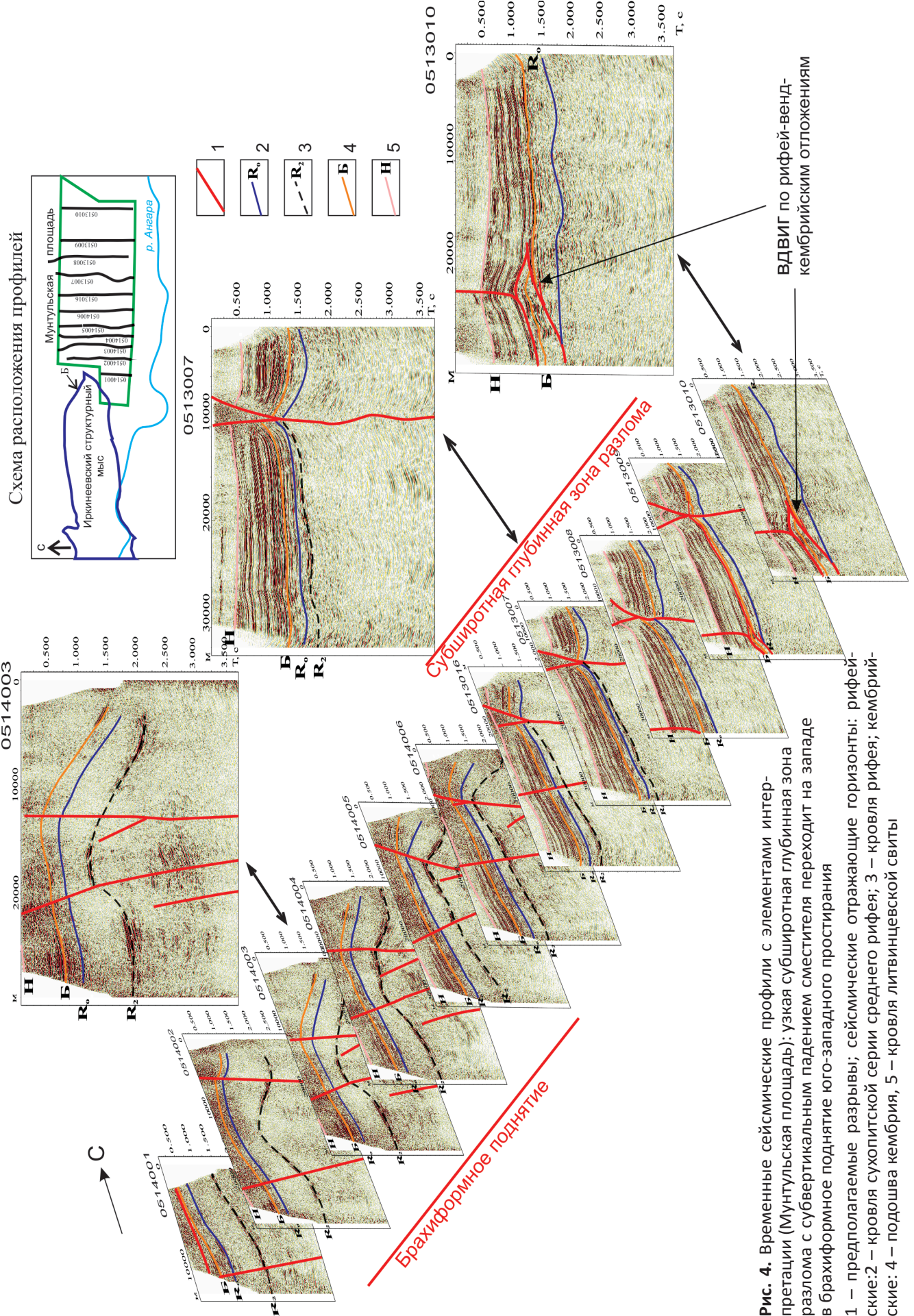


Рис. 4. Временные сейсмические профили с элементами интерпретации (Мунтульская площадь): узкая субширотная глубинная зона разлома с субвертикальным падением сместителя переходит на западе в брахиформное поднятие юго-западного простирания

1 – предполагаемые разрывы; сейсмические отражающие горизонты: рифейские; 2 – кровля сухопелитской серии среднего рифея; 3 – кровля рифея; кембрийские; 4 – подошва кембрия, 5 – кровля литвинцевской свиты



ботанный в СНИИГГиМС. Трудность его интерпретации заключается в хаотической записи штрихового поля той части разреза, где породы рифея выходят на дневную поверхность. Условия сжатия в этой зоне подтверждаются характерным пакетом отражений с торцовым сочленением, описывающим зоны древнего и современного сжатия. Это так называемая крокодиловая тектоника, напоминающая

концепцию чешуйчатой тектоники или тектоники клиньев [5].

