

ПРОБЛЕМА ВЫДЕЛЕНИЯ РИФТОГЕННЫХ ПРОГИБОВ — ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ АКТИВНОГО НЕФТЕГАЗООБРАЗОВАНИЯ

В.С. Старосельцев

*Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья,
630091, Новосибирск, Красный просп., 67, Россия*

Выделение рифтогенных прогибов не всегда опирается на всю сумму характерных для них геолого-геофизических признаков, что приводит к ошибочному отнесению к ним отрицательных структурных форм, в которых не создается благоприятных условий для активного нефтегазообразования. Рассмотрены наиболее характерные дискуссионные моменты выделения рифтогенных прогибов и обоснована необходимость учета при этом определенной совокупности их диагностических параметров.

Рифт, телескопический грабен, входящий угол, поверхность Моховичича.

IDENTIFYING PALEORIFTS AS PROMISING TECTONIC ELEMENTS FOR ACTIVE OIL AND GAS GENERATION

V.S. Starosel'tsev

The set of geological and geophysical features used to recognize paleorifts is not always complete. As a result, other negative tectonic elements having no favorable conditions for oil and gas generation may be misinterpreted as rifts. The aim of this study was to outline most important controversial aspects in distinguishing paleorift positions and to substantiate the necessity of taking into account a certain combination of their diagnostic features.

Rift, telescopic graben, reentrant, Moho

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении нескольких десятилетий во многих регионах с разной обоснованностью выделяется большое количество рифтогенных прогибов или просто рифтов. Во многом это обусловлено их возможным влиянием на формирование скоплений полезных ископаемых, в первую очередь нефти и газа [Конторович и др., 2007]. Для таких прогибов характерен ряд особенностей строения, начиная от пород выполнения до глубины залегания поверхности Мохо. Набор генетических признаков при их выделении не всегда достаточен, поэтому представляется целесообразным проанализировать такие признаки и отметить их минимум, необходимый для выделения рифтов.

Большинство исследователей относят к рифтам относительно узкие (полосовидные) зоны растяжения и утонения земной коры с широким развитием в верхней части систем субпараллельных разломов сбросового, сбросово-сдвигового и раздвигового типов, образующих ступенчатые (телескопические), нередко асимметричные грабены. При этом часто на поверхности Мохо фиксируется соответствующее по форме и размерам поднятие. Разломы, ограничивающие весь грабен и его внутренние ступени, вниз по разрезу часто выполаживаются, принимая листрический характер. За счет перемещения по листрическим сбросам опущенные блоки приобретают наклон в сторону сместителя.

Рифтогенные структуры отчетливо выражены на многих континентах (Восточно-Африканская система рифтов на африканском континенте, Рейнский грабен и Днепровско-Припятский рифт — на европейском, грабен долины Норманда-Сон и Бомбейского побережья Индии, Иркинцевский, Уджинский и Байкальский в Восточной Сибири — на азиатском, система Уачита — на северо-американском и др.).

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИПИЧНЫХ РИФТОВ

Поскольку Байкальский бассейн по мнению большинства исследователей имеет рифтогенную природу, для выделения аналогичных тектонических элементов в других регионах небезынтересны результаты последних комплексных геолого-геофизических исследований земной коры и верхов мантии в его пределах [Яковлев и др., 2007]. На основании тщательного анализа положения границы Мохо с использованием алгоритма локализации источников сейсмических *P*- и *S*-волн и механизма интерактивной томографической инверсии авторы приходят к выводу о достаточно хорошем соответствии значений глубины поверхности Мохо основным геологическим поверхностным структурам. Так, утолщение коры до 42—

