

УДК 550.8.052

О ГРАНИЦЕ ПЕРМСКОЙ И ТРИАСОВОЙ СИСТЕМ В РАЗРЕЗЕ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Е.О. Малышева¹, М.С. Доронина², Л.Н. Клещина¹, В.А. Никитина¹,
А.С. Попов², Н. Васильева²

¹ ООО «РН-Шельф-Арктика», 119049, Москва, ул. Шаболовка, 10, корп. 2, Россия

² ООО «РН-Эксплорейшн», 119049, Москва, ул. Шаболовка, 10, корп. 2, Россия

Рубеж пермской и триасовой (Р-Т граница) систем связан с одним из наиболее «драматичных» событий в фанерозойской истории Земли. Ввиду весьма переменчивого характера границы она всегда была объектом дискуссий. Баренцево море находится в зоне сочленения районов с принципиально разной выраженностью границы пермской и триасовой систем и рассматривается как важный объект для понимания условий ее формирования в разных частях Европейского Севера. Настоящие исследования основаны на региональных проектах в пределах российского и норвежского секторов и включают сейсмические данные, покрывающие практически всю акваторию и скважинные данные в основном в прибрежных зонах. Новые сейсмические материалы и применение концепции секвенной стратиграфии позволили по-новому представить корреляцию и интерпретацию Р-Т границы на большей части акватории Баренцева моря. В результате было установлено, что граница пермской и триасовой систем представляет собой региональную границу секвенций с участками согласного и несогласного залегания. Были обоснованы три основных типа этой стратиграфической границы. Отчетливо «эрозионный» тип со значительным размывом и сокращением верхней части пермских отложений выделен на юго-востоке Баренцева моря в пределах Печорского моря. Согласный «перекомпенсированный» тип границы за счет дополнительного интервала разреза, предположительно нижнего триаса, интерпретируется в центральной части моря. Западнее в акватории норвежского сектора преобладает относительно согласный «конденсированный» тип разреза. Кроме этих типов, связанных с региональными палеоструктурными и седиментационными трендами, выделен наложенный «структурный» подтип, обусловленный локальным ростом структур на рубеже перми и триаса.

Граница пермской и триасовой (Р-Т) систем, секвенная стратиграфия, неморские фации, шельфовые и глубоководные фации, эрозионное срезание, клиноформы

PERMIAN–TRIASSIC BOUNDARY IN SEDIMENTARY SUCCESSION OF THE BARENTS SEA

E.O. Malysheva, M.S. Doronina, L.N. Kleschina, V.A. Nikitina, A.S. Popov, N. Vasilyeva

The Permian–Triassic (P–T) boundary records the most dramatic events in Phanerozoic history. The character of the boundary differs greatly, so it has been the subject of great discussion. The Barents Sea separates regions having markedly different expressions of the P–T boundary, and it can give an insight into the conditions of formation of this boundary in different parts of the European North. This contribution is based on a combination of regional projects from the Russian and Norwegian sectors, including seismic data across the Barents Sea and well data in marginal zones. Application of new seismic data and the sequence stratigraphy concept provides a novel approach to correlation and interpretation of the P–T boundary beneath the Barents Sea. The study has revealed a distinct regional sequence boundary corresponding to the P–T boundary with conformable and unconformable bedding. Three major types of this stratigraphic boundary are recognized. The distinct “erosional” type of the P–T boundary, with a significantly reduced Permian section, exists in the south-east (Timan–Pechora Basin). The conformable “overcompensated” type of boundary with an additional Lower Triassic section is interpreted in the central part of the Barents Sea. Westward, beneath the Norwegian sector, a relatively conformable “condensed” type of P–T boundary predominates. In addition to these types associated with regional paleostructural and depositional trends, the superposed “structural” subtype caused by local growth of structures at the Permian–Triassic boundary is identified.

Permian–Triassic (P–T) boundary, sequence stratigraphy, nonmarine facies, shelf and deep-water facies, erosional truncation, clinoforms

ВВЕДЕНИЕ

Рубеж пермской и триасовой (Р-Т) систем связан с одним из наиболее «драматичных» событий в фанерозойской истории Земли. Это было время глобальных массовых вымираний биоты, деформаций земной коры, интенсивного вулканизма и изменения климата. Характер Р-Т границы очень переменчив по стратиграфической полноте разрезов и биоте, фациальному составу переходных отложений, выраженности и интенсивности эрозионных процессов. Поэтому корреляция Р-Т границы всегда была объектом дискуссий, даже в точке GSSP (Global boundary Stratotype Section and Points — точка глобального стратотипа границы) [Лозовский, 2013]. При описании континентальных разрезов Восточно-Европейской платформы доминирует представление о значимом несогласии на границе двух систем [Граница..., 1998]. Однако имеет место и точка зрения о согласном характере этой границы и лишь небольшой роли эрозионных процессов, связанных с развитием речных систем [Голубев, 2004; Сенников, Голубев, 2012]. В морских разрезах северной части Баренцева моря, по разным данным, преобладает согласный тип контакта, что подтверждается бурением стратиграфических скважин [Zuchuat et al., 2022]. При этом в юго-западной части норвежского сектора и в зонах палеоподнятий в волновом поле локально прослеживаются эрозионные врезы. Самыми неоднозначными остаются положение границы в центральной наиболее погруженной части Баренцева моря и собственно переход от мощных толщ часто клиноформного строения к относительно тонким разрезам субгоризонтального залегания.

Появление новых сейсмических данных, выполнение проектов, обобщающих материалы норвежского и российского секторов, использование концепции секвенсной стратиграфии и расположение Баренцева моря в зоне сочленения разных типов разрезов Р-Т перехода способствуют лучшему пониманию характера этой границы на Европейском Северо-Востоке, даже в районах лимитированных биостратиграфических данных. В свою очередь, представления о региональных закономерностях формирования Р-Т границы позволяют наиболее корректно подходить к ее корреляции и выделению элементов нефтегазовых систем как в пермских, так и в триасовых отложениях.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ИЗУЧЕННОСТЬ

Баренцево море, с геологической точки зрения, представляет зону сочленения Печорской эпибайкальской и Свальбардской эпигренвильской плит. Осадочный чехол здесь складывается в основном палеозойскими и мезозойскими отложениями [Алехин и др., 1988; Шпилов, Тарасов, 1998; Малышев, 2002; Хенриксен, Ступакова, 2006; Шпилов, Шкарубо, 2010; Stouprakova et al., 2011]. Существуют несколько структурных схем региона, объединяющих российский и норвежский секторы [Шкарубо, Шпилов, 2007; Henriksen et al., 2011; Супруненко и др., 2012]. В настоящей работе в качестве обзорной использована тектоническая схема, в основе которой лежат структурные карты по кровле пермских карбонатов (юго-восточная часть Баренцева моря) и по кровле перми (центральная и северо-западная части) (рис. 1).

В течение многих лет пермские и триасовые отложения изучались в естественных выходах пород на островах арх. Шпицберген, арх. Новая Земля, о. Колгуев, арх. Земля Франца-Иосифа, в Приуралье и других регионах, а также в разрезах скважин Тимано-Печорского бассейна (ТПБ) и морских скважин норвежского и российского секторов Баренцева моря [Граница..., 1998; Wignall et al., 1998; Гаврилов и др., 2010; Васильев, 2013; Путеводитель..., 2014; Bond et al., 2017]. Во многих разрезах ТПБ эта граница проходит между континентальными толщами и соответствует несогласию, частично или полностью охватывающему верхний отдел пермской системы (P_3) и нижнюю часть индского яруса (T_1) [Граница..., 1998, Теплов и др., 2011]. Литологически эта граница часто фиксируется резкой сменой сероцветных угленосных отложений красноцветными породами. Обычно при этом изменяется петрографический состав обломочных компонентов. Биостратиграфически граница лучше всего охарактеризована палинологическими данными [Граница..., 1998; Гаврилов и др., 2010], хотя во многих разрезах она подтверждается определениями двустворок, остракод, конхострак и фрагментов рыб. Тем не менее часто в переходных отложениях вообще отсутствуют палеонтологические остатки.

В разрезах некоторых обнажений на Пай-Хое и гряде Чернышева в самых верхах перми и низах триаса присутствуют покровы базальтов, возраст которых по результатам геологических исследований и данным изотопного анализа методами Rb-Sr (250 ± 15 млн лет) и Sm-Nd (249 ± 17 млн лет) определяется как рубеж пермской и триасовой систем [Андреичев и др., 2007].