Анализ сейсмических образов профилей, пройденных с южной и северной сторон от Иркинеевского структурного мыса, предполагает, что наиболее приближена к реальности «грибовидная» форма изучаемой структуры, образованная в результате выжимания осадочной толщи в условиях сжатия.

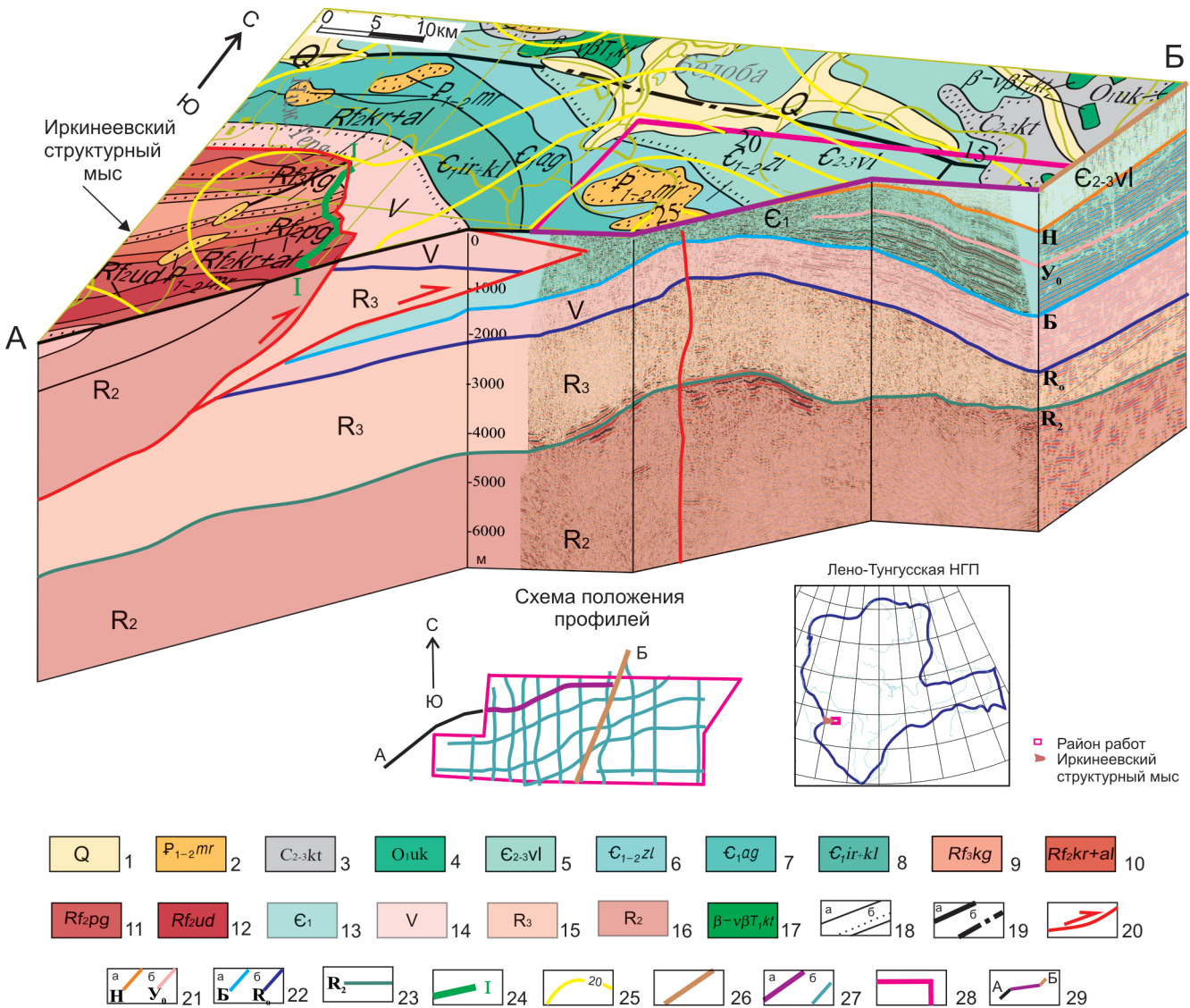


Рис. 5. Модель строения осадочного чехла в зоне восточного выклинивания Иркинеевского структурного мыса (составлена на основе геологической карты м-ба 1:1 000 000, В. К. Зуев, О. Ю. Перфилова, 2012, с упрощениями)

Отложения: 1 – квартер; 2 – палеогеновые, мурожнинская свита; 3 – карбоновые, катская свита; 4 – ранний ордовик, устькутская свита; 5 – средний – поздний кембрий, верхоленская свита; **по данным геолсъемки:** 6 – ранний – средний кембрий, зеледеевская свита; ранний кембрий: 7 – агалеевская свита, 8 – иркинеевская и климинская свиты объединенные; 9 – поздний рифей, красногорская свита; средний рифей: 10 – свиты Карточки и аладынская объединенные, 11 – погорюйская свита, 12 – удерейская свита; **по каталогу свитных границ в разрезах глубоких скважин Красноярского края:** 13 – ранний кембрий; 14 – венд; 15 – поздний рифей; 16 – средний рифей; 17 – ранний триас, катангский комплекс интрузий габбро-долеритовый; 18 – геологические границы: а – между разновозрастными подразделениями, б – несогласного залегания; разрывные нарушения: 19 – на геологической карте: а – достоверные, выходящие на поверхность, б – скрытые под четвертичными образованиями; 20 – предполагаемые надвиги и сдвиг; сейсмические отражающие горизонты: 21 – подошва верхоленской свиты (а), кровля усольской свиты (б); 22 – подошва кембрия (а) и венда (б); 23 – внутририфейский отражающий горизонт; 24 – линия простираения изученных обнажений по р. Иркинеева; 25 – изолинии гравитационного поля, мГал; 26 – фрагмент регионального сейсмического профиля «Алтай – Северная Земля»; 27 – сейсмический профиль 0514015; 28 – контур Мунтульской площади; 29 – линия композитного разреза