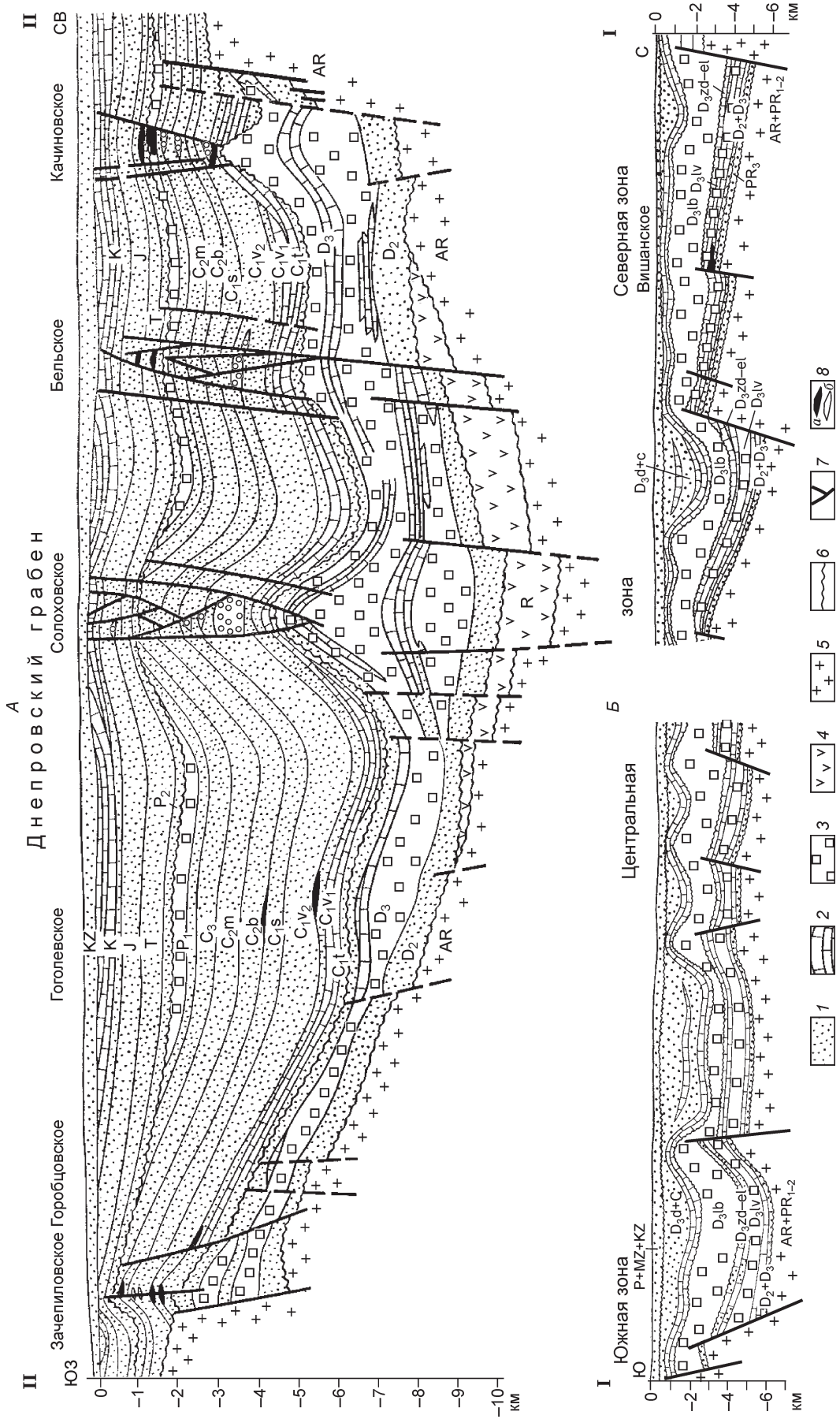


Рис. 1. Геологический профиль:

А — Днепровского прогиба (по В.А. Аверьеву, М.И. Бланку, 1977 г., с добавлениями); *Б* — Припятского прогиба (по материалам трестов «Белнефтегазразведка» и «Белгеофизразведка» [Дикенштейн и др., 1982]).
 Породы: 1 — терригенные, 2 — карбонатные, 3 — соленосные, 4 — туфогенно-эффузивно-осадочные, 5 — фундамента, 6 — несогласное залегание; 7 — разрывные нарушения; 8 — скопления (*а* — нефти, *б* — газа).

46 км характерно для прилегающих к оз. Байкал горных областей Северной Монголии и Приморского хребта на окраине Сибирской платформы, в то время как в Южно-Байкальских впадинах она сокращается до 30—34 км, а на его северо-востоке до 37 км.

Немаловажной для оценки влияния рифтогенеза на интенсификацию процессов нефтегазообразования является и приводимая в рассмотренной статье [Яковлев и др., 2007] информация о тепловом потоке в районе оз. Байкал, равном 75—120 мВт/м², при 38—42 мВт/м² на Сибирской платформе и 40—60 мВт/м² в пределах ее складчатого обрамления.

Важные характеристики рифтогенных прогибов — состав и толщины выполняющих их комплексов пород, среди которых нередко (но не всегда) появляются вулканогенные образования, иногда щелочных базальтоидов, но чаще бимодальные базальт-риолитово-дацитовые, например рифты Восточно-Африканской системы. Многие рифты, называемые «сухими», вообще не сопровождаются вулканизмом. В связи с уступообразными бортами осадочное выполнение рифтов характеризуется не только резкими градиентами толщин, но и грубообломочным фациально изменчивым составом, нередко с появлением пластов солей. По составу и толщинам выполнения рифтов система резко отличается от смежных территорий, которые часто рассматриваются в качестве «плечей» рифта.

Яркий пример рифтогенных структур — Днепровско-Припятский прогиб (рис. 1). Эта вытянутая на 900 км при ширине 70—150 км структура представляет собой типичный ступенчатый (телескопический) грабен субширотной ориентировки с существенной различной суммарной глубиной погружения. В Припятской (западной), меньшей по протяженности (260 км), части фундамент залегает на глубинах 3—6 км (см. рис. 1, А). Нередко поверхности сбросов в ее пределах не вертикальны, а круто наклонены к осевой зоне. Это позволяет предполагать их листрический характер и выполаживание на глубине, что подтверждается глубинными сейсмическими разрезами. Строение его второй части ковшеобразное с погружением шарнира по поверхности фундамента в восточном направлении от 3—4 до 20 км и погружением фундамента на линии профиля (см. рис. 1, Б) до 10—11 км. Строение этой части также ступенчатое грабенообразное, осложненное соляно-купольной тектоникой за счет перетоков нижних девонских солей.