В норвежском секторе Баренцева моря Р-Т граница во многих разрезах фиксируется резкой сменой отложений группы Tempelfjorden: известняков, спикюлитов и окремненных аргиллитов с умеренным содержанием органического вещества ($C_{орг}$) породами группы Sassendalen, представленными переслаиванием неокремненных аргиллитов и алевролитов, реже песчаников. Однако появились данные, что в разрезах Центрального Шпицбергена Р-Т стратиграфическая граница, определенная по конодонтам, проходит на несколько метров выше литологической границы и имеет согласный характер [Zuchuat

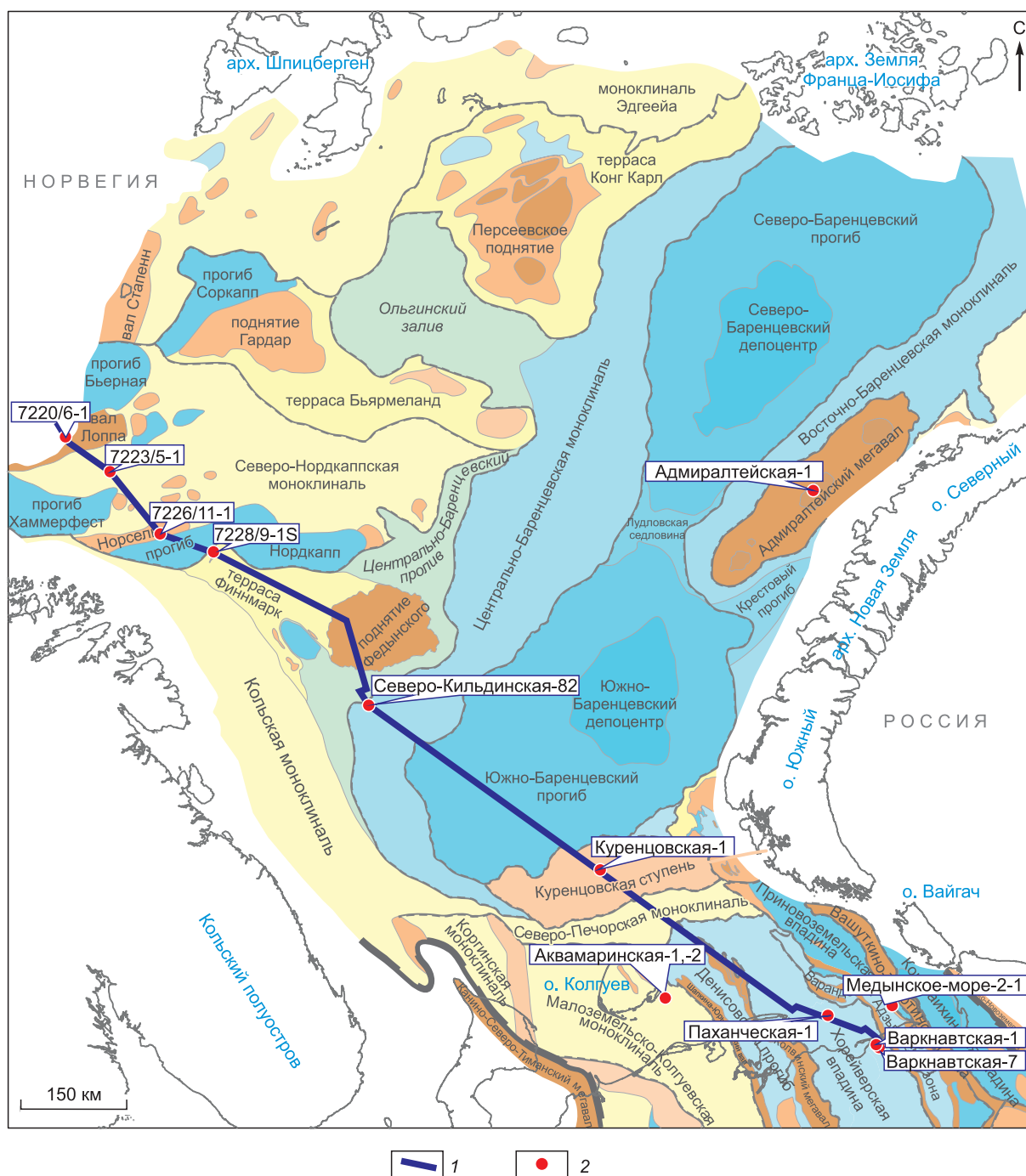


Рис. 1. Обзорная тектоническая схема района работ.

1 — положение геологического разреза, составленного на основе композитного сейсмического профиля; 2 — положение глубоких скважин, расположенных вдоль сейсмического профиля и вдоль разреза межскважинной корреляции (см. ниже).

et al., 2022]. Лишь в юго-западной части архипелага верхнепермский разрез представлен песчаниками и опесчаненными известняками [Larssen et al., 2002].

В центральной части Баренцева моря Р-Т граница выделяется только по сейсмическим данным и характеризуется наибольшей неопределенностью. Кроме того, именно здесь волновая картина сильно нарушена широким развитием магматических образований (силлов и даек) [Шипилов, Шкарубо, 2010], что существенно затрудняет прослеживание границы и выделение сейсмофаций. Доминируют два подхода к проведению этой границы: либо между пермскими и триасовыми отложениями выделяется переходная или нерасчлененная пермско-триасовая толща, либо используется «пропорциональный» подход,

когда граница проводится достаточно условно по соотношению толщин пермских и триасовых отложений на смежных территориях.

В любом случае, независимо от природы Р-Т границы, ее положение остается дискуссионным [Голубев, 2004; Taylor, 2009; Васильев, 2013].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДОЛОГИЯ

Настоящее исследование выполнялось в рамках проектов ООО «РН-Шельф-Арктика» (РНША) и ООО «РН-Эксплорейшн» (РНЭ). Основными исходными данными были региональные и композитные сейсмические профили, локальные 3D сейсмические материалы и скважинные данные в прибрежных зонах и в акватории российского и норвежского секторов Баренцева моря.

В восточном (российском) секторе моря большинство использованных региональных сейсмических профилей 2D были выполнены в конце 1970—1990-х годов несколькими российскими компаниями: АО «Севморгео», АО «Морская арктическая геолого-разведочная экспедиция» (МАГЭ), АО «Севморнефтегеофизика» (СМНГ). Большая часть скважин была пробурена в те же годы. Тогда же было сделано и большинство открытий месторождений. В последние годы многие сейсмические данные были переобработаны, отработаны новые профили 2D и выполнены съемки 3D. Р-Т граница вскрыта девятнадцатью скважинами, однако только в четырех из них этот интервал частично охарактеризован керном. Бурение и интерпретация скважинных данных проводились российской компанией АО «Арктикморнефтегазразведка» (АМНГР). Биостратиграфические исследования выполнялись специалистами различных организаций (ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского» (ВСЕГЕИ), ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Институт геологии Коми научного центра УрО РАН, Палеонтологический институт РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова и др.). Финальное стратиграфическое расчленение отложений, выполнявшееся главным образом специалистами АМНГР, основывалось на результатах комплексного изучения керна, шлама, каротажа скважин, сейсмических данных и принятых к началу 1990-х годов стратиграфических схемах. Используемая при этом стратиграфическая шкала пермской системы [Решение..., 1982, 1990] к настоящему моменту претерпела существенные изменения. Выделено три отдела вместо двух, к нижнему отделу дополнительно отнесен уфимский ярус, а интервал казанского и татарского ярусов разделен на два отдела: биармийский и татарский с обособлением новых ярусов. При этом существуют неоднозначности в сопоставлении российской Общей и Международной стратиграфических шкал. Ввиду того, что комплексного пересмотра биостратиграфических данных по морским скважинам специалистами не проводилось, в настоящей работе принято формальное подразделение пермского разреза на нижний отдел в составе традиционных ярусов с добавлением уфимского яруса и нерасчлененных среднего и верхнего отделов как аналогов ранее выделявшихся нерасчлененных казанского и татарского ярусов.