На региональном сейсмическом профиле «Алтай – Северная Земля» в районе Мунтульской площади хорошо выражена субвертикальная зона разлома, которая на субмеридиональных профилях Мунтульского участка имеет аналогичный сейсмический образ (рис. 4). Эта узкая глубинная структура в верхней части напоминает «пальмовое дерево», что является типичным признаком сейсмического облика сдвигов в условиях сжатия [7]. В районе профиля 0513016 сейсмический образ этой тектонической зоны начинает меняться, и она постепенно переходит в брахиформное поднятие, слабо вытянутое в юго-западном направлении. Еще в 1960-х гг. по данным гравиметрических работ здесь был выявлен эпицентр интенсивной положительной гравитационной аномалии, которая не отражается в верхней части осадочного чехла. Выделенное таким образом Бичилейское поднятие геологи предположительно связали с блоковым поднятием фундамента [2]. Брахиформное поднятие, хорошо выраженное в сейсмическом образе, находится в пределах этой аномалии. Оно более четко прослеживается по внутририфейскому отражающему горизонту R_2 . В соответствии с принятой интерпретацией горизонта R_0 , отождествляемого с кровлей рифея, амплитуда поднятия по нему составляет не менее 500 м, размер ориентировочно 21×7 км. Центральная часть поднятия нарушена субвертикальной зоной разлома с расходящимися ветвями в верхней части. По гравиметрическим данным конфигурация аномалии имеет форму, характерную для разрыва в зоне правого сдвига. В этом случае Бичилейское поднятие обусловлено образованием дуплекса за счет тангенциального сжатия при латеральном отклонении сдвига влево.