ДИСКУССИОННЫЕ АСПЕКТЫ ВЫДЕЛЕНИЯ РИФТОВ

Перечисленные выше довольно простые структурно-вещественные параметры далеко не всегда лежат в основе выделения конкретных рифтов в различных геологических регионах. В качестве примеров приведем некоторые рифты, выделенные без достаточного обоснования. Один из них приурочен к восточной части древней Сибирской платформы и расположен в среднем течении р. Вилюй, чему посвящено много публикаций. Наиболее известны работы К.К. Левашова [1975] и В.В. Гайдуга [1988].

Охарактеризуем подробнее геологическую ситуацию в этом регионе.

Н.С. Шатский — один из основоположников понятия о рифтах и возникающих на их месте в результате тектонической инверсии авлакогенов («бороздой рожденных»), еще в середине 40-х годов XX в. полагал наиболее вероятными местами зарождения рифтов внутренние (входящие) углы ограничения древних платформ. Выразительным примером этого он считал рифт на продолжении Донбасса на Русской платформе и систему Уачита — на Северо-Американской. Действительно, восточные ограничения Сибирской платформы в бассейне нижнего течения р. Вилюй (левого притока р. Лены) образуют входящий на юго-запад угол, подчеркнутый изгибом Верхоянской складчатой системы позднепалеозойско-мелового возраста (рис. 2). На продолжении этого изгиба на Сибирской платформе располагается обширная (более 300 тыс. км²) Вилюйская гемисинеклиза, выполненная верхнепалеозойско-меловыми терригенными осадками суммарной толщиной более 10 км.

В структурном отношении Вилюйская гемисинеклиза представляет собой типично платформенную депрессию с практически не нарушенными крупноамплитудными сбросами бортами и обширным относительно плоским днищем. Нарастание суммарных толщин разновозрастных отложений, выполняющих гемисинеклизу, к ее килевой зоне очень постепенное. Какие-либо резко градиентные зоны на ее бортах отсутствуют. Поэтому для выделения рифта соответствующего возраста нет никаких оснований, хотя на поверхности Мохо Вилюйской гемисинеклизе соответствует крупное воздымание, несколько смещенное к южному ее борту. Следует заметить, что подобное сочетание глубокого прогибания подошвы осадочных комплексов и подъема поверхности Мохо фиксируется всегда независимо от природы крупного прогибания, что в полной мере согласуется с господствующей на Земле изостазией.

Основной этап формирования Средневилюйского рифта большинство исследователей связывают с девонским периодом, иногда допуская зарождение рифта в позднем докембрии. Определенные основания для выделения столь раннего рифтогенного прогиба у южной границы Сибирской платформы действительно есть. Интенсивно дислоцированные позднедокембрийские (рифейские) комплексы Байкало-Патомского нагорья образуют входящий угол в южном ограничении Сибирской платформы (рис. 3). Но в этих дислокациях вблизи так называемого Джеюктинского выступа участвуют маломощные преимущественно терригенные, реже магматические (базальтовые покровы и трапповые силлы) породы девона. При