В западном (норвежском) секторе Баренцева моря большинство сейсмических исследований 2D выполнялось с 1969 г. Норвежским нефтяным управлением (Norwegian Petroleum Directorate — NPD), Equinor, TGS, PGS, Geco, BP Norge и другими компаниями. Большой объем сейсмических исследований 3D покрывает почти всю территорию. Р-Т граница вскрыта 24 поисковыми и разведочными скважинами, включая скв. 7234/6-1, пробуренную на склоне поднятия Федынского в 2021 г., а также серией скважин малоглубинного стратиграфического бурения. Несмотря на это, имеется очень ограниченный материал по биостратиграфической характеристике верхнепермского интервала. В рамках настоящего исследования были проанализированы имеющиеся опубликованные материалы [Mangerud, 1994; Larssen et al., 2002; Nochuli et al., 2010], включая стратиграфические отметки NPD, биостратиграфические данные, описания керна и шлама, геофизические исследования скважин (ГИС) и сейсмические данные.

В целом в данной работе были использованы материалы по 16 скважинам российского сектора и 21 скважине норвежского сектора [The Norwegian..., 2023]. При этом осуществлялись ревизия ранее выполненных исследований, детальное описание керна скважин российского сектора, выделение генетических типов отложений и каротажных фаций, привязка сейсмических разрезов и обоснование сейсмофаций [Малышева и др., 2020]. В качестве основного инструмента комплексной интерпретации скважинных и сейсмических данных применяли концепцию секвенсной стратиграфии [Posamentier, Vail, 1988; Van Wagoner et al., 1990], а именно секвенс-стратиграфический подход к выделению и прослеживанию поверхностей несогласия и коррелятивных им согласных поверхностей. Одним из важнейших компонентов этого подхода (наряду со скважинными данными) представляется анализ волнового поля. Он включает выявление наиболее типичных форм записи и соотношения отражающих горизонтов (ОГ), которые позволяют обосновать выделение хроностратиграфически значимых поверхностей. В частности, соотношения ОГ по типу прилегания, кровельного или подошвенного, рассматриваются как седиментационное утонение слоев; соотношения по типу подошвенного налегания — как отсутствие осадконакопления; эрозионное срезание — как размыв подстилающих слоев, отсутствие или резко сокращенное синхронное осадконакопление.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разрезы скважин переходных пермско-триасовых отложений российского и норвежского секторов Баренцева моря (рис. 2) существенно различаются вещественным и фаціальным составами, а сама Р-Т граница — выразительностью. Основываясь на весьма лимитированных и в том, и в другом случаях биостратиграфических данных (результаты палинологических исследований, а также редкие сведения о палеонтологических остатках), установлено, что все подстилающие ее отложения имеют пермский возраст, а перекрывающие — раннетриасовый. При этом существует неоднозначность в определении горизонтов и даже ярусов как пермской, так и триасовой систем. В скважинах российского сектора, кроме скв. Адмиралтейская-1, на этом рубеже фиксируется переход мелководно-морских (рис. 3), реже континентальных отложений в континентальные. В скв. Адмиралтейская-1 маломощные верхнепермские отложения (23 м) с выделенными остатками аммоидей и двустворок [Устрицкий, Тугарова, 2013] перекрываются необычайно мощной толщей нижнетриасовых (вскрытая толщина 2735 м) преимущественно глинисто-алевритовых отложений с прослоями терригенно-карбонатных и кремнисто-карбонатных пород. И те, и другие интерпретируются как шельфовые, в том числе относительно глубоководные фации. В нижнетриасовом разрезе существенно выше границы отмечаются (в керне) текстуры подводных оползаний (см. рис. 3), что может свидетельствовать о формировании склона.

В западном секторе и пермские, и триасовые отложения принципиально отличаются составом и условиями осадконакопления от разрезов восточного сектора. Как уже отмечалось выше, Р-Т граница связана со сменой известняков, спиккулитов и окремненных аргиллитов с умеренным содержанием органического вещества (C_{org}) (с тонкими прослоями алевролитов и редко песчаников), переслаиванием неокремненных аргиллитов и алевролитов, реже песчаников. При этом толщины пермских отложений существенно сокращаются, а нижнетриасовых — возрастают (см. рис. 2). В фаціальном отношении и те, и другие представлены шельфовыми, в том числе относительно глубоководными фациями. Смена пермских отложений нижнетриасовыми достаточно четко выделяется по данным ГИС и характеризуется понижением значений естественной радиоактивности (ГК), понижением значений акустического (АК) и гамма-гамма плотностного каротажа (ГГК-П) (см. рис. 2).

Учитывая слабую изученность акватории скважинами и их полное отсутствие в центральной части Баренцева моря, важнейшим инструментом исследований стали сейсмические 2D профили и 3D съемки.

Интерпретация региональных сейсмических профилей через Баренцево море от шельфа Печорского моря на юго-востоке до Норвежского шельфа на северо-западе с использованием концепции секвенной стратиграфии позволила проследить Р-Т границу от районов, где она охарактеризована скважинами, практически по всему рассматриваемому региону (рис. 4). Установлено, что сейсмический образ границы существенно различается в разных частях бассейна. Наиболее отчетливо она фиксируется в юго-восточной части Баренцева моря (акваториальная часть Тимано-Печорского бассейна) от Куренцовской ступени до берега (см. рис. 1).

В разрезе волнового поля Р-Т граница проявлена как поверхность несогласия, которая маркируется отчетливым эрозионным срезанием и кровельным прилеганием подстилающих слоев (рис. 5, а) и подошвенным налеганием перекрывающих. Именно в этой зоне расположено большинство использованных скважин, вскрывших рассматриваемую границу.

Здесь пермские отложения кунгурского возраста и моложе представлены серией проградирующих в северо-западном направлении клиноформ (см. рис. 4), которые формировали несколько бровок палеошельфа. Большая часть шельфа в тыловой зоне последней пермской (наиболее вероятно) бровки, приуроченной к Куренцовской ступени, была подвержена эрозионным процессам и переотложению осадков. Там постепенно устанавливались континентальные обстановки осадконакопления, периодически прерывавшиеся кратковременными трансгрессиями. В результате в прибрежной части Печорского моря разрезы пермских и триасовых отложений значительно сокращены по стратиграфическому объему за счет частей татарского отдела и индского яруса соответственно. При этом объем размытых осадков и стратиграфический перерыв нарастают как в сторону суши, так и на восток в направлении Варандей-Адзвинской структурной зоны, где отмечается наибольшая глубина размыва (см. рис. 4, 5, а).

В «шельфовой», или тыловой зоне, по результатам сейсмических исследований 3D, выделяются четкие достаточно мощные и хорошо разработанные русловые формы палеорельефа, приуроченные к Р-Т границе (рис. 6). Они существенно отличаются от русел, выделяемых в пермском интервале, большими размерами и глубиной эрозии. Это свидетельствует о том, что в пермское время русловые системы здесь только зарождались, а на рубеже пермской и триасовой эпох во время длительного перерыва сформировалась хорошо развитая речная система. Рассматриваемый юго-восточный тип разреза назван «эрозионным». Он имеет четкие признаки субаэрального несогласия и рассматривается как граница секвенции (Sb).



Литологическая характеристика отложений: 1 — песчаники, 2 — конгломераты, 3 — алевролиты, 4 — аргиллиты, 5 — известняки, 6 — известняки глинистые, 7 — доломиты, 8 — кремнистые песчаники, 9 — ангидриты, 10 — галиты, 11 — брекчи, 12 — фундамент, 13 — интрузия, 14 — интервал отбора керн.