На субширотных профилях в западной части Мунтульской площади четко прослеживается внутририфейский отражающий горизонт R_2 , который условно сопоставляется с кровлей сухопитской серии среднего рифея. Это обусловлено его корреляцией с аналогичным отражающим горизонтом на региональном сейсмическом профиле «Алтай – Северная Земля». На всех субширотных профилях видно, что при приближении горизонта R_2 к Иркинскому структурному мысу не происходит его воздымания, как это должно быть при приближении к контрастному поднятию. Напротив, наблюдается его погружение. На взгляд автора, наиболее логичным объяснением этого может быть покровно-надвиговое строение рифейских пород, выходящих на дневную поверхность.

Предлагаемая геолого-тектоническая модель строения зоны восточной периклинали Иркинского структурного мыса предполагает его покровно-складчатое строение с внедрением отложений рифея в виде вдвигов в венд-палеозойскую толщу (рис. 5).

В восточной части Мунтульской площади на сейсмическом профиле 0513010 с высокой степе-

ню достоверности интерпретируется вдвиг пород рифея в нижнекембрийскую толщу (см. рис. 4). Он имеет юго-западное простирание и является структурным продолжением Агалеевской складки, входящей в Ангарскую зону складок. Максимальное сжимающее напряжение ориентировано здесь в северо-западном направлении.

Выводы

Проведенный анализ геодинамической ситуации в западной части Ангарской зоны складок показал, что осадочный чехол здесь имеет сложное строение. Погружение внутририфейского отражающего горизонта R_2 при приближении к Иркинскому структурному мысу позволяет предположить, что породы рифея, выходящие на поверхность непосредственно в центральной части структурного мыса, представляют собой шарьяж.

Сейсмический облик структур, обрамляющих структурный мыс с юга и севера, указывает на вероятность того, что рифейские породы, слагающие его, в среднем – позднем палеозое подверглись «выжиманию» за счет развития сдвига в условиях сжатия. Под действием этих сил к югу от структурного мыса в мобильной зоне Иркинско-Чадобецкого авлакогена происходило внедрение рифей-венд-кембрийских толщ по пластичным горизонтам и образование клиновидных вдвигов. К северу от структурного мыса внедрение тектонических клиньев сопровождалось предположительно надвигами на более высоком стратиграфическом уровне.

Геометрия складок Ангарской зоны сопоставляется с правым сдвигом, где главное сжимающее напряжение ориентировано в направлении с юго-востока на северо-запад. В районе западной части Мунтульской площади субширотный правый сдвиг при приближении к структурному мысу отклоняется влево. В соответствии с теоретическими данными [7] в результате возникающих напряжений образуется дуплекс сжатия, обусловивший контрастное поднятие по среднему – верхнему рифею, которое четко проявлено в гравиметрической аномалии: конфигурация имеет S-образный облик, что косвенно подтверждает предполагаемый генезис поднятия.

Таким образом, в пределах исследованной территории можно выделить два типа антиклинальных структурных ловушек. Первый представлен клиновидными вдвигами рифей-венд-палеозойских пород в венд-палеозойскую осадочную толщу. С ними связана газовая залежь на Абаканском месторождении, а также Ельчиминское, Сользаводское и Богучанское поднятия на западе Абаканского лицензионного участка. Коллекторами, по всей видимости, здесь будут служить вендские терригенные и карбонатные отложения, заключенные между кровельным и подошвенным надвигами во вдвиговом клине, а покрывкой – мощные соленосные отложения кембрия. Не исключено, что поверхность



кровельного надвига также может создавать экран для углеводородов.

Предполагаемое дуплексное Бичилейское поднятие, наиболее четко проявленное по внутририфейскому отражающему горизонту R_2 , может быть перспективным объектом для поиска углеводородов по следующим причинам:

– высокоамплитудность (до 500 м) и значительные (около 21×7 км) размеры антиклинальной структуры;

– тектоническая особенность, связанная с надвигами, которые могут быть как проводящими, так и экранирующими;

– литологический состав рифея в пределах ловушки ниже горизонта R_2 (свиты Карточка и аладинская сухопитской серии), представленный известняками и доломитами, которые могут являться трещинным карбонатным коллектором для углеводородов, а покровом – как кровельный экранирующий надвиг, так и вышележащие глинистые сланцы потоскуйской свиты верхнего рифея.

Глубины перспективных горизонтов в рифее 3,5–4,5 км, поверхность несогласия в подошве венда (отражающий горизонт R_0) на уровне 1,7–1,8 км.