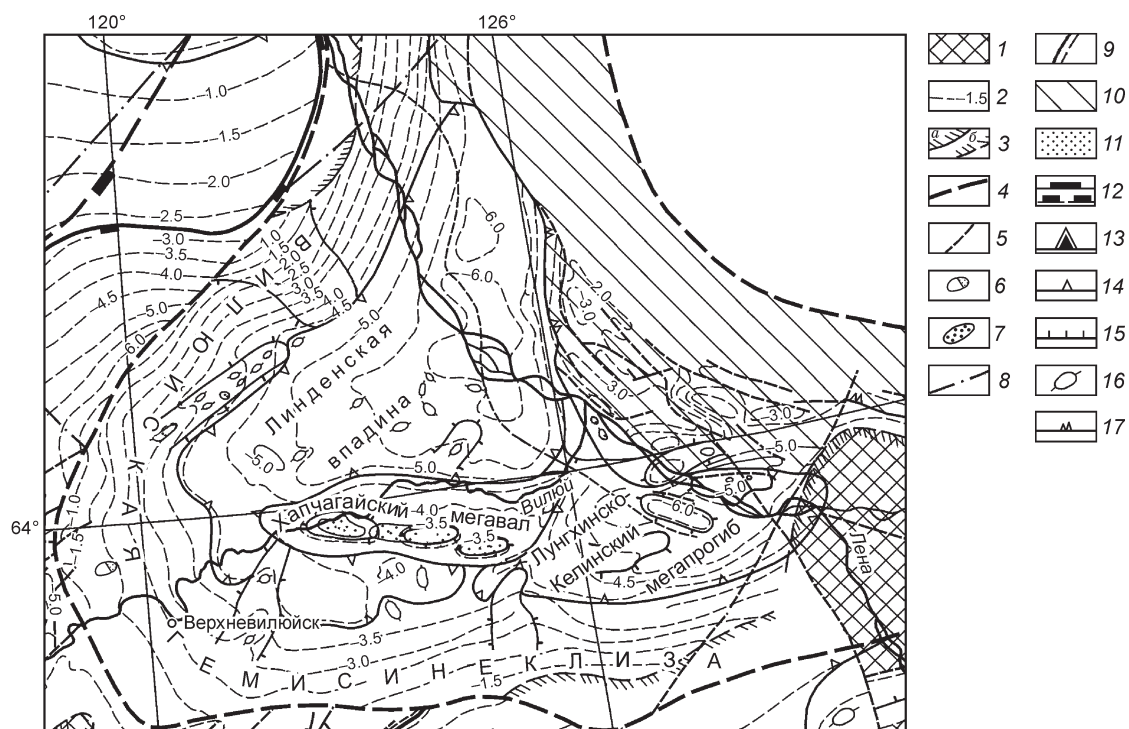


Рис. 2. Вилуйский входящий угол ограничения Сибирской платформы.

1 — выходы кристаллического фундамента на поверхность или под пермские, или юрские отложения; 2 — стратоизогипсы горизонтов венда—кембрия за пределами Вилуйской гемисинеклизы и подошвы триаса внутри Вилуйской гемисинеклизы; 3 — зоны выклинивания терригенных вендских отложений (а) и под более молодыми осадками (б) (Лено-Тунгусская) и триасовых (Хатангско-Вилуйская нефтегазоносная провинция) отложений на поверхности (а) и под более молодыми осадками (б); границы: 4 — нефтегазоносных провинций, 5 — нефтегазоносных и нефтегазоперспективных областей; 6 — локальные поднятия; 7 — газовые месторождения; разрывные нарушения: 8 — основные региональные разломы по геолого-геофизическим данным, 9 — разрывы, установленные геологической съемкой, сейсморазведкой и подтвержденные бурением; зоны: 10 — шарьяжных перекрытий (с контурами структур аллохтона на изученных участках), 11 — интенсивного рифейского прогибания; контуры структур: 12 — надпорядковых (антеклиз, синеклиз, региональных и краевых прогибов, ступеней), пунктир — наложенных отрицательных, 13 — суперпорядковых (мегасводов, мегавыступов, мегавпадин), 14 — I порядка (сводов, мегавалов, выступов, впадин, мегапрогибов), 15 — II порядка (куполовидных поднятий, валов, структурных мысов, котловин, прогибов, структурных заливов); 16 — локальное поднятие; 17 — надвиги.

этом сейсмопрофилями МОГТ не фиксируются увеличенные мощности позднекембрийских и тем более девонских комплексов на продолжении данного входящего угла в тело самой Сибирской платформы. Следовательно, нет оснований для выделения в ее пределах соответствующего рифтогенного прогибания ни в позднем докембрии, ни в девоне.

Увеличенные толщины девона появляются значительно северо-восточнее в пределах Кемпендяйской относительно изометричной впадины площадью 15 тыс. км². Представлены они терригенно-карбонатными отложениями со значительными по толщине пластами каменных солей, нередко образующих соляно-купольные структуры с соответствующим увеличением суммарной толщины соли от 1—3 до 4—6 км. Кемпендяйская впадина не является изолированной структурой Сибирской платформы. Вместе с рядом расположенным на северо-западе также относительно изометричным Сунтарским сводом (выступом) площадью 17 тыс. км² и примыкающей к нему с северо-запада Ыгыаттинской впадиной площадью 25 тыс. км² они образуют своеобразную структурную триаду.

В этой триаде Сунтарское поднятие по поверхности архейско-раннепротерозойского кристаллического фундамента занимает господствующее гипсометрическое положение в пределах $-2.1 \dots -0.3$ км. В смежных впадинах фундамент по разломам северо-восточной ориентировки опускается до 6 км и более в Ыгыаттинской впадине и более 10—12 км в Кемпендяйской. В разрезе осадочного чехла Сунтарского поднятия под маломощным плащом юрских терригенных осадков развиты преимущественно карбонатные породы венда и нижнего кембрия (рис. 4). В Ыгыаттинской впадине, кроме того, наблюдаются карбонатно-терригенные осадки девона и нижнего карбона с включением магматических щелочных пород основного состава. Следовательно, разрезы девонских отложений Кемпендяйской и Ыгыаттинской впадин существенно различаются по суммарной толщине и по вещественному составу.