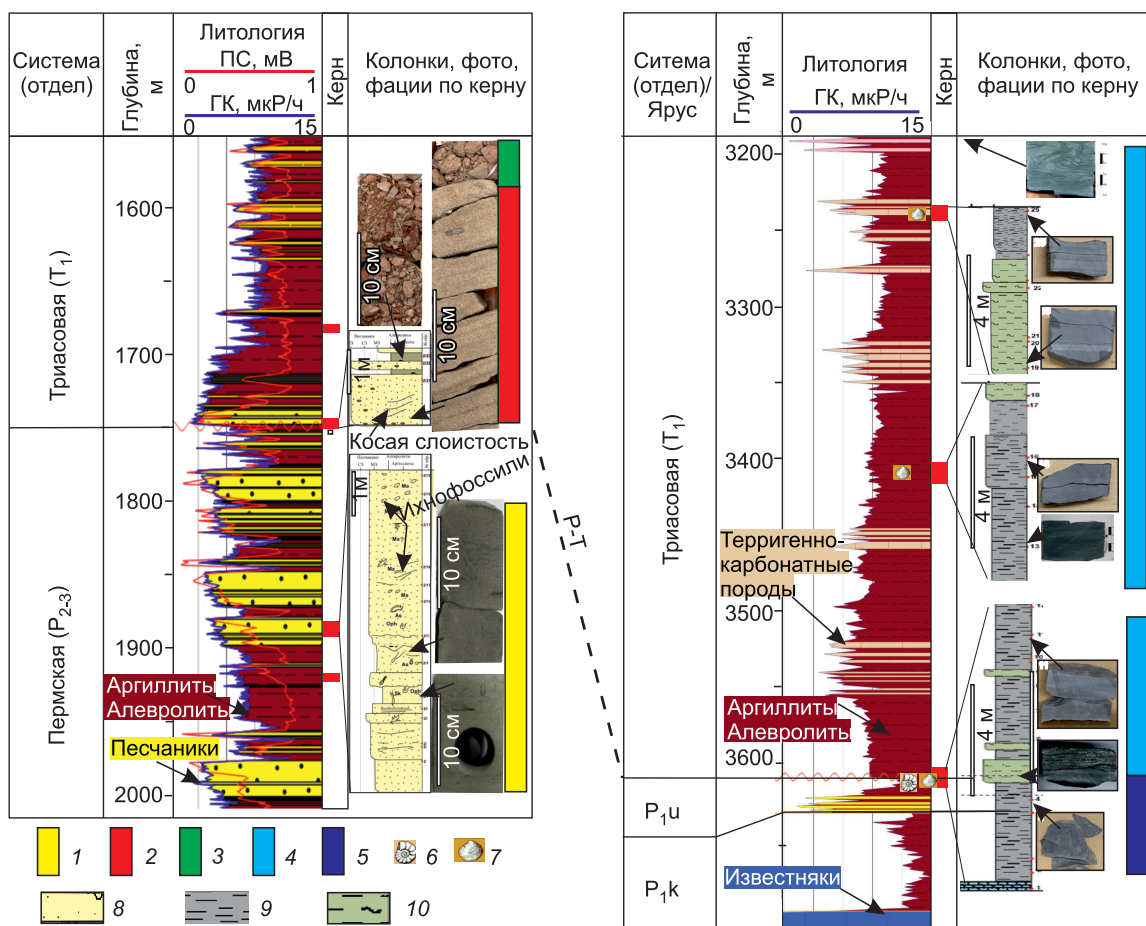


Рис. 3. Литологическая и фациальная характеристика разрезов скважин вблизи Р-Т границы.

1—5 — условия осадконакопления по керну: 1 — пойма, 2 — русло, 3 — предфронтальная зона пляжа (морское мелководье), 4 — шельф, 5 — относительно глубоководный шельф; 6 — остатки аммоноидей; 7 — остатки двустворок; 8 — песчаник; 9 — аргиллит; 10 — алевролит.

К северу и северо-западу от последней пермской бровки шельфа (Куренцовская ступень) в разрезах волнового поля отражающий горизонт Р-Т резко погружается (см. рис. 4, 5, б), сначала сохраняя признаки несогласия, а затем переходя в поверхность видимого согласного залегания. Это позволяет интерпретировать рассматриваемую зону как палеосклон и его основание. В пределах палеосклона отчетливо фиксируется подошвенное налегание отражающих горизонтов (ОГ), ассоциируемых с перекрывающими отложениями, на рассматриваемую несогласную поверхность, а также их ступенчатое погружение в сторону бассейна. В зоне видимого согласного залегания в основании палеосклона (или палеодна бассейна) тонкая толща конденсированных отложений, вероятно, пермского возраста перекрывается мощной толщей с хаотичной записью, которая интерпретируется как отложения либо донных конусов, либо гравитационных (mass-transport) комплексов, сносимых с эродируемого шельфа. Но, весьма вероятно, что существовали и дистальные источники сноса. Несмотря на то, что возраст толщи остается дискуссионным, формирование границы этого типа и комплекса перекрывающих отложений однозначно соответствует времени эрозии и перерыва в осадконакоплении на шельфе. Учитывая данные по многим регионам мира, в том числе ТПБ, о существовании наиболее значимого несогласия и длительного перерыва именно на рубеже пермской и триасовой систем, то наиболее вероятно, что она представляет глубоководную часть Р-Т границы, а перекрывающая толща имеет раннетриасовый возраст.

Этому типу разреза в определенной степени соответствует разрез скв. Адмиралтейская-1, пробуренной на одноименном поднятии на востоке Баренцева моря (см. рис. 1, 3, 4, 5, б). Подобный тип границы рассматривается как согласный с незначительной долей донной эрозии и назван центральным «перекompенсированным» за счет появления мощной дополнительной толщи нижнетриасовых отложений.

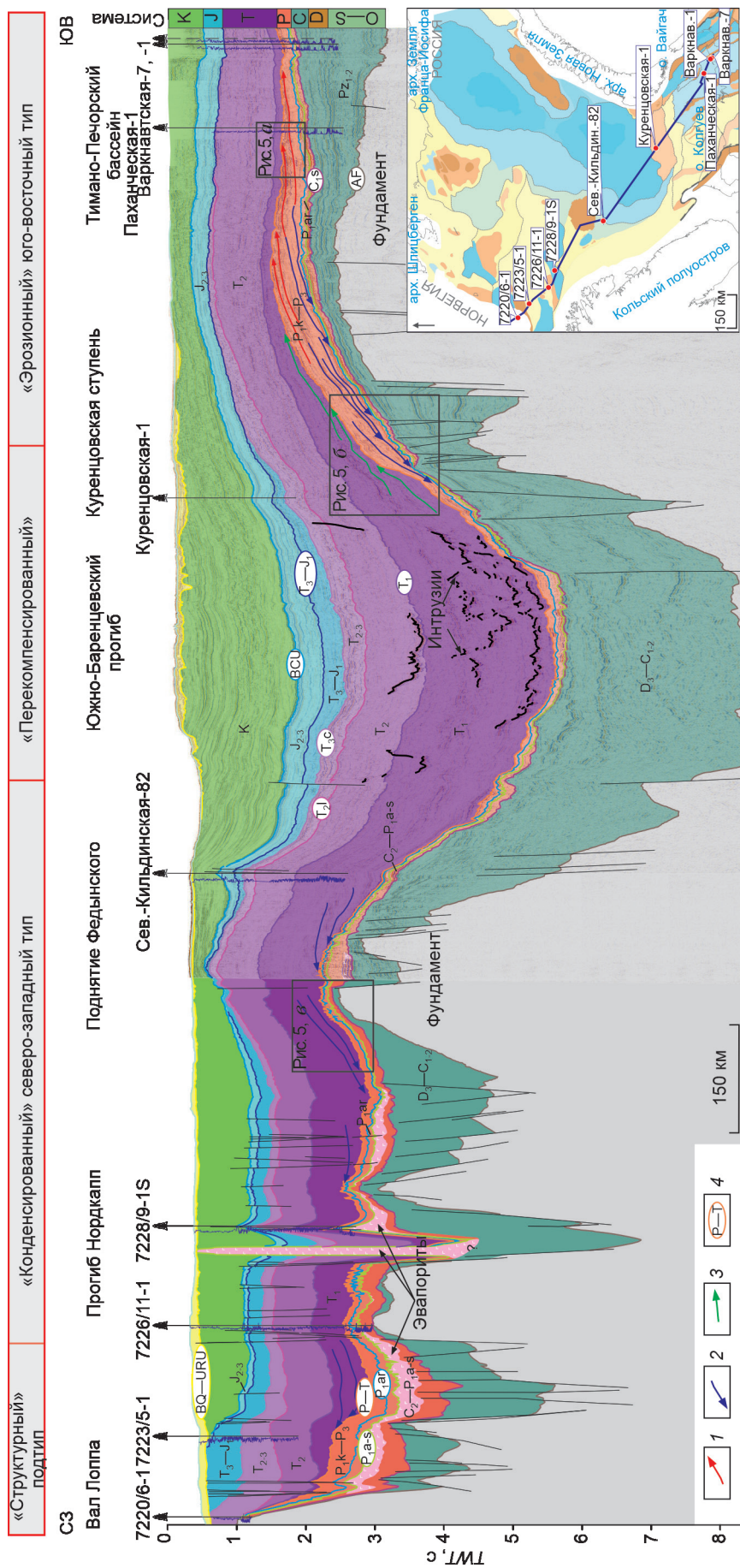


Рис. 4. Композитный сейсмогеологический разрез через Баренцево море, иллюстрирующий основные типы Р-Т границы и строение переходных пермских и триасовых отложений.