В заключение следует отметить, что данная публикация, основанная преимущественно на интерпретации сейсмических профилей, носит модельный характер. Автор надеется, что дальнейшие исследования в зоне Ангарских складок позволят стратифицировать геологический разрез и понять истинную природу Иркинеевского структурного мыса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Благовещенская, М. Н.** Тектоническое строение Иркинеевского выступа Енисейского кряжа и зоны Ангарских складок [Текст] / М. Н. Благовещенская // Матер. ВСЕГЕИ, нов. сер. – 1960. – Вып. 32. – С. 23–36.
2. **Геологическая** карта СССР. Объяснительная записка. Лист О–47–XIV [Текст]. – Новосибирск; Л.: ВСЕГЕИ, 1976. – 82 с.
3. **Косыгин, Ю. А.** Докембрийская тектоника Сибири [Текст] / Ю. А. Косыгин, А. К. Башарин, Н. А. Берзин. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1964. – 125 с.
4. **Мигурский, А. В.** Геодинамика формирования Нижнеангарской зоны нефтегазоаккумуляции на юго-западе Сибирской платформы [Текст] / А. В. Мигурский, Е. К. Носкова // Геология нефти и газа. – 2007. – № 4. – С. 13–18.

5. **Николаев, В. Г.** Природа и возраст сейсмических отражений в консолидированной континентальной земной коре [Текст] / В. Г. Николаев; отв. ред. А. О. Мазарович. – М.: ГЕОС, 2004. – 99 с.

6. **Новая** модель строения земной коры юга Сибирской платформы по данным глубинного сейсмопрофилирования МОГТ [Текст] / А. В. Мигурский, М. И. Баранова, В. И. Вальчак [и др.] // Модели земной коры и верхней мантии по результатам глубинного сейсмопрофилирования: матер. Междунар. науч.-практ. сем. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. – С. 94–98.

7. **Sylvester, A. G.** Strike-slip faults [Text] / A. G. Sylvester // Bull. Geol. Soc. Am. – 1988. – Vol. 100, N 11. – P. 1666–1703.

REFERENCES

1. Blagoveshchenskaya M.N. *Tektonicheskoe stroenie Irkineevskogo vystupa Eniseyskogo kryazha i zony Angarskikh skladok* [Tectonic structure of the Irkineeva ledge of the Yenisei ridge and the Angara zone of folding]. VSEGEI Proc., new series, 1960, issue 32, pp. 23–36. (In Russ.).
2. *Geologicheskaya karta SSSR. Obyasnitel'naya zapiska. List O-47-XIV* [Geological map of the USSR. Explanatory note. Sheet J-47-XIV]. Novosibirsk, L., VSEGEI Publ., 1976. 82 p. (In Russ.).
3. Kosygin Yu.A., Basharin A.K., Berzin N.A. *Dokembriyskaya tektonika Sibiri* [Pre-Cambrian tectonics of Siberia]. Novosibirsk, SB AS USSR Publ., 1964. 125 p. (In Russ.).
4. Migurskiy A.V., Noskova E.K. [Geodynamics of formation of the Lower Angara petroleum accumulation zone in the southwest of the Siberian Platform]. *Geologiya nefi i gaza – Petroleum Geology*, 2007, no. 4, pp. 13–18. (In Russ.).
5. Nikolaev V.G. *Priroda i vozrast seysmicheskikh otrazheniy v konsolidirovannoy kontinental'noy zemnoy kore* [Nature and age of seismic reflections in the consolidated continental crust]. Publ. ed. Mazarovich A.O. GEOS, 2004. 99 p. (In Russ.).
6. Migurskiy A.V., Baranova M.I., Val'chak V.I., et al. [New crust structure model of the southern Siberian Platform from deep seismic CDP profiling]. *Modeli zemnoy kory i verkhney mantii po rezul'tatam glubinnogo seysmoprofilirovaniya. Materialy Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminara* [Crust and upper mantle models derived from deep seismic profiling. Proc. International research and practice workshop]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2007, pp. 94–98. (In Russ.).
7. Sylvester A.G. Strike-slip faults. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 1988, vol. 100, no. 11, pp. 1666–1703.

© М. И. Баранова, 2016

БАРАНОВА Марина Илларионовна, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. E-mail: baranova@sniiggims.ru

BARANOVA Marina, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: baranova@sniiggims.ru