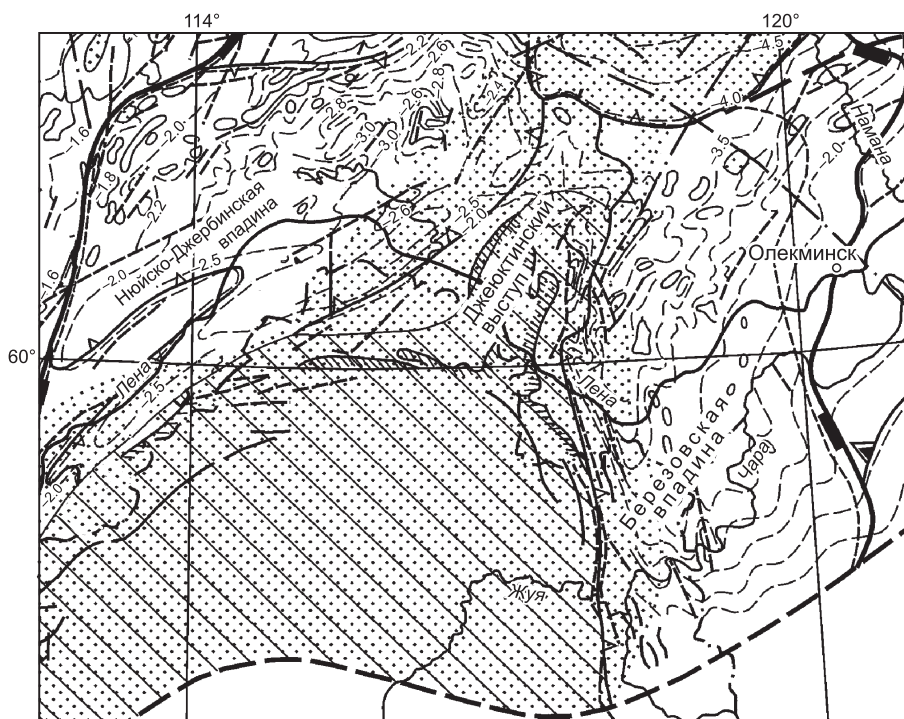


Рис. 3. Байкало-Патомский входящий угол ограничения Сибирской платформы.

Усл. обозн. см. на рис. 2.

В связи с тем, что многие исследователи относят девонские комплексы рассматриваемой структурной триады к рифтогенным, особого внимания заслуживает вопрос о природе магматических образований Ыгыатинской впадины. Сторонники существования Средневиллойского девонского рифта считают их покровами девонских щелочных базальтов, что может служить дополнительным обоснованием при его выделении. При изучении естественных обнажений в среднем течении р. Вилюй действительно создается впечатление, что магматические породы залегают в девонских отложениях в виде покровов базальтов. Это господствующая точка зрения. Однако детальное изучение вещественного состава и вторичных изменений пород, проведенное известным петрологом Г.Д. Феокистовым [1978, 1988], показало, что более вероятны их интрузивная природа (силлы) и пермско-триасовый возраст, присущий трапповой формации Тунгусского бассейна и смежных с ним территорий. Рассмотрим, насколько анализируемая триада отвечает другим типичным для рифтов характеристикам. Общая их форма обычно узкая, полосовидная. Средневиллойская триада состоит из относительно изометричных структур, которые в совокупности образуют еще более изометричную область, слегка вытянутую на северо-запад перпендикулярно их осям. Попытки удлинить эту систему на северо-восток в глубоко погруженную Вилюйскую гемисинеклизу не аргументированы однозначно, так как вскрытые отдельными скважинами девонские отложения не укладываются в полосовидные зоны по простиранию Ыгыатинской и Кемпендяйской впадин.

Второй весьма важный структурный признак рифтогенных прогибов — наличие ступенеобразно погруженных к их центру блоков (телескопических, иногда асимметричных грабенов) в Средневиллойской триаде наблюдается в прямо противоположном варианте. По разрывам, параллельным северо-западному борту Ыгыатинской и юго-восточному Кемпендяйской впадин, происходит не опускание расположенных ближе к центру блоков, а, наоборот, их подъем. Подобная картина сохраняется вплоть до Сунтарского поднятия (см. рис. 4), воздымание которого по разрывам, отделяющим его от смежных с северо-запада и юго-востока впадин, максимальное, достигая по фундаменту 6 и 12 км соответственно.

Таким образом, по особенностям геологического строения Средневиллойская триада структур вряд ли может рассматриваться как рифтогенная. Это заставляет искать иную модель, объясняющую возникновение подобных структур. К сожалению, прямые и тем более хорошо изученные их аналоги трудно подобрать в других геологических регионах. Можно лишь предполагать, что механизм формирования структур подобного типа существенно отличается от рифтогенеза. В основе последнего лежит растяжение в линейной зоне, что способствует формированию на поверхности заполняемого осадками линейного телескопического грабена с одновременным подъемом поверхности Мохо, обеспечивающим изостатическое выравнивание. Вероятнее всего, первопричиной формирования Средневиллойской триады был