Выделены участки детализации типовых разрезов (*а, б и в*), которые приведены на рис. 5. *1* — кровельное прилегание и эрозионное срезание, *2* — подогнутое прилегание, *3* — подогнутое налетание, *4* — индексы отражающих горизонтов.

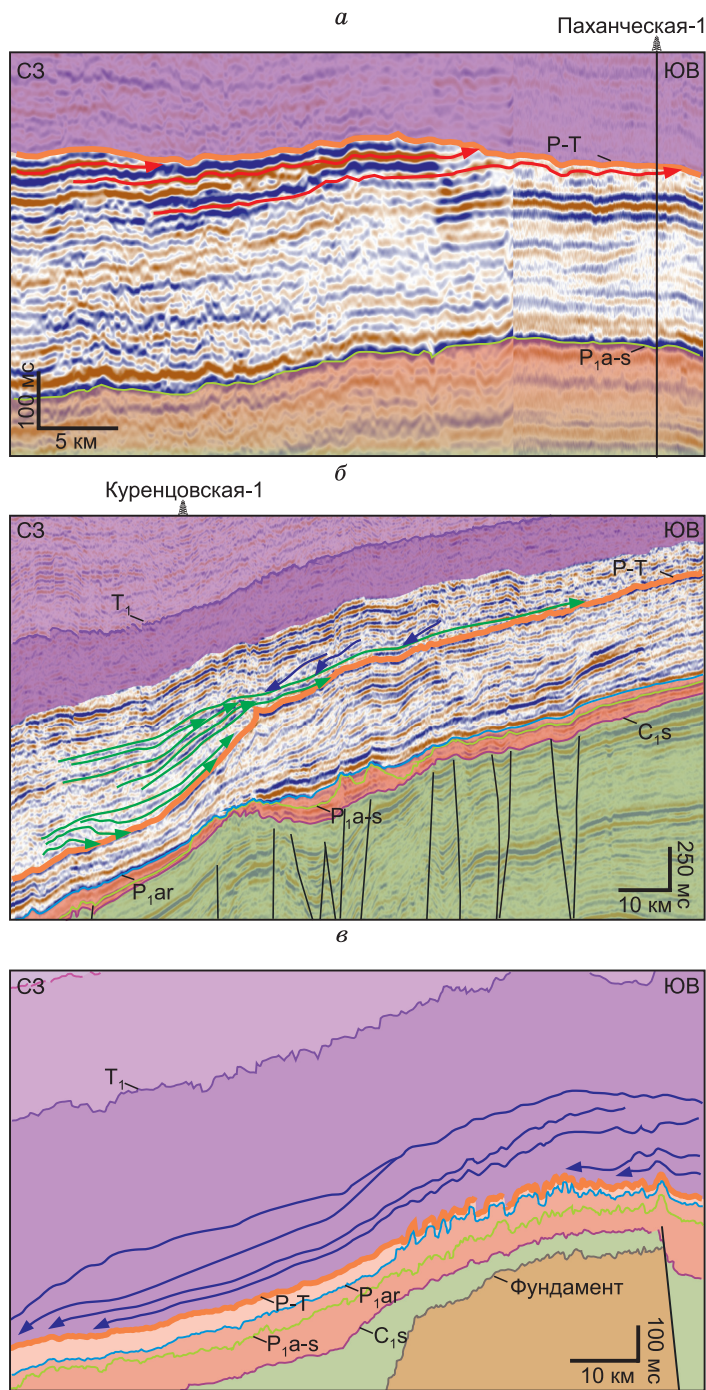
Рис. 5. Детализация фрагментов сейсмического профиля, показанного на рис. 4.

Типы Р-Т границы: *а* — «эрозийный» юго-восточный; *б* — «перекомпенсированный» центральный; *в* — «конденсированный» северо-западный. Усл. обозн. см. на рис. 4.

Далее на запад и северо-запад в норвежском секторе Баренцева моря Р-Т граница представлена поверхностью согласного залегания пород, которая характеризуется подошвенным прилеганием перекрывающих отложений. Она соответствует относительно глубоководному конденсированному осадконакоплению во внешней и внутренней зонах морского шельфа как в пермское, так и в раннетриасовое время. Этот тип разреза назван северо-западным «конденсированным» (см. рис. 5, *в*). Ограниченные биостратиграфические данные, в основном палинологические, свидетельствуют о татарском и индском возрастах переходных отложений. Данные по изотопному составу углерода в разрезах отложений из неглубоких научных скважин Кольской моноклинали свидетельствуют об очень незначительном перерыве в осадконакоплении на этой границе пермской и триасовой систем [Mangerud, 1994; Mangerud, Mørk, 2013].

На срезах амплитуд сейсмических данных 3D в пределах Кольской моноклинали, характеризующих уровень вблизи Р-Т границы и выше нее, просматривается изменение морфологии поверхности. Собственно, срез вблизи Р-Т границы отличается морфологической однородностью поверхности. Однако на ней, ввиду малых толщин пермского интервала, отражены развитые ниже скелетные холмы кунгурско-казанского возраста [Larssen et al., 2002; Eide et al., 2018]. Верхнюю часть холмов составляют спикюлиты формации Roøyе. Над Р-Т границей в пределах глубоководной части бассейна у основания склона индского возраста выделяется конус выноса [Hadler-Jacobsen et al., 2005; Eide et al., 2018; Henriksen et al., 2021]. В российском и в норвежском секторах Баренцева моря в пределах Кольской моноклинали на сейсмических разрезах фиксируется продвижение палеосклона в северо-восточном направлении, отражающее смену поверхностей подошвенного прилегания клиноформного комплекса. Все это в целом свидетельствует о достаточно глубоководных условиях осадконакопления в позднепермско-раннетриасовое время на рассматриваемой территории и о начале интенсивного выноса материала в собственно индское время. Это и обуславливает различия в вещественном составе верхнепермских отложений, обогащенных кремнистым веществом, и индских тонкозернистых, но чисто обломочных пород.

Схематичная модель распространения отложений, подстилающих и перекрывающих Р-Т границу (рис. 7), построенная в масштабе геологического времени с условной датировкой горизонтов, иллюстрирует интерпретацию сейсмических разрезов с точки зрения условий осадконакопления и формиро-



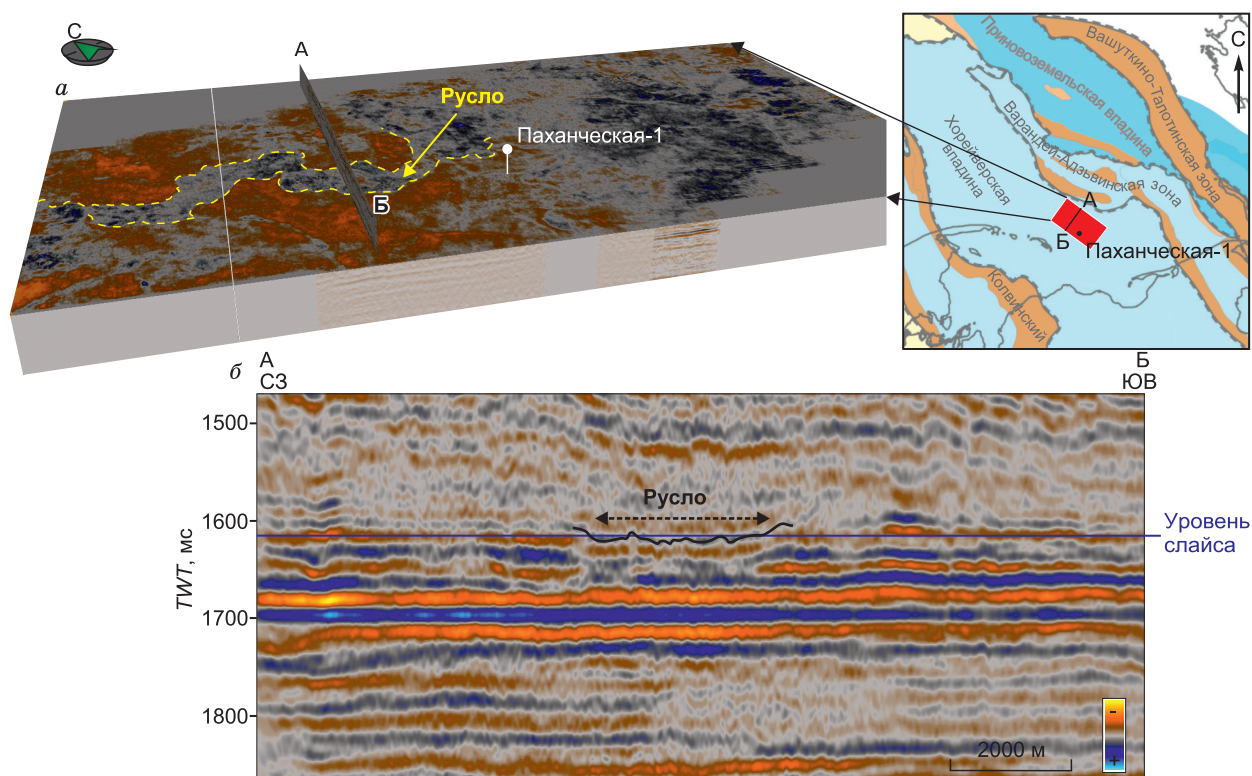


Рис. 6. Выделение русла, приуроченного к Р-Т границе, на горизонтальном слайсе 3D съемки (а) и сейсмопрофиле (б).

вания поверхностей несогласия. Здесь отражен региональный юго-восточно-северо-западный тренд развития несогласия на рубеже перми и триаса и его перехода в поверхность согласного залегания.

Значительная структурная перестройка, приуроченная к рассматриваемому рубежу, как в пределах российского, так и норвежского секторов Баренцева моря привела к дополнительной (по сравнению с региональным трендом) эрозии подстилающих отложений вплоть до полного размыва пермских пород в зонах растущих положительных структур. Например, на валу Лоппа (см. рис. 2, 4) в норвежском секторе и поднятии Медынского-море российского сектора позднеиндско-оленьские терригенные отложения перекрывают ассельские и даже каменноугольные (вплоть до серпуховского яруса) карбонатные отложения.

Вал Лоппа рассматривается как поднятие фундамента, испытавшее несколько этапов тектонической эволюции, начиная с позднедевонско(?)–раннекаменноугольного времени [Stemmerik, Worsley, 2005]. Наиболее значимое событие произошло в поздней перми и раннем триасе и приурочено к раскрытию северо-восточной рифтовой системы Атлантического океана. В результате сбросообразования и некоторого вращения ограниченных разломами блоков произошло воздымание центральной части вала Лоппа [Gabrielsen et al., 1990; Gudlaugsson et al., 1998], а отложения ранне- и среднетриасового возраста, последовательно налегая на поднятие, перекрывают каменноугольно-пермские отложения (см. рис. 2, 4), а местами и породы фундамента.

Глубокий размыв, вплоть до каменноугольных отложений, отмечается и на поднятии Медынского-море в пределах морского продолжения Варандей-Адзвинской структурной зоны на юго-востоке российского сектора. Здесь также на рубеже перми и триаса образовалась приподнятая зона, но, в отличие от вала Лоппа, ее формирование связано с инверсионными процессами, развивавшимися в условиях сжатия. На субширотном профиле, пересекающем поднятие Медынского-море (рис. 8), хорошо видно локально развитое последовательное срезание пермских и каменноугольных отложений, фиксирующих предтриасовое угловое несогласие.

В скважинах, вскрывших этот разрез, установлено залегание верхнеиндских и оленьских терригенных отложений на ассельских и среднекаменноугольных карбонатах. Этот тип разреза выделен в качестве «структурного» подтипа, наложенного на общий тренд изменений Р-Т границы.

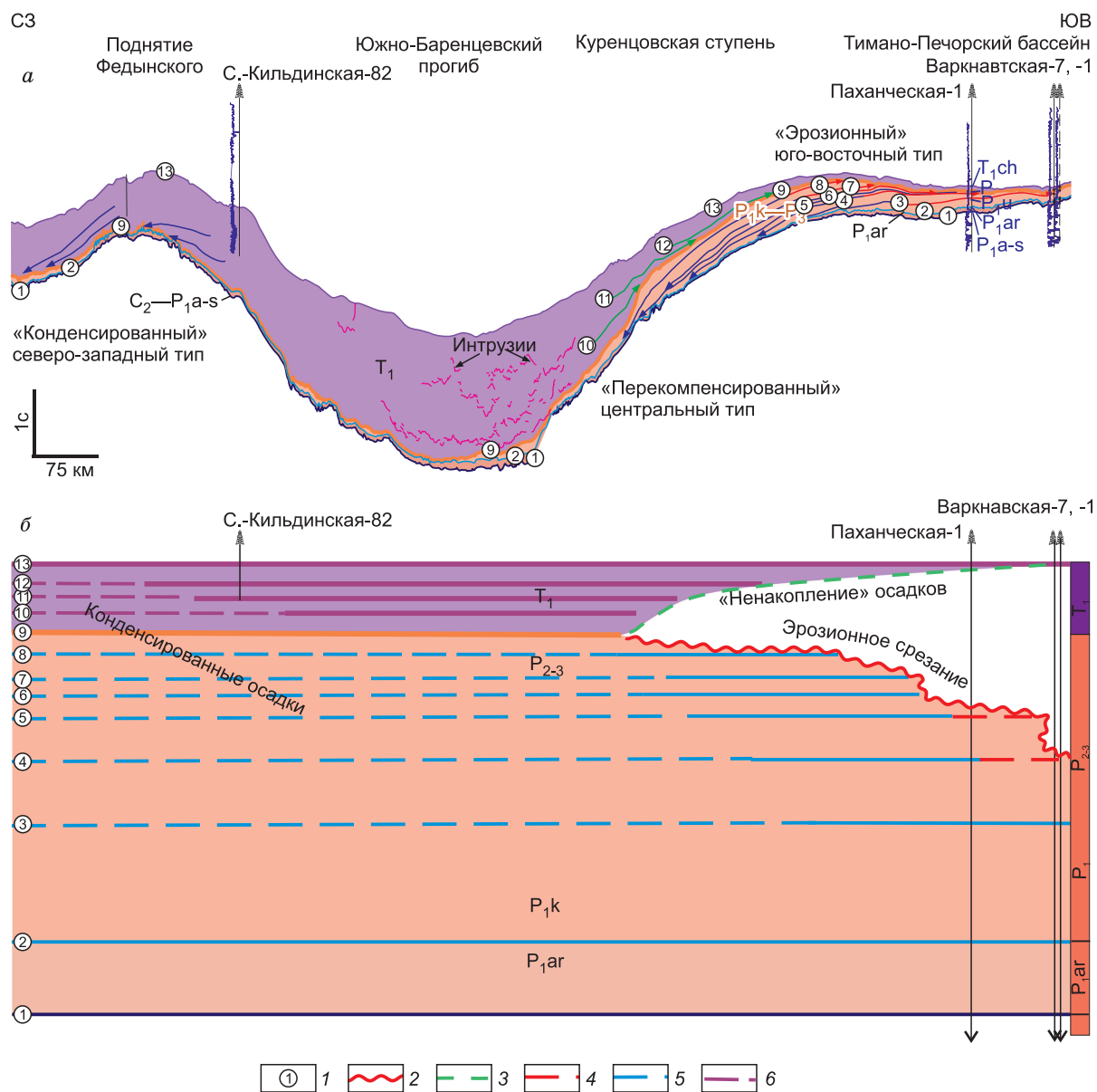


Рис. 7. Модель формирования пограничных пермско-нижнетриасовых отложений.

а — фрагмент сейсмогеологического разреза (см. рис. 4); *б* — тот же разрез в условном масштабе геологического времени с седиментационной интерпретацией соотношений ОГ, показанных на рис. 4 (там же см. усл. обозн.). 1 — хроностратиграфические уровни, 2 — сокращенное осадконакопление и последующее эрозионное срезание, 3 — ненакопление осадков, 4 — сокращенное осадконакопление в зоне кровельного прилегания, или мелководья, 5, 6 — сокращенное осадконакопление в зоне подошвенного прилегания или недостатка осадков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОодЫ

Выполненные исследования позволили выработать новый подход к прослеживанию границы пермской и триасовой систем, а также перекрывающих и подстилающих ее отложений в Баренцевом море и на окружающих территориях.