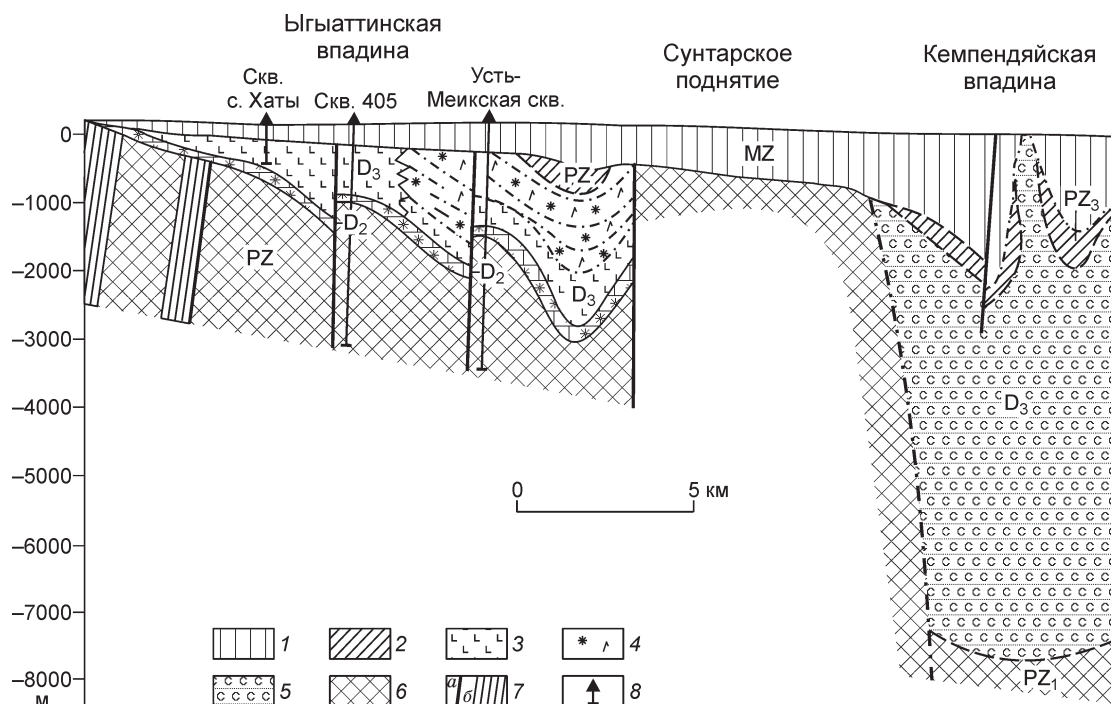


Рис. 4. Принципиальная схема строения Средневилюйской структурной триады.

Породы: 1 — терригенные, 2 — терригенные угленосные, 3 — эффузивные, 4 — глинисто-карбонатные, глинистые, 5 — соленосные, 6 — карбонатные; 7 — разрывы (а) и их зоны (б); 8 — скважины.

относительно небольшой плюм, который располагался несколько восточнее Ыгыаттинской впадины и, поднявшись из мантии к поверхности Мохо, обусловил ее подъем с соответствующим (согласно законам изостазии) погружением дневной поверхности и накоплением компенсирующих осадков девонского возраста. При этом расположение поднятия поверхности Мохо свидетельствует скорее о его компенсации в пермско-меловое, а не в девонское время.

Средневилюйская впадина, компенсирующая плюм, видимо, была относительно изометричной и охватывала территорию всех трех перечисленных структур. В пересечении с северо-запада на юго-восток она была, возможно, асимметричной с депоцентром прогибания вблизи кия современной Кемпендйинской впадины. Фациальные переходы между разрезами последней и Ыгыаттинской впадины, видимо, располагались на территории современного Сунтарского свода, который в то время не существовал в виде положительной формы рельефа.

В результате остывания и сокращения объема плюма могло начаться оседание его поверхности на границе Мохо, что и привело к инверсии тектонических движений в близповерхностных горизонтах с формированием блоковых воздыманий с максимальной амплитудой в районе Сунтарского свода. К ее бортам амплитуды блоковых воздыманий ступенчато сокращались, что и привело к наблюдаемой картине нетипичного для рифтов перемещения внутренних блоков.

В качестве примера дискуссионности выделения рифтогенных структур в статье [Дивина, Старосельцев, 1989] рассмотрена геологическая ситуация на территории Енисей-Хатангского регионального прогиба северо-запада Сибирской платформы.

АНГАРО-КОТУЙСКИЙ РИФТОГЕННЫЙ ПРОГИБ

Значительно больше оснований для выделения рифтогенных прогибов на Сибирской платформе в начале накопления ее чехла.

Выделение глубоких рифейских прогибов во внутренних районах Сибирской платформы всегда было связано, в первую очередь, с внутренними (по Н.С. Шатскому) углами ее границ, на продолжении которых могли закладываться рифтогенные структуры. Наиболее аргументировано выделение Иркине-евско-Чадобецкой впадины на продолжении южной (Приангарской) части Енисейского кряжа, Уринской — на продолжении Патомского нагорья и Уджинской — на продолжении Суханской впадины, разделяющей Анабарский и Оленекский своды Анабарской антеклизы. Предположительно выделялся

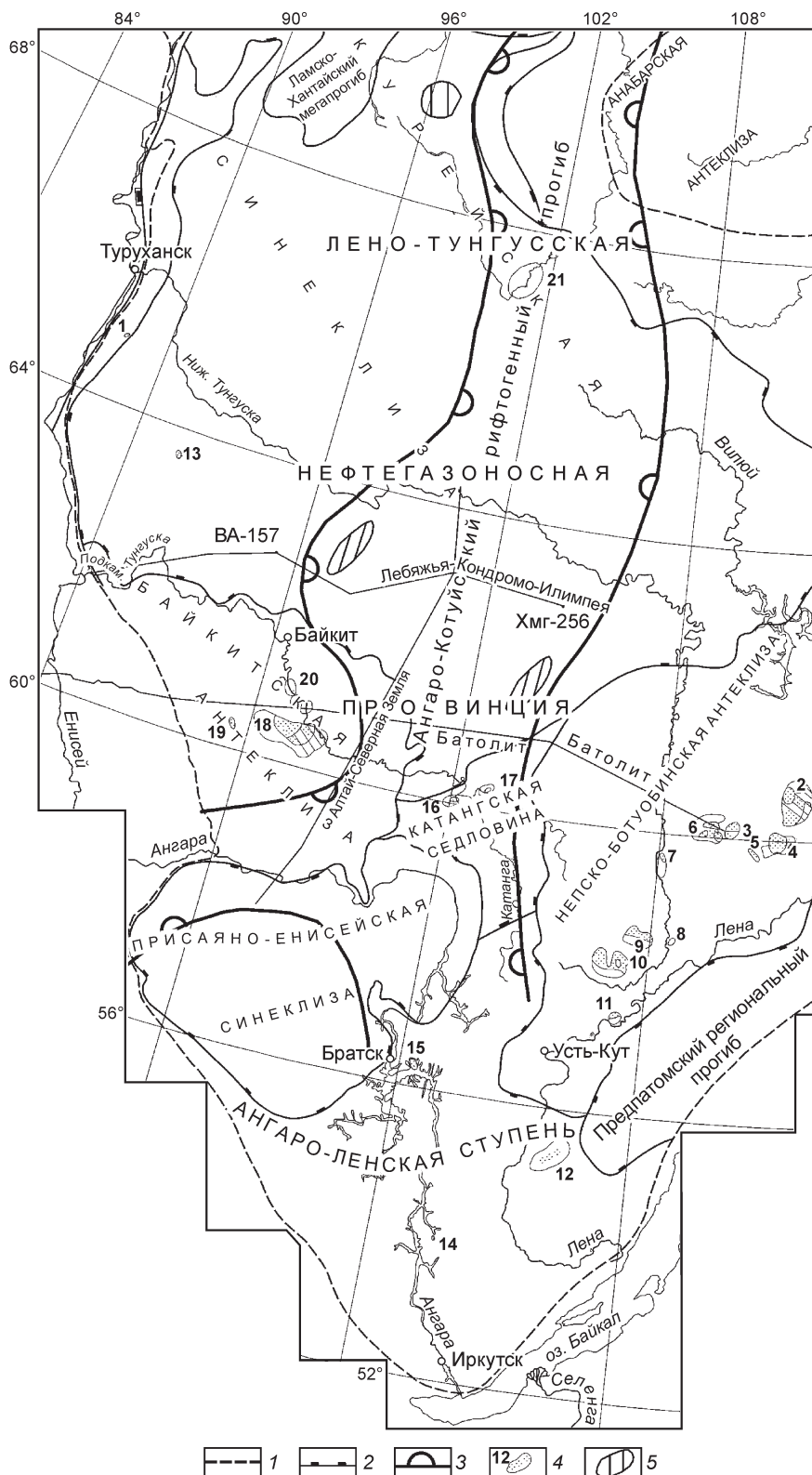


Рис. 5. Схема Ангаро-Котуйского рифтогенного прогиба.

1 — границы Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции; 2 — надпорядковые структуры; 3 — предполагаемая граница Ангаро-Котуйского рифтогенного прогиба; 4 — месторождения (1 — Подкаменное, 2 — Чаяндинское, 3 — Тымпучиканское, 4 — Талаканское, 5 — Таранское, 6 — Верхнечонское, 7 — Даниловское, 8 — Пильдинское, 9 — Дулисьминское, 10 — Аянское, 11 — Марковское, 12 — Ковыктинское, 13 — Моктаконское, 14 — Атовское, 15 — Братское, 16 — Собинское, 17 — Пайгинское, 18 — Юрубченское, 19 — Оморинское, 20 — Куюмбинское; 21 — Чириндинская площадь); 5 — участки, перспективные на обнаружение крупных скоплений УВ.

глубокий (свыше 1.5—2.0 км) рифейский (синийский) прогиб в зоне сочленения Анабарской антеклизы и Тунгусской синеклизы в бассейне нижнего и среднего течений р. Котуй [Калинко, 1959, 1964].

Современные сейсморазведочные материалы позволяют в первом приближении трассировать (рис. 5) единый глубокий рифейский прогиб от выделенного ранее [Косыгин и др., 1964] Иркинеевско-Чадобецкого авлакогена в низовьях Ангары через верховья р. Подкаменная Тунгуска и ее междуречье с р. Нижняя Тунгуска вплоть до среднего и нижнего течений р. Котуй. По конечным географическим пунктам его целесообразно назвать Ангаро-Котуйским. Кратко охарактеризуем геолого-геофизические данные [Рудницкая и др., 2008], позволяющие рассматривать его как единую региональную структуру, скорее всего, рифтогенной природы.