Было установлено, что граница пермской и триасовой систем представляет значимую границу секвенции с зональностью, соответствующей переходу несогласного типа разреза в согласный. На этом основании граница была прослежена в не охарактеризованных скважинами районах.

Выделено три основных типа Р-Т границы с соответствующим строением подстилающих и перекрывающих отложений.

«Эрозионный» юго-восточный тип (Печорское море и прилегающая суша) характеризуется сокращенным осадконакоплением в поздней перми и последующей существенной эрозией на рубеже с триасом.

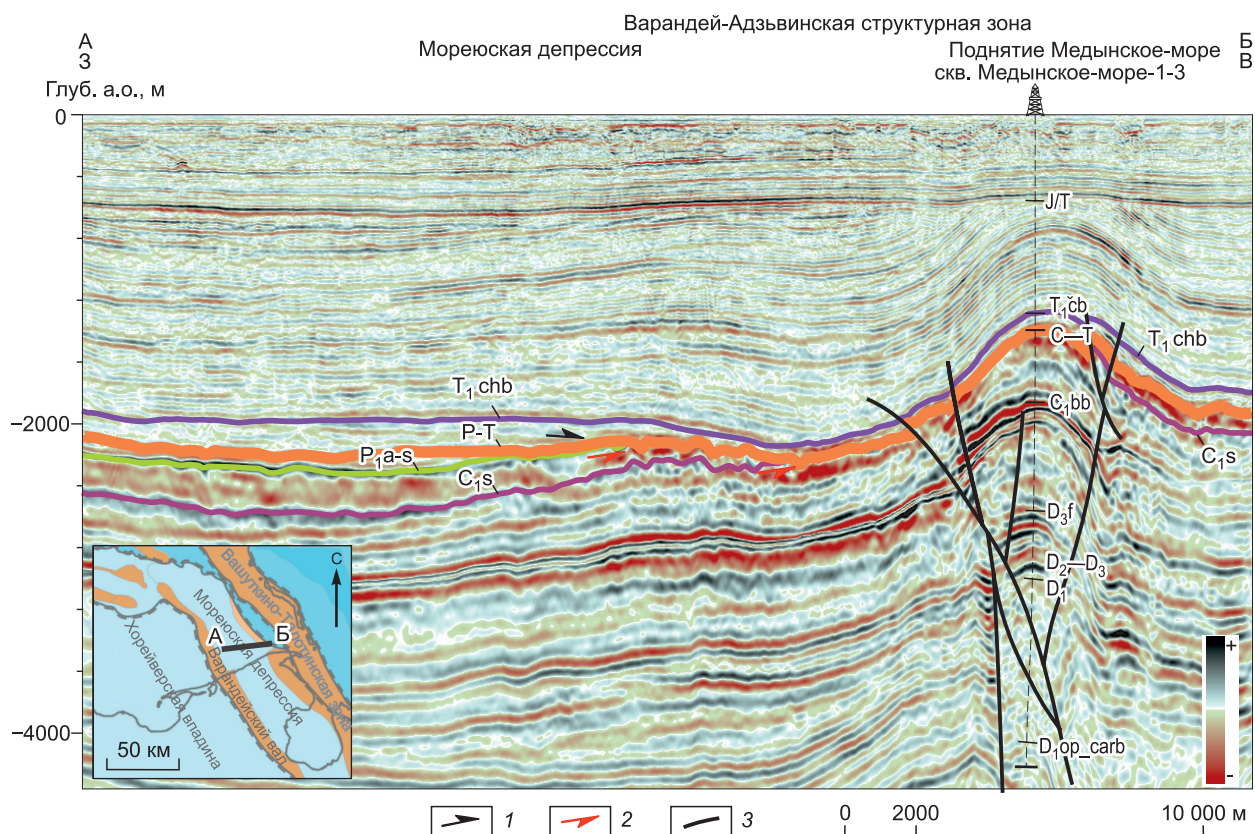


Рис. 8. Эрозия пермско-каменноугольных отложений на поднятии Медыньское-море.

1 — подошвенное налегание, 2 — кровельное прилегание и эрозионное срезание, 3 — тектонические нарушения.

совым периодом. В итоге разрез пермских отложений завершается отложениями разных стратиграфических уровней и разного фациального состава. Нижнетриасовый разрез также отличается сокращенными толщами и стратиграфической полнотой, но преимущественно континентальными фациями.

«Перекомпенсированный» согласный тип интерпретируется в центральной части Баренцева моря. Здесь пермские отложения отличаются конденсированным типом седиментации, тогда как нижнетриасовые отложения включают дополнительный стратиграфический интервал. Он соответствует времени эрозии прилегающего шельфа и выполнен преимущественно смешанными глинисто-алевритовыми отложениями с подчиненной ролью песчаников склоновых фаций.

«Конденсированный» северо-западный тип отражает относительно согласный контакт донных морских конденсированных отложений пермского и триасового возрастов. И тем, и другим свойственны сокращенные толщины и тонкозернистый состав. При этом пермские породы обогащены кремнеземом, вплоть до образования прослоев и построек спиккулитов, а в нижнетриасовых преобладают обломочные компоненты.

В качестве отдельного «структурного» подтипа выделяется отчетливая Р-Т граница в зонах активного роста положительных структур, широко развитых как в восточном, так и в западном секторах Баренцева моря. Особенностью этого подтипа является глубокий размыв предтриасовых отложений, вплоть до фундамента.

Выполненная типизация пограничных пермско-триасовых отложений в акватории Баренцева моря с детальной характеристикой каждой из выделенных зон может рассматриваться как один из инструментов прогноза в них перспективных объектов.

Авторы выражают огромную признательность коллегам из ООО «РН-Шельф-Арктика» А.А. Валющевой и М.О. Бербеневу, ООО «РН-Эксплорейшн» А.И. Лейбенко, Департамента геолого-разведочных работ ПАО «НК «Роснефть» Н.А. Малышеву и В.Е. Вержбицкому, а также профессорам геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова В.А. Жемчуговой и А.М. Никишину за очень полезные дискуссии в ходе выполнения настоящих исследований. Мы очень благодарны профессору Стивену Шемелу за ценные советы.

ЛИТЕРАТУРА

- Алехин С.В., Верба М.Л., Грамберг И.С., Остистый Б.К., Сороков Д.С.** Баренцевская шельфовая плита. Л., Недра, 1988, 263 с. (Тр. «ВНИИОкеангеология», т. 196).
- Андреичев В.Л., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Литвиненко А.Ф.** Изотопный возраст пермского базальтового магматизма Полярного Предуралья: Rb-Sr и Sm-Nd данные // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2007, т. 15, № 3, с. 22—31.
- Васильев В.Е.** Седиментология пермско-триасового терригенного палеобассейна Баренцева моря // Газовая промышленность, 2013, S(696), с. 12—18.
- Гаврилов В.П., Гибшман Н.Б., Карнаухов С.М., Холодилов В.А., Цемкало М.Л., Шамалов Ю.В.** Биостратиграфия и литофации нефтегазоносных отложений Баренцево-Карского региона. М., Недра, 2010, 255 с.
- Голубев В.К.** Граница перми и триаса на Восточно-Европейской платформе // Всероссийское совещание «Структура и статус Восточно-Европейской стратиграфической шкалы пермской системы, усовершенствование ярусного расчленения верхнего отдела пермской системы общей стратиграфической шкалы». Казань, Изд-во Каз. ун-та, 2004, с. 19—21.
- Граница перми и триаса в континентальных сериях Восточной Европы** // Материалы к Международному симпозиуму «Верхнепермские стратотипы Поволжья» / Под ред. В.Р. Лозовского, Н.К. Есаулова. М., ГЕОС, 1998, 244 с.
- Лозовский В.Р.** Пермско-триасовый кризис и его возможная причина // Бюл. МОИП, Отд. геол., 2013, т. 88, вып. 1, с. 49—58.
- Малышев Н.А.** Тектоника, эволюция и нефтегазоносность осадочных бассейнов европейского севера России. Екатеринбург, УрО РАН, 2002, 271 с.
- Малышева Е.О., Вольфович Е.М., Горбунова С.А., Никифорова О.Г., Никишин В.А.** Условия формирования позднепалеозойских и мезозойских отложений российского сектора Баренцева моря по результатам седиментологических исследований // Нефтяное хозяйство, 2020, № 4, с. 10—16.
- Путеводитель экспедиции на Баренцевоморское побережье архипелага Новая Земля.** СПб, Изд-во ВСЕГЕИ, 2014, 82 с.
- Решение Межведомственного регионального стратиграфического совещания по Триасу Восточно-Европейской платформы (Саратов, 1979)** / Под ред. А.И. Жамойды, В.В. Липатовой, Г.М. Романовской. Л., Изд-во ВСЕГЕИ, 1982, 64 с.
- Решение Межведомственного стратиграфического совещания по среднему и верхнему палеозою Русской плиты.** Ленинград, 1988. Пермская система / Под ред. В.П. Горского, Е.А. Гусевой. Л., Изд-во ВСЕГЕИ, 1990, 48 с. + схемы.
- Сенников А.Г., Голубев В.К.** К фаунистическому обоснованию границы перми и триаса в континентальных отложениях восточной Европы. 1. Гороховец — Жуков овраг // Палеонтологический журнал, 2012, № 3, с. 88—98.
- Супруненко О.И., Сулова В.В., Медведева Т.Ю.** Состояние изучения и освоения нефтегазовых ресурсов арктического шельфа России // Геология нефти и газа, 2012, № 5, с. 99—107.
- Теплов Е.Л., Костыгова П.К., Ларионова З.В., Беда И.Ю., Довжикова Е.Г., Куранова Т.И., Никонов Н.И., Петренко Е.Л., Шабанова Г.А.** Природные резервуары нефтегазоносных комплексов Тимано-Печорской провинции. СПб, ООО «Реноме», 2011, 286 с.
- Устрицкий В.И., Тугарова М.А.** Уникальный разрез перми и триаса, вскрытый скважиной Адмиралтейская-1 (Баренцево море) // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2013. т. 8, № 2, www.ngtr.ru/rub/2/18_2013.pdf.
- Хенриксен Э., Ступакова А.В.** Российско-норвежское сотрудничество в изучении геологического строения и углеводородного потенциала Западной Арктики // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление, 2006, № 5, с. 70—79.
- Шипилов Э.В., Тарасов Г.А.** Региональная геология нефтегазоносных осадочных бассейнов Западно-Арктического шельфа России. Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, 1998, 306 с.
- Шипилов Э.В., Шкарубо С.И.** Современные проблемы геологии и тектоники осадочных бассейнов Евразийско-Арктической континентальной окраины. Т. 1. Литолого- и сеймостратиграфические комплексы осадочных бассейнов Баренцево-Карского шельфа. Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, 2010, 266 с.
- Шкарубо С.И., Шипилов С.И.** Тектоника Западно-Арктической платформы // Разведка и охрана недр, 2007, с. 32—47.
- Bond D.P.G., Blomeier D.P.G., Dustira A.M., Wignall P.B., Collins D., Goode T., Groen R.D., Buggisch W., Grasby S.E.** Sequence stratigraphy, basin morphology and sea-level history for the Permian

Kapp Starostin Formation of Svalbard, Norway // *Geol. Mag.*, 2017, v. 155 (5), p. 1023—1039, doi: 10.1017/S0016756816001126.

Eide C.H., Klausen T.G., Katkov D., Suslova A.A., Helland-Hansen W. Linking an Early Triassic delta to antecedent topography: Source-to-sink study of the southwestern Barents Sea margin // *GSA Bull.*, 2018, v. 130, p. 263—283, doi: 10.1130/B31639.1.

Gabrielsen R.H., Færseth R.B., Jensen L.N., Kalheim J.E., Riis F. Structural elements of the Norwegian continental shelf, Part 1: The Barents Sea Region. NPD-Bulletin, 1990, No. 6, 47 p.

Gudlaugsson S.T., Faleide J.I., Johansen S.E., Breivik A.J. Late Palaeozoic structural development of the South-western Barents Sea // *Mar. Pet. Geol.*, 1998, v. 15 (1), p. 73—102, doi: 10.1016/S0264-8172(97)00048-2.

Hadler-Jacobsen F., Johannessen E.P., Ashton N., Henriksen S., Johnson S.D., Kristensen J.B. Submarine fan morphology and lithology distribution: a predictable function of sediment delivery, gross shelf-to-basin relief, slope gradient and basin topography // *Geol. Soc., London, Pet. Geol. Conf. Ser.*, 2005, v. 6, p. 1121—1145, doi: 10.1144/0061121.

Henriksen E., Ryseth A.E., Larssen G.B., Heide T., Rønning K., Sollid K., Stoupakova A.V. Tectonostratigraphy of the greater Barents Sea: implications for petroleum systems (Ch. 10) // *Geol. Soc., London, Mem.*, 2011, v. 35, p. 163—195, doi: 10.1144/M35.10.

Henriksen E., Ktenas D., Nielsen J.K. Finnmark platform composite tectono-sedimentary element, Barents Sea // *Geol. Soc., London, Mem.*, 2021, v. 57 (1), doi: 10.1144/M57-2020-20.

Hochuli P.A., Hermann E., Vigran J.O., Bucher H., Weissert H. Rapid demise and recovery of plant ecosystems across the end-Permian extinction event // *Global Planet. Change*, 2010, v. 74 (3—4), p. 144—155, doi: 10.1016/j.gloplacha.2010.10.004.

Larssen G.B., Elvebakk G., Henriksen L.B., Kristensen S.E., Nilsson I., Samuelsberg T.J., Svåná T.A., Stemmerik L., Worsley D. Upper Palaeozoic lithostratigraphy of the Southern Norwegian Barents Sea. NPD-Bulletin, 2002, No. 9, 76 p.

Mangerud G. Palynostratigraphy of the Permian and lowermost Triassic succession, Finnmark Platform, Barents Sea // *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 1994, v. 82 (3—4), p. 317—349, doi: 10.1016/0034-6667(94)90082-5.

Mangerud G., Mørk A. Bio- and palynostratigraphy at the Permian – Triassic transition in Svalbard and the Barents Sea area // *Symposium: The Permian Strata of Svalbard*. Tromsø, Norway, 2013, p. 18—19.

Posamentier H.W., Jervey M.T., Vail P.R. Eustatic controls on clastic deposition. I — conceptual framework // *Sea-level changes: an integrated approach*. Tulsa, OK, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Spec. Publ., 1988, No. 42, p. 109—124, doi: 10.2110/pec.88.01.0109.

Stemmerik L., Worsley D. 30 years on — Arctic Upper Palaeozoic stratigraphy, depositional evolution and hydrocarbon prospectivity // *Norw. J. Geol.*, 2005, v. 85, p. 151—168.

Stoupakova A.V., Henriksen E., Burlin Yu.K., Larsen G.B., Milne J.K., Kiryukhina T.A., Golynchik P.O., Bordunov S.I., Ogarkova M.P., Suslova A.A. The geological evolution and hydrocarbon potential of the Barents and Kara shelves // *Geol. Soc., London, Mem.*, 2011, v. 35, p. 325—344, doi: 10.1144/M35.21.

Taylor G.K., Tucker C., Twitchett R.J., Kearsey T., Benton M.J., Newell A.J., Surkov M.V., Tverdokhlebov V.P. Magnetostratigraphy of Permian/Triassic boundary sequences in the Cis-Urals, Russia: No evidence for a major temporal hiatus // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2009, v. 281 (1—2), p. 36—47, doi: 10.1016/j.epsl.2009.02.002.

The Norwegian Petroleum Directorate. Factpages [Электронный ресурс]. 2023, <https://factpages.npd.no/en/wellbore> (Дата обращения 26.04.2023).

Van Wagoner J.C., Mitchum R.M., Campion K.M., Rahmanian V.D. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high resolution correlation of time and facies. AAPG Methods Explor. Ser. Tulsa, OK, 1990, № 7, 55 p., doi: 10.1306/Mth7510.

Wignall P.B., Morante R., Newton R. The Permo-Triassic transition in Spitsbergen: $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ chemostratigraphy, Fe and S geochemistry, facies, fauna and trace fossils // *Geol. Mag.*, 1998, v. 135 (1), p. 47—62.

Zuchuat V., Augland L.E., Jones M.T., Sleveland A.R.N., Twitchett R.J., Rodríguez-Tovar F.J., Hammer Ø., Senger K., Betlem P., Turner H.E., Midtkandal I., Svensen H., Planke S. The Permian-Triassic boundary across the Barents Shelf: an intricate record of climate change, mass extinction, recovery, and basin reorganisation // *EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, Abstracts and presentations, 2022, EGU22-2379*, doi: 10.5194/egusphere-egu22-2379.