В бассейне нижнего течения р. Ангара существование глубокого рифейского рифтогенного прогиба подтверждено опорным региональным профилем Алтай—Северная Земля и рассечкой к нему через Чадобецкое поднятие. На самом опорном профиле результаты сейсморазведки МОГТ до поверхности Мохо позволили проследить нарушенные сбросами отражающие горизонты, вероятнее всего, приуроченные к рифейскому комплексу до глубин свыше 15 км. На рассечке к пос. Кежда на р. Ангара также зафиксировано глубокое погружение рифейских горизонтов увеличенной суммарной толщины в юго-восточном направлении. Далее к северу от пос. Кежда увеличенная толщина рифейских отложений наблюдается на опорном региональном профиле Батолит и региональном профиле сейсморазведки МОГТ по линии Илимпейская скв. 256 (на востоке) — Лебяжинская площадь (на западе в устьевой части р. Подкаменная Тунгуска). По существу, глубокий рифейский прогиб расположен между северо-восточным склоном Байкитской антеклизы и северо-западным Непско-Ботуобинской.

Ориентировочные границы Ангаро-Котуйского рифтогенного прогиба отражены на рис. 5. Севернее линии профиля Илимпейская скв. 156—Лебяжинская площадь наличие глубокого рифейского прогиба, помимо реконструкций изопахит нижнесинийских отложений [Калинко, 1959] для нижнего течения р. Котуй, подтверждается результатами сейсморазведки МОГТ на Чириндинской площади в ее среднем течении и на композитных профилях от нее на юг до р. Нижняя Тунгуска.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многие из рассмотренных выше особенностей строения рифтогенных прогибов, безусловно, могут оказывать весьма существенное влияние на активизацию процессов нефтегазообразования. В первую очередь такое влияние тесно связано с характерным для большинства рифтогенных прогибов повышенным тепловым потоком недр в их пределах. В случаях крупнообъемного выполнения рифтогенных прогибов осадочными породами с высоким содержанием органического вещества активность нефтегазообразования значительно усиливается. При этом происходит значительное обогащение углеводородами перекрывающих рифтогенные прогибы перспективных для накопления углеводородов резервуаров. Наличие нефтегазоматеринских пачек в перекрывающих отложениях над рифтами обуславливают за счет повышенного теплового потока существенную активизацию процессов нефтегазообразования и возрастание общего углеводородного потенциала региона в целом.

ЛИТЕРАТУРА

Гайдук В.В. Виллойская среднепалеозойская рифтовая система. Якутск, ЯФ СО АН СССР, 1988, 126 с.

Дивина Т.А., Старосельцев В.С. Прогноз структурно-формационных особенностей доюрских отложений Енисей-Хатангской нефтегазоносной области // Актуальные вопросы тектоники нефтегазоперспективных территорий Сибирской платформы. Новосибирск, Изд-во СНИИГГиМС, 1989, с. 6—23.

Дикенштейн Г.Х., Максимов С.П., Иванова Т.Д. Тектоника нефтегазоносных провинций и областей СССР. М., Недра, 1982, 223 с.

Калинко М.К. История геологического развития и перспективы нефтегазоносности Хатангской впадины. Л., НИИГА, 1959, т. 104, 360 с.

Калинко М.К. Основные закономерности распределения газа и нефти в земной коре. М., Недра, 1964, 207 с.

Конторович А.Э., Каширцев В.А., Москвин В.И., Бурштейн Л.М., Земская Т.И., Калмыков Г.В., Костырева Е.А., Хлыстов О.М. Нефтегазоносность отложений озера Байкал // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (12), с. 1346—1356.

Косыгин Ю.А., Башарин А.К., Берзин Н.А., Волонтейн Г.М., Вотях О.А., Красильников Б.Т., Парфенов Л.П. Докембрийская тектоника Сибири. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1964, 125 с.

Левашов К.К. Среднепалеозойская рифтовая система востока Сибирской платформы // Сов. геология, 1975, № 10, с. 49—58.

Рудницкая Д.И., Вальчак В.И., Старосельцев В.С., Горюнов Н.А., Щербаков В.А. Изучение глубинного строения земной коры нефтегазоносных территорий Восточной Сибири по сейсмическим данным // Геофизика, 2008, № 3, с. 13—17.

Феоктистов Г.Д. Петрология и условия формирования трапповых силлов. Новосибирск, Наука, 1978, 168 с.

Феоктистов Г.Д. Петрохимия базитов юга Ыгыаттинской впадины (Сибирская платформа) // Геология и геофизика, 1988 (10), с. 28—36.

Яковлев А.В., Кулаков И.Ю., Тычков С.А. Глубина Мохо и трехмерная структура сейсмических аномалий земной коры и верхов мантии в Байкальском регионе по данным локальной томографии // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (2), с. 261—282.

Поступила в редакцию

5 сентября 2008 г.